



TUGAS AKHIR – VM180629

**KOMPOSIT *CARBON FIBER SANDWICH*
SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF PENGGANTI
ALUMINIUM ALLOY 6063 PADA *KNUCKLE
PLATE MOBIL NOGOGENI 5 EVO***

**AGUNG HARDIARTO
NRP. 10211600000068**

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

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



TUGAS AKHIR – VM 180629

**KOMPOSIT *CARBON FIBER SANDWICH* SEBAGAI
BAHAN ALTERNATIF PENGGANTI *ALUMINIUM*
ALLOY 6063 PADA *KNUCKLE PLATE* MOBIL
NOGOGENI 5 EVO**

**AGUNG HARDIARTO
NRP. 1021160000068**

**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

***COMPOSITE CARBON FIBER SANDWICH
MATERIALS AS ALTERNATIVE MATERIALS
FOR ALUMINIUM ALLOY 6063 NOGOGENI 5
EVO KNUCKLE PLATE COMPONENT***

**AGUNG HARDIARTO
NRP. 1021160000068**

**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 2018**

PERNYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: Agung Hardiarso

NRP: 10211600000068

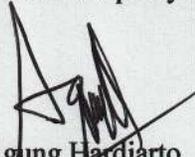
Program Studi: Manufaktur

Fakultas: Vokasi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir (TA) yang saya tulis ini benar-benar tulisan saya, dan bukan merupakan hasil plagiasi. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan TA ini hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi – ITS

Surabaya, 15 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Agung Hardiarso

NRP. 10211600000068

**KOMPOSIT CARBON FIBER SANDWICH SEBAGAI
BAHAN ALTERNATIF PENGGANTI ALUMINIUM
ALLOY 6063 PADA KNUCKLE PLATE MOBIL NOGOGENI
5 EVO**

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

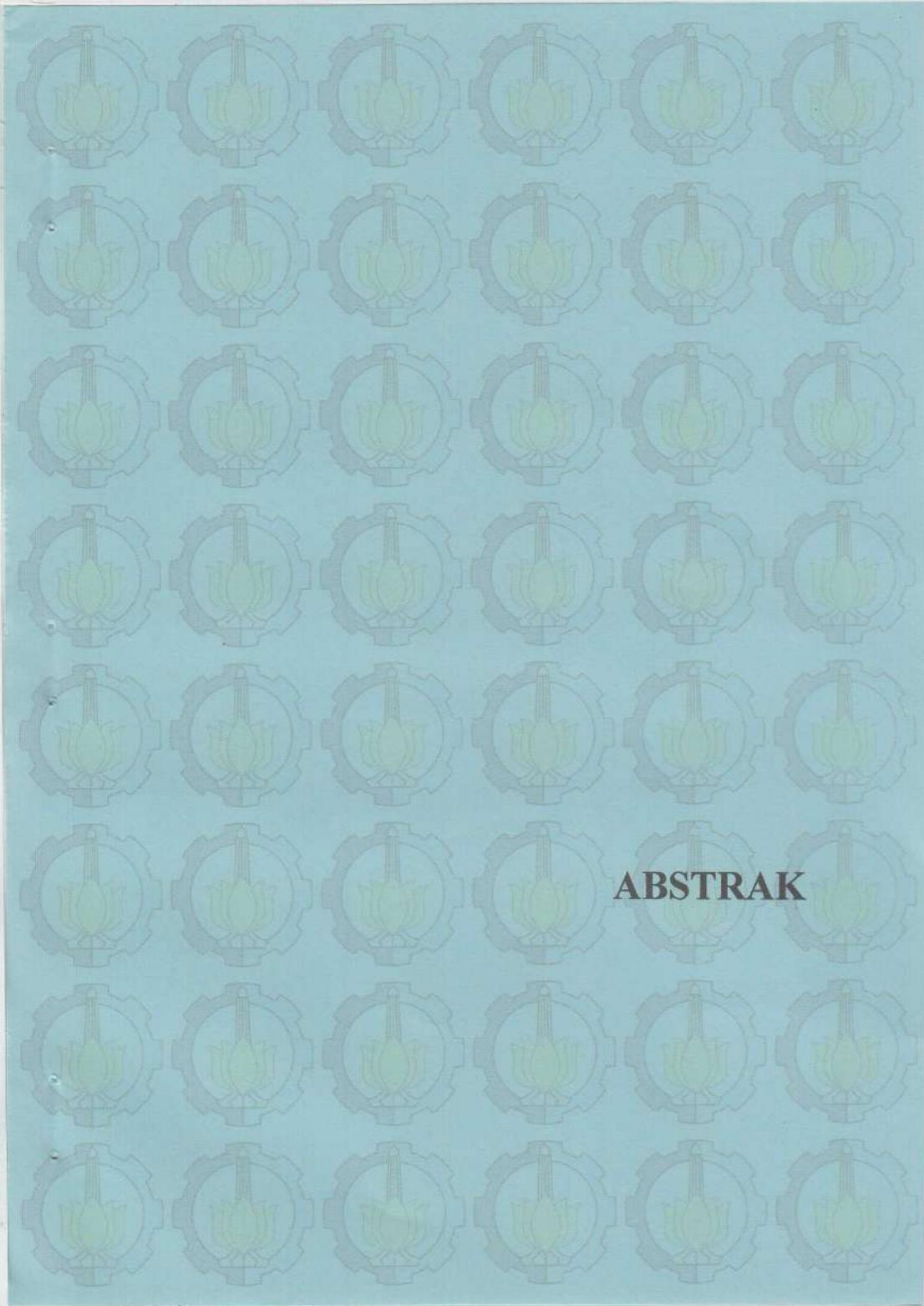
Oleh :

Agung Hardianto
NRP. 1021160000068

Mengetahui dan Menyetujui :
Dosen Pembimbing

Dr. Eddy Widnyono, MT.
NIP. 19601025 198701 1 001
INDUSTRI

SURABAYA
JULI 2019



ABSTRAK

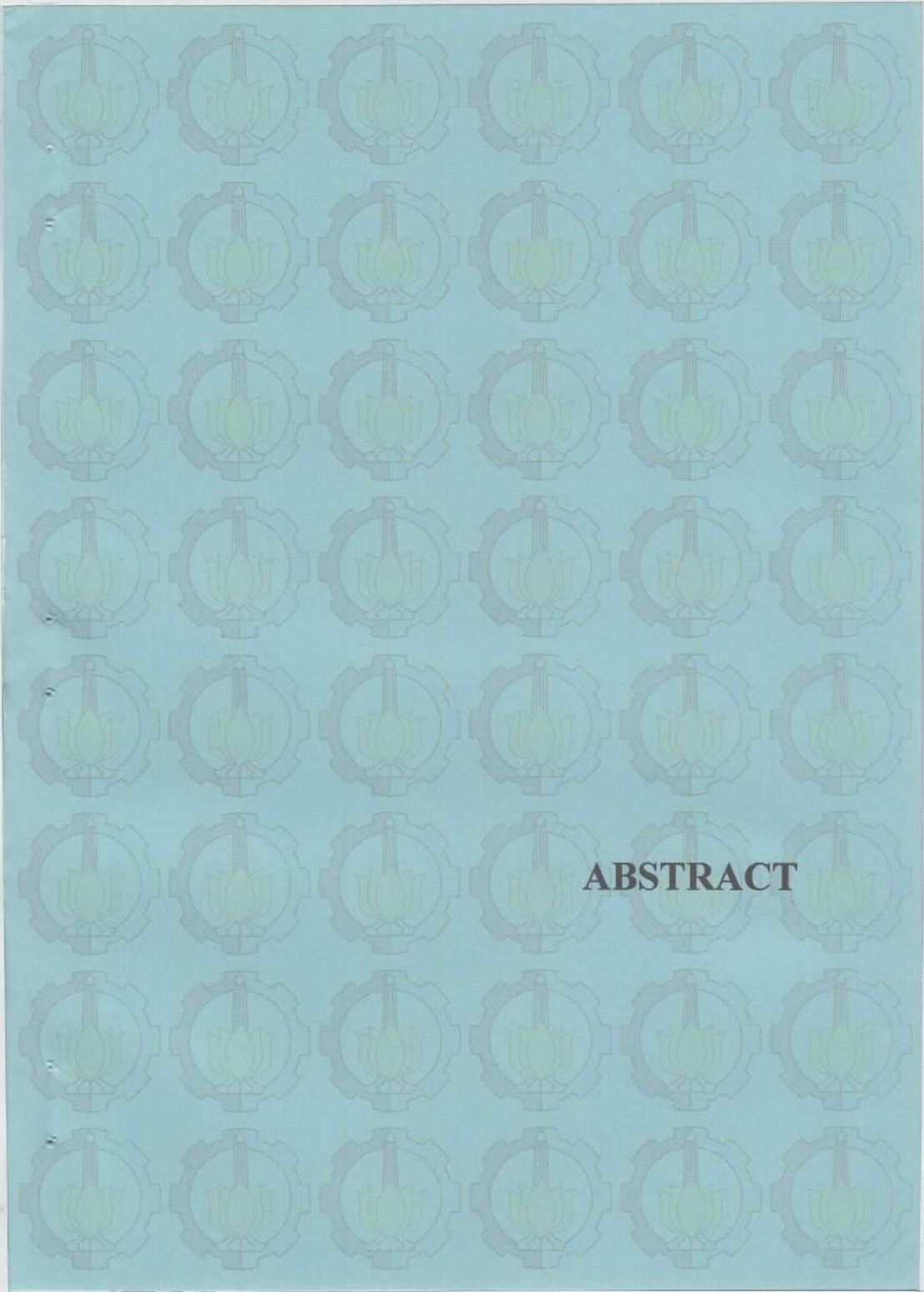
Abstrak

Nogogeni merupakan mobil riset ramah lingkungan dan hemat energi yang dirancang untuk mendapatkan efisiensi tinggi. Untuk mencapai rancangan tersebut maka tim harus mereduksi berat pada kendaraan. Salah satu upaya untuk mereduksi berat mobil adalah dengan menggunakan komponen mobil dengan material dasar yang lebih ringan, maka nilai efisiensi akan bertambah baik.

Untuk mendapatkan komponen mobil yang ringan maka dipilihlah komposit sandwich serat karbon fiber dan double layer aluminium honeycomb core dengan variasi arah serat. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk membantu tim Nogogeni mendapatkan alternatif pemilihan bahan dasar yang ringan namun tidak mengesampingkan kekuatan material.

Setelah dilakukan pengujian bending diketahui bahwa data pengujian menghasilkan stiffness sebesar 1370.36 N/mm, facing bending stress 184.405 MPa, core shear ultimate stress 0,792 MPa komposit yang terbaik terdapat pada arah serat 0°, juga hasil momen bending karbon fiber dan double layer aluminium honeycomb core lebih besar 517.62% dibandingkan dengan aluminium alloy 6063 T6-6h, model kegagalan komposit sandwich serat karbon fiber dengan double layer aluminium honeycomb core akibat pengujian bending (three point bending) berupa kegagalan indentation dan kegagalan core shear.

Kata kunci : *Komposit Sandwich, Karbon Fiber dengan Aluminium Honeycomb Core, uji tiga titik Bending, Double Layer Core, Momen Bending, stiffness.*



ABSTRACT

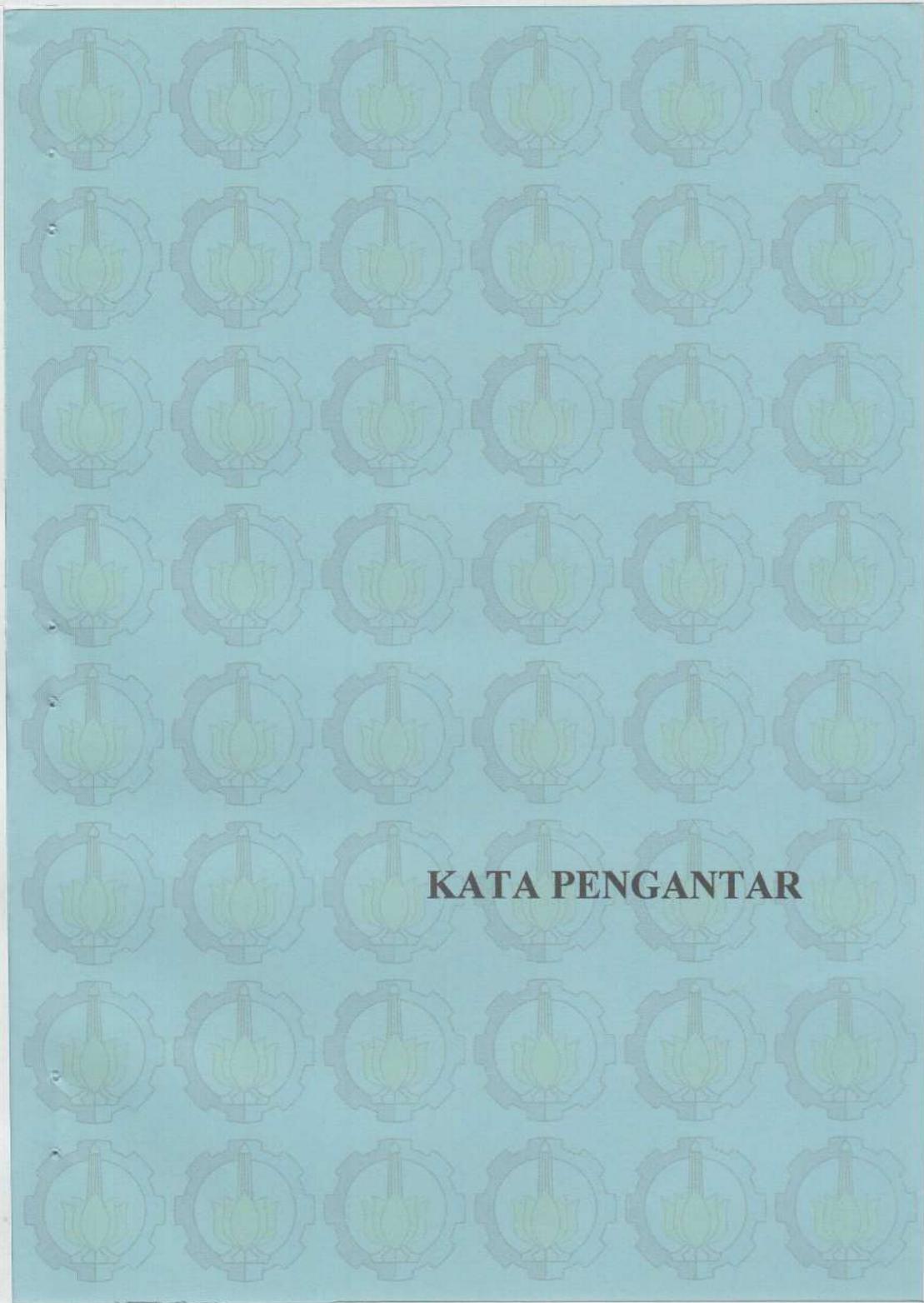
Abstract

Nogogeni is an environmentally friendly and energy-efficient research car designed to get high efficiency. To achieve this design, the team must reduce the weight of the vehicle. One effort to reduce the weight of a car is to use car components with lighter base material, so the efficiency value will improve.

To get lightweight car components, a carbon fiber fiber sandwich composite and double layer aluminum honeycomb core were selected with variations in the direction of the fiber. The purpose of this final project is to help the Nogogeni team get an alternative selection of basic materials that are lightweight but do not rule out material strength.

After bending testing it is known that the test data produces stiffness of 1370.36 N/mm, facing bending stress 184.405 MPa, ultimate core shear stress 0.792 MPa composite is best found in the direction of fiber 0° , also results in bending moments of carbon fiber and double layer aluminum honeycomb cores large 517.62% compared to 6063 T6-6h aluminum alloy, failure model of carbon fiber fiber sandwich composite with double layer aluminum honeycomb core due to bending test (three point bending) in the form of indentation failure and core shear failure.

Keywords: *Composite Sandwich, Fibre Carbon with Alumunium Honeycomb Core, Bending Test (three point bending), Double Layer Core, Moment of Bending, Stiffness*



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dengan segala keterbatasannya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Dalam terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

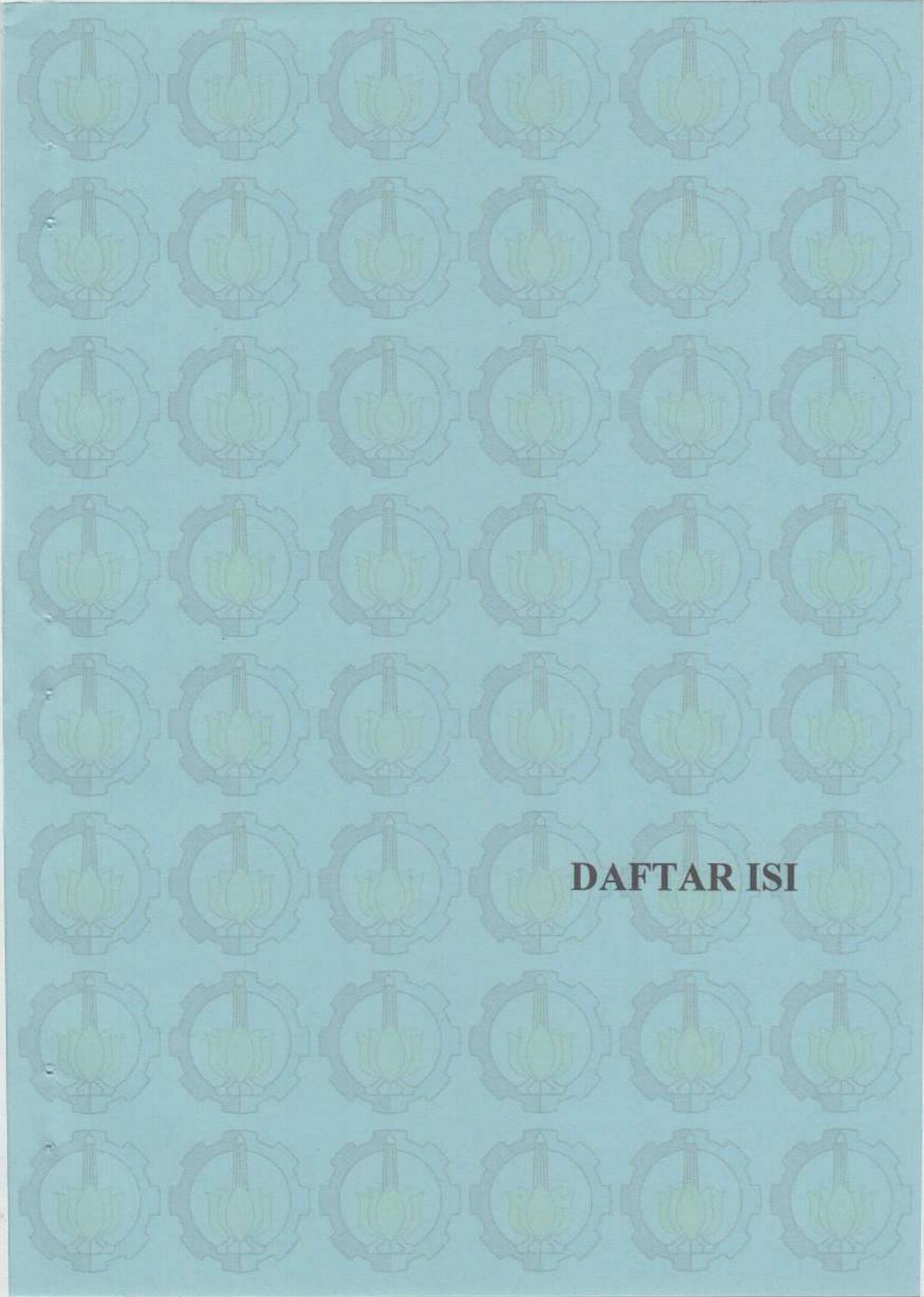
1. Bapak Ir. Eddy Widiyono, M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan dan ilmu mengenai ilmu bahan yang terkait dengan tugas akhir.
2. Ibu dan Ayah yang selalu memberikan dukungan penuh baik secara moral maupun materi. Tanpa do'a dan motivasi penulis tidak bisa menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
3. Bapak Ir. Heru Mirmanto, MT., Dr. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Industri Vokasi-ITS.
4. Bapak Ir. Suhariyanto, MT selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Diploma III Departemen Teknik Mesin Industri Vokasi-ITS.
5. Para Dosen Penguji selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di D3 Teknik Mesin ITS.
7. Azalia Izzah Fadhila yang selalu menjadi motivasi dan penyemangat saya untuk terus menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Mochammad Choirul Anam, A. Md., Bima Bagus Putra, A. Md dan Muhammad Adietya Nugraha, A. Md yang telah membantu memberikan ide-ide dalam pengerjaan tugas akhir ini.
9. M Ardian Rahman dan Hadi Wijaya yang menjadi teman bertukar pikiran untuk tugas akhir ini.

10. Penghuni Rego Kost G5 sebagai teman berbagi hari yang menjadi teman menyelesaikan tugas akhir ini.
11. NOGOGENI ITS Team yang berpartisipasi membantu menyelesaikan tugas akhir.
12. Formula Electric Team ITS yang telah membantu dan memberikan ilmu baru juga pengenalan tentang material komposit sebagai topik tugas akhir
13. Seluruh teman-teman angkatan 2016 yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terimakasih atas segala kritik dan saran serta motivasi yang telah kalian berikan.
14. Semua pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, Juli 2019

Penulis



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

COVER.....	i
LEMBAR PERNYATAAN TIDAK PLAGIASI.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi

BAB I

PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan penelitian.....	3
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan masalah.....	4
1.6 Sistematika penulisan.....	5

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Dasar Teori.....	10
2.2.1. Komposit.....	10
2.2.2. Reinforcement.....	12
2.2.3. Matriks.....	20
2.2.3.1. Polimer.....	21
2.2.3.2. Keramik.....	21
2.2.3.3. Karet.....	21
2.2.3.4. Matrik logam.....	21
2.2.3.5. Core.....	22
2.2.3.5.1. Aluminium honeycomb.....	22
2.2.3.5.2. Nomex honeycomb.....	23
2.2.3.6. Matrik karbon.....	24

2.3	Struktur Komposit.....	25
2.3.1.	Laminate.....	25
2.3.2.	Komposit Sandwich.....	26
2.3.2.1	Katalis (hardener).....	29
2.3.2.2.	Release Agent.....	30
2.3.2.2.1.	Wax.....	30
2.3.2.2.2.	PVA (Polyvinyl alcohol).....	31
2.4	Macam – macam pembuatan komposit.....	31
2.5	Komponen Mobil Nogogeni 5 Evo.....	36
2.5.1.	Knuckle Plate.....	36
2.6	Pengujian Bending komposit Sandwich.....	37
2.7	Pola kegagalan komposit Sandwich.....	41

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN.....43

3.1	Studi letatur.....	44
3.2	Survey.....	44
3.3	Bahan dan Alat Perlengkapan Pengujian.....	45
3.3.1	Bahan Pembuatan Spesimen.....	45
3.3.2	Bahan Pendukung.....	46
3.3.3	Bahan Baku Cetakan.....	47
3.3.4	Alat-alat Penunjang.....	48
3.4	Proses Penyiapan Bahan.....	50
3.5	Proses Pembuatan Spesimen.....	51
3.6	Pengujian Spesimen.....	54
3.6.1	Pengujian Bending.....	54
3.7	Dimensi Benda Uji.....	57
3.8	Komponen Knuckle Plate.....	57

BAB IV

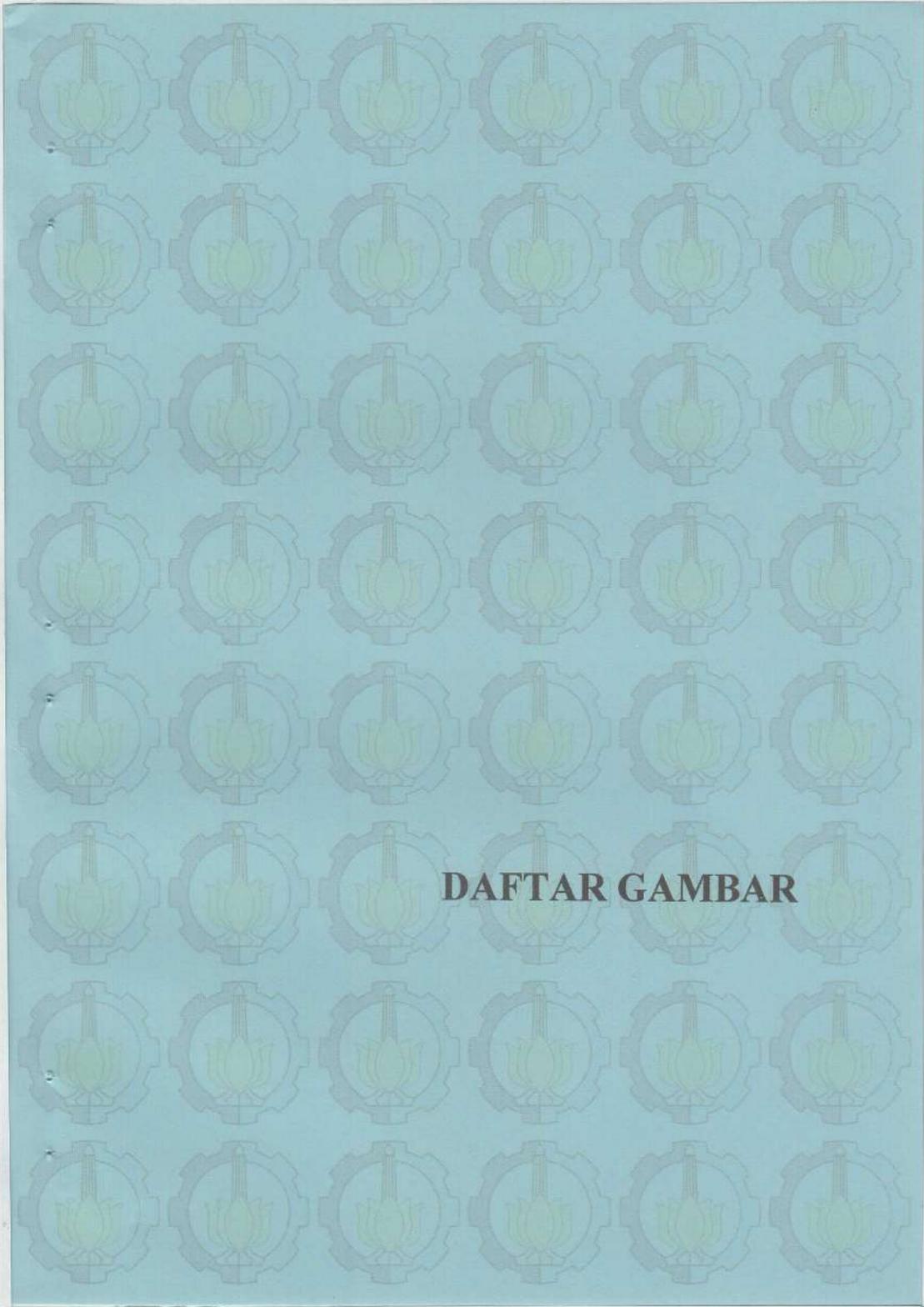
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....59

4.1	Hasil Pengujian 3 Titik Bending Komposit Sandwich.....	59
4.2	Pengaruh variasi arah sudut serat terhadap facing bending stress komposit sandwich.....	61
4.3	Pengaruh variasi arah sudut serat terhadap tegangan geser core komposit sandwich.....	63

4.4	Pengaruh variasi arah sudut serat terhadap stiffness komposit sandwich.....	66
4.5	Pengaruh variasi sudut serat terhadap Kekuatan Bending.....	69
4.6	Pengaruh variasi sudut serat terhadap Momen Bending.....	71
4.7	Pengujian tiga titik bending pada material alumunium alloy 6063.....	73
4.8	Perhitungan Kekuatan Bending pada material alumunium alloy 6063.....	75
4.9	Perhitungan Momen Bending pada material alumunium alloy 6063.....	77
4.10	Perbandingan nilai Momen Bending material komposit Double Layer Alumunium Honeycomb Core dan Carbon Fiber Sandwich dengan material Alumunium Alloy 6063.....	79
4.11	Perhitungan tegangan bending knuckle plate mobil Nogogeni 5 evo.....	80
4.11.1.	Momen inersia knuckle plate alumunium alloy 6063.....	83
4.11.2.	Tegangan Bending Maksimum alumunium alloy 6063.....	83
4.11.3.	Momen Inersia Komposit Sandwich.....	84
4.11.4.	Tegangan Bending Maksimum komposit Sandwich.....	84
4.12	Analisa makro model kegagalan komposit Double Layer Core Sandwich akibat pengujian tiga titik bending.....	84
4.13	Pembahasan.....	87
 BAB V		
KESIMPULAN DAN SARAN.....		91
5.1	Kesimpulan.....	91
5.2	Saran.....	92

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

4.4	Pengaruh variasi arah sudut serut komposit sandwich.....	69
4.5	Pengaruh variasi sudut serut terhadap Bending.....	70
4.6	Pengaruh variasi sudut serut terhadap Momen Bending.....	71
4.7	Pengaruh tisa titik bending pada material aluminium alloy 6063.....	72
4.8	Pengaruh Kekuatan Bending pada material aluminium alloy 6063.....	73
4.9	Pengaruh Momen Bending pada material aluminium alloy 6063.....	74
4.10	Pengaruh nilai Momen Bending material komposit Double Layer Aluminium Honeycomb Core dan Carbon Fiber Sandwich dengan material Aluminium Alloy 6063.....	75
4.11	Pengaruh tegangan bending knuckle plate model Kogepri 2 eva.....	76
4.11.1	Momen inertia knuckle plate aluminium alloy 6063.....	77
4.11.2	Tegangan Bending Maksimum aluminium alloy 6063.....	78
4.11.3	Momen inertia Komposit Sandwich.....	79
4.11.4	Tegangan Bending Maksimum Komposit Sandwich.....	80
4.12	Analisa makro model kegagalan komposit Double Layer Core Sandwich akibat pengaruh tisa titik bending.....	81
4.13	Pembahasan.....	82
DAFTAR ISI		
91	KESIMPULAN DAN SARAN.....	91
91	Kesimpulan.....	91
92	Saran.....	92



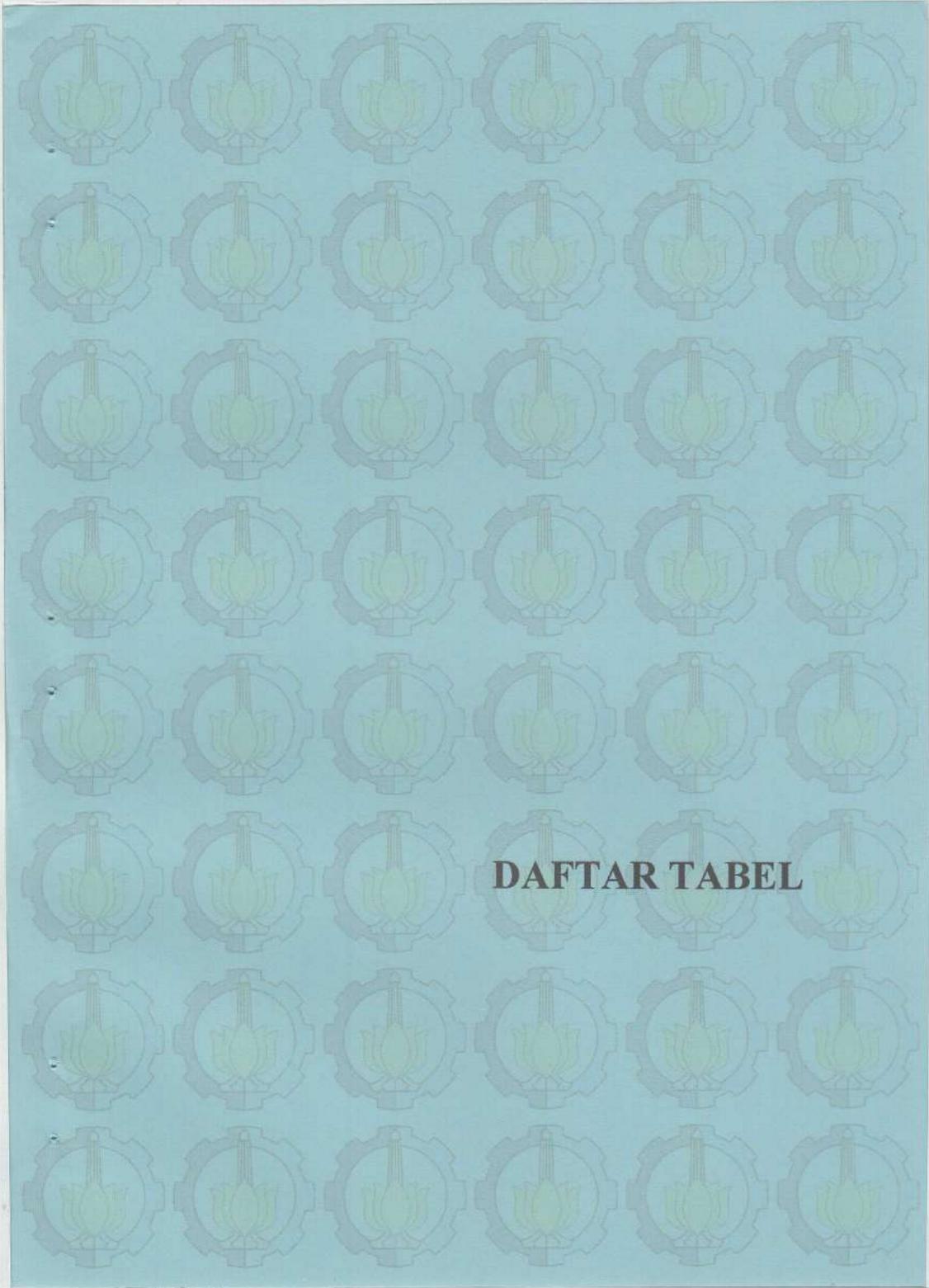
DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Kontruksi Chassis Mobil Nogogeni.....	1
Gambar 2.1.	Tipe serat pada komposit.	12
Gambar 2.2.	<i>Continuous fiber reinforced composite</i>	13
Gambar 2.3.	<i>Woven fiber reinforced composite</i>	13
Gambar 2.4.	Tipe <i>discontinuous fiber</i>	14
Gambar 2.5.	Skema susunan <i>hybrid fiber composite</i>	15
Gambar 2.6.	Pola <i>Carbon fibre twill</i>	17
Gambar 2.7.	Pola <i>Carbon fibre plain</i>	18
Gambar 2.8.	<i>Prepreg carbon fiber</i>	18
Gambar 2.9.	<i>Laminate</i>	25
Gambar 2.10.	Contoh struktur komposit <i>Sandwich</i>	27
Gambar 2.11.	Struktur komposit <i>sandwich</i>	28
Gambar 2.12.	<i>Wax</i>	30
Gambar 2.13.	<i>PVA</i>	31
Gambar 2.14.	Proses <i>hand lay-up</i>	32
Gambar 2.15.	Proses <i>spray up</i>	33
Gambar 2.16.	Proses <i>vacuum bagging</i>	34
Gambar 2.17.	Proses <i>vacuum resin infusiom</i>	35
Gambar 2.18.	Posisi komponen knuckle plate pada mobil Nogogeni 5 Evo	36
Gambar 2.19.	Dimensi knuckle plate pada mobil Nogogeni 5 Evo	37
Gambar 2.20.	Three point bending method	38
Gambar 2.21.	Dimensi ketebalan komposit sandwich.....	38
Gambar 2.22.	Pola kegagalan struktur sandwich akibat beban bending.....	42
Gambar 3.1.	<i>Carbon fiber twill weave</i>	45
Gambar 3.2.	<i>Resin carbon</i>	46
Gambar 3.3.	<i>aluminium honeycomb core</i>	46
Gambar 3.4.	<i>PVA</i>	47
Gambar 3.5.	<i>Wax</i>	47
Gambar 3.6.	<i>Kaca</i>	48
Gambar 3.7.	Timbangan digital	48

Gambar 3.8.	Pompa vakum.....	49
Gambar 3.9.	Mesin gerinda potong	49
Gambar 3.10.	Potongan serat karbon <i>twill</i>	51
Gambar 3.11.	Proses pemvakuman komposit sandwich....	53
Gambar 3.12.	Salah satu spesimen dengan variasi sudut 0 ⁰	54
Gambar 3.13.	Salah satu spesimen dengan variasi sudut 30 ⁰	54
Gambar 3.14.	Mesin uji <i>universal testing machine</i>	55
Gambar 3.15.	Salah satu proses pengujian pada variasi sudut 0 ⁰	56
Gambar 3.16.	Salah satu proses pengujian pada variasi sudut 30 ⁰	56
Gambar 3.17.	Sketsa dimensi benda uji/spesimen	57
Gambar 3.18	Dimensi yang digunakan pada mobil nogogeni 5 evo.....	57
Gambar 3.19	Bahan dasar knuckle plate alumunium alloy 6063.....	58
Gambar 3.20	Hasil pengukuran berat komponen knuckle plate setelah di porong sesuai dengan dimensi.....	58
Gambar 4.1.	Grafik pengujian 3 titik bending spesimen B3 30 ⁰	60
Gambar 4.2.	Perbandingan rata-rata hasil perhitungan <i>facing bending stress</i> komposit <i>sandwich</i> terhadap arah sudut serat	62
Gambar 4.3.	Perbandingan rata-rata hasil perhitungan tegangan geser <i>core</i> komposit <i>sandwich</i> terhadap arah sudut serat	64
Gambar 4.4.	Grafik spesimen A1 0 ⁰	66
Gambar 4.5.	Perbandingan rata-rata hasil perhitungan <i>Stiffness</i> komposit <i>sandwich</i> terhadap arah sudut serat.....	68

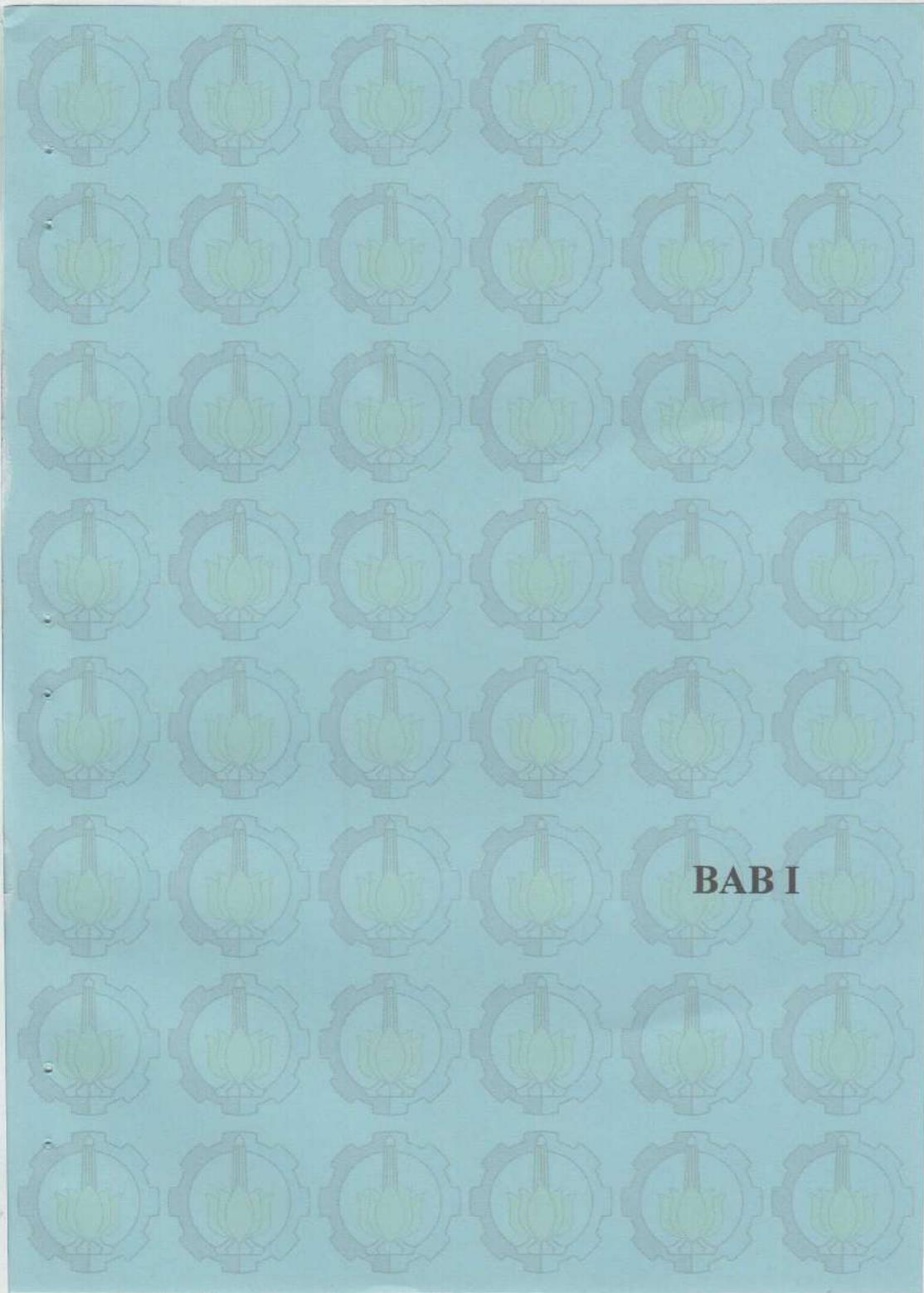
Gambar 4.6.	Perbandingan rata-rata hasil perhitungan Kekuatan <i>Bending</i> komposit <i>sandwich</i> terhadap arah sudut serat.....	70
Gambar 4.7.	Perbandingan rata-rata hasil perhitungan Momen <i>Bending</i> komposit <i>sandwich</i> terhadap arah sudut serat.....	72
Gambar 4.8.	Grafik pembebanan terhadap perpindahan hasil pengujian tiga titik <i>bending</i> pada 4 spesimen.....	74
Gambar 4.9.	Perbandingan hasil perhitungan Kekuatan <i>Bending</i> material <i>aluminium alloy 6063</i> terhadap <i>heat treatment</i>	76
Gambar 4.10.	Perbandingan hasil perhitungan Momen <i>Bending</i> material <i>aluminium alloy 6063</i> terhadap <i>heat treatment</i>	78
Gambar 4.11.	Perbandingan material komposit dengan material <i>aluminium alloy 6063</i>	79
Gambar 4.12.	Kegagalan tipe <i>indentation</i> pada spesimen uji	85
Gambar 4.13.	Kegagalan tipe <i>Core Shear</i> pada spesimen uji	86



DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat-sifat dari jenis-jenis fiber-glass	16
Tabel 2.2. <i>Properties aluminium honeycomb</i>	23
Tabel 2.3. <i>Properties nomex honeycomb</i>	23
Tabel 2.4. Kelebihan dan Kekurangan Fiber	29
Tabel 4.1. Data dimensi tiap spesimen.	59
Tabel 4.2. Hasil <i>facing bending stress</i>	61
Tabel 4.3. Hasil <i>facing bending stress</i>	63
Tabel 4.4. Data pengujian 3 titik <i>bending</i>	65
Tabel 4.5. Hasil <i>Stiffness</i> komposit.....	67
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Kekuatan <i>bending</i> komposit.....	69
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Momen <i>Bending</i> komposit.....	71
Tabel 4.8. Data spesimen <i>aluminium alloy 6063</i>	73
Tabel 4.9. Kekuatan <i>Bending</i> material <i>aluminium alloy 6063</i>	75
Tabel 4.10. Momen <i>Bending</i> material <i>aluminium alloy 6063</i>	77
Tabel 4.11. Data jenis kegagalan komposit sandwich pada pengujian 3 titik <i>bending</i>	85

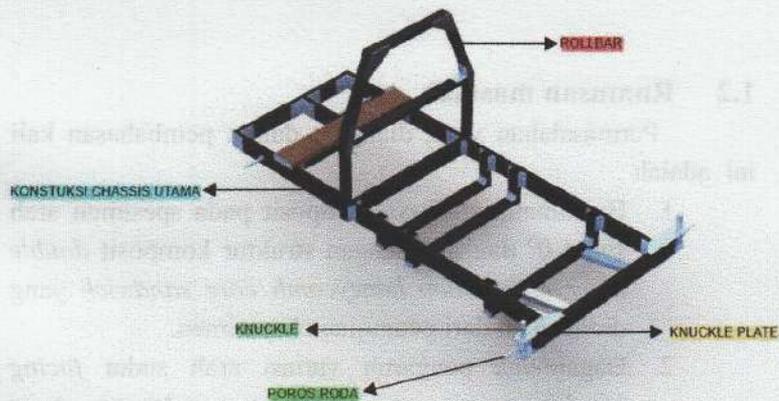


BAB I

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nogogeni merupakan mobil riset ramah lingkungan mahasiswa D3 Teknik Mesin Industri yang dirancang dan dibangun untuk mengikuti kompetisi nasional dan internasional dalam tajuk kendaraan hemat energi, ramah lingkungan, dan dituntut memiliki efisiensi tinggi. Untuk dapat bersaing dengan peserta lain yang menggunakan teknologi yang diambil dari perkembangan industri otomotif saat ini, maka tim dituntut untuk selalu mempunyai inovasi dalam hal menaikkan efisien salah satunya dengan cara mereduksi massa kendaraan. Reduksi massa dilakukan dikarenakan semakin ringan massa mobil maka kinerja motor penggerak akan semakin ringan juga, hal ini berpengaruh terhadap konsumsi energi yang digunakan untuk menjalankan mobil. Salah satu bagian dari mobil yang masih dapat direduksi massanya adalah konstruksi dan material dari *knuckle plate* kaki-kaki mobil.



Gambar 1.1 Kontruksi Chassis Mobil Nogogeni

Knuckle plate Nogogeni 5 evo masih menggunakan bahan *aluminium plate* dengan ketebalan 5mm. Dewasa ini sudah ada bahan komposit yang jauh lebih ringan dan memiliki kekuatan yang lebih baik dari *aluminium*, seperti karbon fiber. Meskipun data riset menunjukkan bahwa karbon fiber adalah serat fiber yang menawarkan tingkat kekakuan dan kekuatan dalam keadaan densitas yang rendah, namun jika tidak ada riset atau perhitungan komposisi material yang pas, riset ini tidak akan menghasilkan bodi dengan berat yang paling ringan dengan nilai kekuatan yang optimal.

Oleh sebab itu, kami ingin melakukan pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan data kekuatan material yang akan digunakan untuk pembuatan komponen *knuckle plate* mobil Nogogeni 5 evo. Dengan membandingkan hasil pengujian eksperimen tersebut maka hasil yang diperoleh dapat dijadikan sebagai dasar perbandingan pemilihan komposisi bahan yang tepat dengan variasi sudut yang pas untuk mobil Nogogeni generasi selanjutnya. Dengan didapatkannya data yang optimal, pembuatan *knuckle plate* Nogogeni akan mempengaruhi berkurangnya massa pada mobil guna peningkatan efisiensi penggunaan energi listrik.

1.2 Rumusan masalah

Permasalahan yang diangkat dalam pembahasan kali ini adalah :

1. Bagaimana *stiffness* komposit pada spesimen arah sudut 0^0 dan 30^0 dengan struktur komposit *double layer aluminium honeycomb core sandwich* yang didapatkan dari pengujian eksperimen.
2. Bagaimana pengaruh variasi arah sudut *facing bending stress, core shear stress ultimate stress*

pada variasi sudut dengan struktur komposit *double layer aluminium honeycomb core sandwich* yang didapatkan dari pengujian eksperimen.

3. Bagaimana perbedaan antara material *aluminium alloy 6063* dengan material komposit *double layer aluminium honeycomb core sandwich* pada mobil Nogogeni 5 evo

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan yang diharapkan dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan data komposit lamina melalui kaji eksperimen :

1. Mengetahui *stiffness* komposit pada spesimen arah serat 0° dan 30° dengan struktur *double layer core sandwich* yang didapatkan dari pengujian eksperimen.
2. Mengetahui nilai *facing bending stress, core shear ultimate stress* komposit pada arah serat 0° dan 30° dengan struktur *double layer aluminium honeycomb core sandwich* yang didapatkan dari pengujian eksperimen.
3. Mengetahui perbedaan *properties* hasil pengujian tiga titik *bending* antara material *aluminium alloy 6063* dengan material komposit *double layer aluminium honeycomb core sandwich* pada mobil Nogogeni 5 evo

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini nantinya sebagai berikut :

1. Mendapatkan nilai *stiffness* komposit pada spesimen arah serat 0° dan 30° dengan struktur *double layer core sandwich* yang didapatkan dari pengujian eksperimen.
2. Mendapatkan komposisi yang paling optimal dari variasi sudut dan arah dari komposit struktur *double layer aluminium honeycomb core sandwich*
3. Dapat dijadikan dasar atau pertimbangan dalam pemilihan material dalam pembuatan komponen *knuckle plate* mobil listrik Nogogeni 5 evo

1.5 Batasan masalah

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

1. Pengujian komposit sandwich dengan paduan :
 - Karbon fiber twill
 - *Double layer Core*
 - Matriks resin karbon fiber
 - *Core Aluminium Honeycomb 10mm*
2. Variasi arah komposit sebagai berikut :

Arah Serat

 - arah serat 0°
 - arah serat 30°
 - *Double Layer Core Sandwich* pada setiap struktur komposit
3. Pengujian komposit berupa uji *bending* (standard ASTM C393/C393M - 11)

4. Tidak membahas reaksi kimia antara Resin, Katalis, karbon fiber dan *Core*
5. Void diabaikan
6. Permukaan spesimen uji dianggap rata
7. Persebaran serat dianggap sempurna

1.6 Sistematika penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, 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 METODOLOGI ALAT

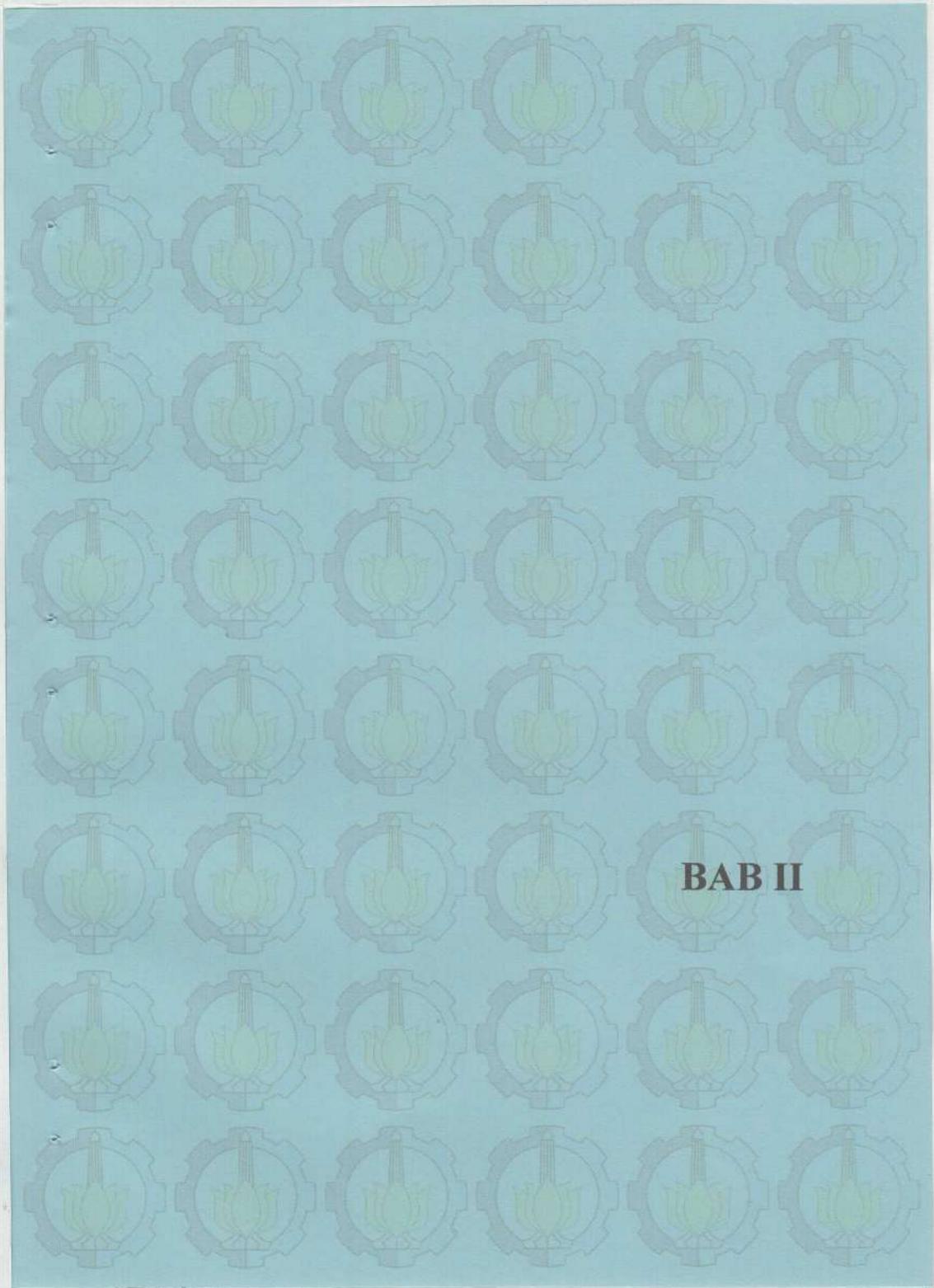
Bab ini berisi tentang diagram alur penelitian dan cara pengujian dengan menggunakan uji bending.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan pengujian bending secara eksperimen dan analisis perhitungan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran.



BAB II

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

(Kobayashi Shiyoshi, 2006) melakukan pengujian lentur dengan 3 titik pada spesimen Double Layer Aluminium Honeycomb Core Sandwich Panels. Tujuan pengujian untuk mempelajari sifat-sifat pelenturan dari panel sandwich inti honeycomb lapisan ganda, tes pelenturan dilakukan dengan menggunakan panel sandwich berlapis aluminium ganda sebagai core yang memiliki ketebalan yang sama dan beberapa kombinasi ketinggian core lapisan pertama dan kedua. Dari hasil yang diperoleh, kekuatan lentur, kekakuan lentur, energi deformasi sebagai balok dan energi serapan inti dipelajari dan dibandingkan dengan panel sandwich lapis tunggal. Sebagai hasil dari diskusi ini, ditemukan bahwa ini tergantung pada ketinggian inti dari setiap lapisan, tinggi total core, ketebalan pelat atas dan posisi pelat tengah dimasukkan di antara lapisan. Selain itu, semua panel sandwich lapisan ganda lebih unggul daripada panel sandwich lapisan tunggal untuk sifat mekanik seperti kekuatan lentur dan energi deformasi sebagai balok, karena energi tekuk inti yang besar pada lapisan pertama.

(Giulia Palomba, 2018) melakukan pengujian pembebanan impak Single Layer and Double Layer Honeycomb Sandwich Panels. Dia menjelaskan, Struktur sandwich Honeycomb memiliki kemampuan penyerapan energi yang sangat baik, dikombinasikan dengan mekanik yang baik. Properti dan kepadatan rendah. Karakteristik ini menjadikannya ideal untuk industri transportasi, karena

meningkatnya minat dalam mencapai standar keselamatan yang lebih tinggi.

Tujuan pengujian adalah pengenalan struktur yang layak, ringan dan lebih efisien. Struktur lapis ganda honeycomb sandwich dianalisis dan kemampuan penyerapan energinya. Dievaluasi dengan menggunakan uji dampak kecepatan rendah. Penyerapan energi spesifik panel lapis ganda dibandingkan dengan honeycomb lapisan tunggal dan lainnya. Panel ringan, untuk menilai efektivitas dan kenyamanan solusi yang diperkenalkan untuk perangkat yang ringan dan mudah rusak. Mekanisme penyerapan dampak evaluasi melalui gambar Tomografi Terkomputasi dan inspeksi visual.

Evaluasi teoritis diterapkan untuk menyelidiki respons dampak satu lapis. Hasilnya adalah dibandingkan dengan yang diperoleh dengan kondisi batas yang berbeda dan dengan tes skala penuh. Parameter kontak dipengaruhi oleh kondisi batas karena mereka tergantung pada kekakuan spesimen. Panel berlapis ganda menampilkan urutan keruntuhan progresif, tergantung pada pengaturan inti dan ukuran sel. Honeycomb dengan ukuran sel yang lebih besar menunjukkan distribusi dampak pemuatan yang lebih baik kompresi core yang hampir seragam. Pengamatan seperti itu menunjukkan kemungkinan untuk mendapatkan penyerap energi perangkat dengan deformasi yang terkontrol.

Pertimbangan awal tentang keberadaan efek ukuran dapat ditarik kesimpulan, karena mengamati hubungan antara parameter kontak dan karakteristik geometris honeycomb dan indentor.

(Muhammad A N, 2018) melakukan pengujian tiga titik *bending* pada material komposit sandwich dengan struktur single layer menggunakan inti (*core*) yakni *polyurethane rigid*

foam setebal 14 mm dan *reinforcement* yang digunakan *carbon fibre plain* dan *twill* dengan jumlah 3 lapis tiap *skin* dengan keterangan 2 lapis *carbon fibre twill* dan 1 lapis *carbon fibre plain*. Penulis memiliki tujuan untuk mencari data kekuatan *bending*, momen *bending* dan modulus elastisitas komposit *sandwich* pada arah serat berbeda. Selain itu penulis juga bertujuan untuk mengetahui data *facing bending stress*, *core shear ultimate stress* pada komposit. Tujuan mengarah untuk pengaplikasian pada *body* mobil nogogeni.

(Ismail M, 2018) merancang dan membuat mobil formula FSAE untuk mengikuti kompetisi *Student Formula Japan (SFJ)*. Penulis merancang mobil formula tersebut menggunakan material komposit yang diaplikasikan pada kerangka chassis tipe *monocoque*. Pada regulasi FSJ, mobil diwajibkan memiliki *properties* yang diminta seperti *stiffness*, *shear force* dan kekuatan tarik pada material tersebut. Nilai yang dicari didapat dari pengujian tiga titik *bending* dan perhitungan menggunakan simulasi dengan menggunakan aplikasi *ANSYS*. Komposit yang dibuat yakni dengan struktur *sandwich single layer* berbahan dasar *aluminium honeycomb* dengan ketebalan 20 mm dengan *reinforcement carbon fibre prepreg XPREG XC110* sejumlah 3 lapis pada tiap *skin*. Penulis juga yang telah memperkenalkan jenis *core* yang menurut saya sangat asing yakni *aluminium honeycomb*.

(Mochammad C A, 2019) melakukan pengujian *bending* dengan tujuan untuk mendapatkan nilai *stiffness* dengan pengujian dan perhitungan simulasi menggunakan aplikasi *ANSYS*. Selain nilai *stiffness*, penulis juga mencari nilai *facing bending stress*, *core shear stress*, *panel bending stiffness* dari pengujian tiga titik *bending*. Material yang dibuat yakni komposit *sandwich* dengan struktur *single layer* menggunakan

aluminium honeycomb core dengan ketebalan 10 mm dan *reinforcement carbon fibre prepreg XPREG XC110* sejumlah 3 lapis pada tiap *skin*.

2.2 Dasar teori

2.2.1. Komposit

Menurut (Bambang K H, 2000) kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda, digabung atau dicampur secara makroskopis. Kata kunci di sini adalah pengertian makroskopis. Berbeda dengan paduan atau *alloy* yang penggabungan unsur-unsurnya dilakukan secara mikroskopis. Pada bahan komposit, sifat-sifat unsur pembentuknya masih terlihat jelas, yang pada paduan sudah tidak lagi tampak secara nyata. Justru keunggulan bahan komposit di sini adalah penggabungan sifat-sifat unggul masing-masing unsur pembentuknya tersebut.

Komposit memberikan suatu pengertian yang sangat luas dan berbeda-beda, serta mengikuti situasi dan perkembangan bahan itu sendiri. Gabungan dua atau lebih bahan merupakan suatu konsep yang diperkenalkan untuk menerangkan definisi komposit. Walaupun demikian definisi ini terlalu umum, komposit ini merangkum semua bahan termasuk plastic yang diperkuat dengan serat, logam *alloy*, keramik, *copolymer* dan apa saja campuran dua bahan atau lebih untuk mendapat suatu bahan baru.

Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (modulus Young/density) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam. Beberapa lamina komposit

dapat ditumpuk dengan arah orientasi serat yang berbeda, gabungan lamina disebut laminat.

Pada umumnya bahan komposit terdiri dari dua unsur, yaitu:

1. Penguat (*reinforcement*), memiliki sifat relatif kurang elastis namun lebih kuat dan kaku
2. Matrik, memiliki sifat yang akan menghasilkan sifat mekanik dari komposit tersebut.

Salah satu keunggulan dari material komposit bila dibandingkan dengan material lainnya adalah penggabungan unsur-unsur yang unggul dari masing-masing unsur pembentuknya tersebut. Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan dapat saling melengkapi kelemahan-kelemahan yang ada pada masing-masing material penyusunnya. Sifat-sifat yang diperbaharui (Jones, 1975) antara lain :

Sifat-sifat yang dapat diperbaiki antara lain :

- a) Kekuatannya (*strength*)
- b) Kekakuannya (*stiffness*)
- c) Ketahanan terhadap korosi (*corrosion resistance*)
- d) Pengurangan berat material (*weight*)
- e) Ketahanan gesek/aus (*wear resistance*)
- f) Ketahanan lelah (*fatigue life*)
- g) Meningkatkan konduktifitas panas
- h) Tahan lama

Saat ini, komposit sering digunakan untuk bahan – bahan industri otomotif, kedirgantaraan, maupun aerospace, dan bidang lainnya.

2.2.2. Reinforcement

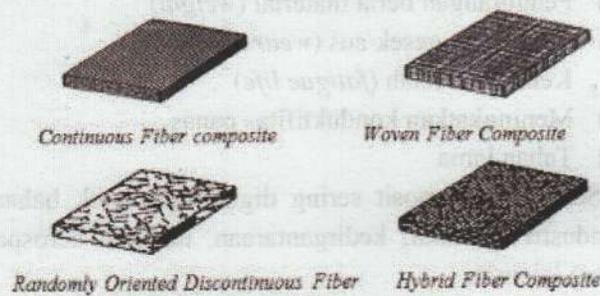
Berfungsi sebagai penanggung beban utama struktur komposit. Banyak jenis penguat yang dapat di aplikasikan dalam pembuatan komposit dan diantaranya adalah:

a. Fiber

Serat atau *fiber* dalam bahan komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan (diameter serat mendekati ukuran kristal) maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material (Triyono, & Diharjo k, 2000).

Disamping itu, serat atau fiber adalah salah satu komponen terpenting dalam sebuah komposit, hal ini dikarenakan serat atau fiber adalah penentu utama sifat mekanik yang akan dimiliki komposit tersebut seperti kekakuan, keuletan, dll.

Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit, yaitu :

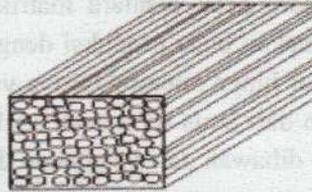


Gambar 2.1 Tipe serat pada komposit

1. Continuous Fiber Composite

Continuous atau uni-directional, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina

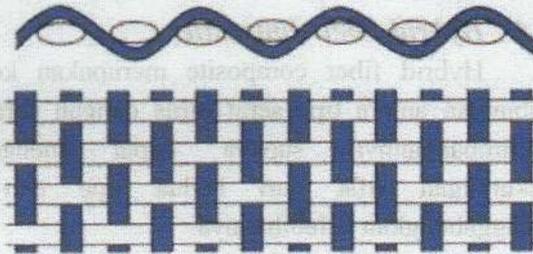
diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.



Gambar 2.2 *continuous fiber reinforced composite*

2. Woven Fiber Composite (bi-directional)

Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe continuous fiber.



Gambar 2.3 *woven fiber reinforced composite*

3. Discontinuous Fiber Composite (chopped fiber composite)

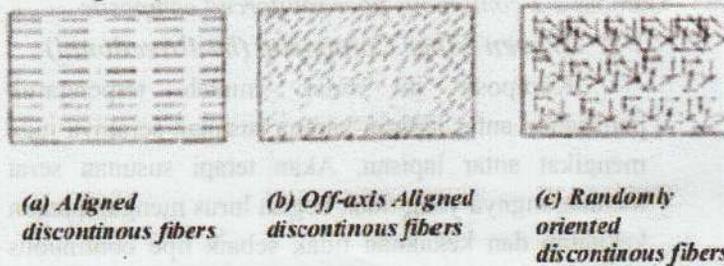
Komposit dengan tipe serat pendek masih dibedakan lagi menjadi :

- 1) Aligned discontinuous fiber

2) Off-axis aligned discontinuous fiber

3) Randomly oriented discontinuous fiber

Randomly oriented discontinuous fiber merupakan komposit dengan serat pendek yang tersebar secara acak diantara matriksnya. Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.



(a) Aligned discontinuous fibers

(b) Off-axis Aligned discontinuous fibers

(c) Randomly oriented discontinuous fibers

Gambar 2.4 Tipe *discontinuous fiber*

4. *Hybrid fiber composite*

Hybrid fiber composite merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Pertimbangannya supaya dapat mengeliminir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihan keduanya.

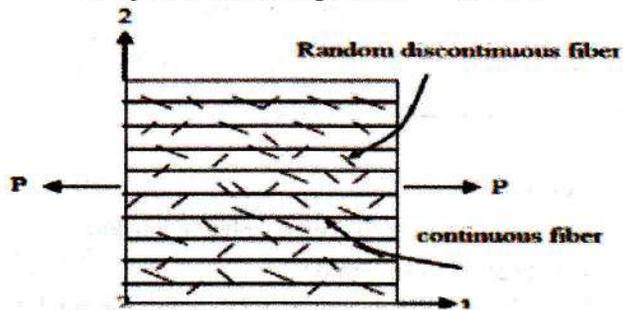
Jenis fiber yang biasa digunakan untuk pembuatan komposit antara lain sebagai berikut :

a) *Fiber-glass*

Sifat-sifat *fiber-glass*, yaitu sebagai berikut :

1. Density cukup rendah (sekitar 2,55 g/cc)
2. Tensile strengthnya cukup tinggi (sekitar 1,8 GPa)
3. Biasanya stiffnessnya rendah (70GPa)
4. Stabilitas dimensinya baik

5. Resisten terhadap panas dan dingin
6. Tahan korosi
7. Komposisi umum adalah 50-60% SiO₂ dan paduan lain yaitu Al, Ca, Mg, Na, dan lain-lain.



Gambar 2.5 skema susunan *hybrid fiber composite*

Keuntungan dari penggunaan fiber-glass yaitu sebagai berikut:

1. Biaya murah
2. Tahan korosi
3. Biayanya relatif lebih rendah dari komposit lainnya
4. Biasanya digunakan untuk piing, tanks, boats, alat-alat olahraga

Kerugian dari penggunaan fiber-glass yaitu sebagai berikut :

1. Kekuatannya relatif rendah
2. Elongasi tinggi
3. Kekuatan dan beratnya sedang (*moderate*)

Tabel 2.1 Sifat-sifat dari jenis-jenis *fiber-glass*

No	Jenis serat		
	E-glass	C-glass	S-glass
1	Isolator listrik yang baik	Tahan terhadap korosi	Modulus lebih tinggi
2	Kekakuan tinggi	Kekuatan lebih rendah dari E-glass	Lebih tahan terhadap suhu tinggi
3	Kekuatan tinggi	Harga lebih mahal dari E-glass	Harga lebih mahal dari E-glass

b) *Fiber-nylon*

Sifat-sifat *fiber-nylon*, yaitu sebagai berikut :

1. Dibuat dari polyamide
2. Lebih kuat, lebih ringan, tidak getas dan tidak lebih kaku dari karbon
3. Contoh merek nylon yaitu Kevlar (DuPont) dan Kwaron (Akzo)

c) *Carbon Fiber*

Merupakan material yang terdiri dari serat berdiameter 5-10 μ m dengan sebagian besar susunannya adalah atom karbon, dimana struktur karbon berbentuk karbon di bentuk menjadi kristal.

Ukuran utasan untuk anyaman *carbon fiber* bermacam macam, untuk 1 utasan ada dari ukuran 3k, 6k, 12k, 24k, 40k, 80k, 160k, 320k, 400k, 410k.

Satu utasan yang dimaksud adalah jika pada material terdapat keterangan 3k, maka pada 1 utasan tersebut terdiri dari 3000 serat.

Carbon fiber dibuat dengan cara mengkarbonasi material PAN (*polyacrylonitrile*) dan Rayon yang biasa digunakan saat ini, material tersebut merupakan polimer tekstil. Setelah melewati proses tersebut, dilanjutkan dengan proses grafitisasi pada temperature

tinggi dan kemudian dilakukan proses penggulangan serat-serat karbon atau tenun untuk menjadi sebuah anyaman.

Jenis – jenis karbon fiber berdasarkan jenis polanya, antara lain :

1. Karbon fiber *twill*

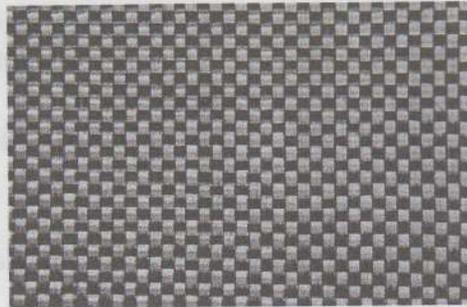
Pola *twill* terlihat lebih modern dari pola plain 1x1. Pola paling populer yang digunakan banyak pabrik serat karbon untuk membuat rincian. 2x2 *Twill* banyak digunakan dalam imitasi juga. Pola ini memiliki bentuk yang elastis dan baik untuk digunakan dengan bentuk kompleks karena tenunannya lebih longgar



Gambar 2.6 Pola *Carbon fibre twill*

2. Karbon fiber *plain*

Pola plain adalah perkembangan utama dari pola karbon fiber atau yang juga disebut pola tenunan polos. Pola ini memiliki bentuk yang kaku dan sulit untuk dibentuk pada desain mold yang rumit. Tenunnya cenderung rapi sehingga jarang ada fiber yang terlepas dari tenunan. Termasuk pola yang paling kuat.



Gambar 2.7 pola *Carbon fibre plain*

3. *Prepreg*

Prepreg adalah lembar tipis dari serat yang diserapi dengan matriks polimer terdistribusi secara merata dan teratur yang telah ditentukan sebelumnya. Serat yang diperkuat adalah serat buatan seperti serat karbon fiber dan *aramid* atau Kevlar. *Prepreg* menggunakan matriks dengan cairan resin thermoset pada suhu tinggi. Sehingga mengalami reaksi kimia yang mengubah *prepreg* menjadi bahan structural padat yang sangat kaku dan ringan.



Gambar 2.8 *prepreg carbon fiber*

Sifat-sifat *fiber-carbon*, yaitu sebagai berikut :

1. Densitas karbon cukup ringan yaitu sekitar 2,3 g/cc.
2. Struktur grafit yang digunakan untuk membuat fiber berbentuk seperti kristal intan.
3. Mempunyai karakteristik yang ringan, kekuatan yang sangat tinggi, kekakuan (modulus elastisitas) tinggi.
4. Memisahkan bagian yang bukan karbon melalui proses
5. Terdiri dari + 90% karbon
6. Dapat dibuat bahan turunan : grafit yang kekuatannya dibawah serat karbon
7. Diproduksi dari Polyacrylnitril (PAN), melalui tiga tahap proses, yaitu sebagai berikut :
 - a. Stabilisasi = Peregangan dan oksidasi.
 - b. Karbonisasi = Pemanasan untuk mengurangi O, H, N
 - c. Grafitisasi = Meningkatkan modulus elastisitas.

Keuntungan dari penggunaan karbon fiber yaitu sebagai berikut:

1. memiliki bobot dan massa jenis yang ringan
2. Tahan korosi
3. Biasanya digunakan untuk industri otomotif, aerospace.

Kerugian dari penggunaan fiber-glass yaitu sebagai berikut :

1. Biaya mahal
2. Getas
3. Memerlukan peralatan yang mahal

2.2.3. Matriks

(Gibson R.F, 1994) mengatakan bahwa matrik dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). (Triyono dan Diharjo, 2000) Syarat pokok matrik yang digunakan dalam komposit adalah matrik harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik, artinya tidak ada reaksi yang mengganggu. (Bambang K.H, 2000) Matriks merupakan bahan-bahan yang lunak dan liat. Polimer (plastik) menjadi bahan umum yang biasa digunakan meskipun untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan suhu tinggi, beberapa logam dapat digunakan seperti aluminium, tembaga, magnesium bahkan titanium. Namun, umumnya matrik dipilih yang mempunyai ketahanan panas yang tinggi

Menurut (Diharjo, 1999) pada bahan komposit matrik mempunyai kegunaan yaitu sebagai berikut :

1. Matrik memegang dan mempertahankan serat pada posisinya.
2. Pada saat pembebanan, merubah bentuk dan mendistribusikan tegangan ke unsur utamanya yaitu serat.
3. Memberikan sifat tertentu, misalnya ductility, toughness dan electrical insulation.

Menurut Diharjo (1999), bahan matrik yang sering digunakan dalam komposit antara lain :

2.2.3.1. Polimer.

Polimer merupakan bahan matrik yang paling sering digunakan. Adapun jenis polimer yaitu:

- Thermoset, adalah plastik atau resin yang tidak bisa berubah karena panas (tidak bisa di daur ulang). Misalnya : *epoxy, polyester, phenolic*.
- Termoplastik, adalah plastik atau resin yang dapat dilunakkan terus menerus dengan pemanasan atau dikeraskan dengan pendinginan dan bisa berubah karena panas (bisa didaur ulang).

Misalnya : Polyamid, nylon, polysurface, polyether.

2.2.3.2. Keramik

Pembuatan komposit dengan bahan keramik yaitu: Keramik dituangkan pada serat yang telah diatur orientasinya dan merupakan matrik yang tahan pada temperatur tinggi. Misalnya : SiC dan SiN yang sampai tahan pada temperatur 1650⁰ C.

2.2.3.3. Karet

Karet adalah polimer bersistem cross linked yang mempunyai kondisi semi kristalin dibawah temperature kamar.

2.2.3.4. Matrik logam

Matrik cair dialirkan ke sekeliling sistem fiber, yang telah diatur dengan perekatan difusi atau pemanasan.

2.2.3.5. Core

Core adalah salah satu bahan yang menjadi bagian dari komposit *sandwich*. *Core* dibuat dengan bahan yang memiliki densitas tinggi dan struktur bahan yang mempengaruhi bidang kontak permukaan antara *skin* dan *core*.

Pemilihan struktur *core* harus sesuai dengan spesifikasi yang dihasilkan agar ketika membuat sebuah komposit *sandwich* yang memiliki sifat mekanik kita inginkan dapat tercapai dengan tepat.

Contoh dari material *core* yang digunakan adalah *honeycomb*, *rigid foam*, kayu balsa, *lantor soric* dan *diviny cell*.

Honeycomb core merupakan material dengan susunan *cell* berbentuk persegi enam (*hexagonal*) seperti sarang lebah. Geometri tersebut mampu disusun tanpa terputus dan dapat mentransfer beban yang diterima. Ada 2 jenis bahan *honeycomb core* yang banyak digunakan seperti:

2.2.3.5.1. Aluminium honeycomb

Aluminium honeycomb berbahan *aluminium alloy* 5056, 5052, 2024 dan 3003 adalah *core* utama yang sering digunakan dalam bidang penerbangan dan otomotif. Jika pembuatan komposit dengan menggunakan matriks ini dilakukan dengan metode yang benar, akan memberikan sifat kekakuan yang tinggi dan mengurangi berat yang signifikan.

Tabel 2.2 *Properties aluminium honeycomb*

Honeycomb core's properties		50 Microns			
Type	ALUMINIUM ALLOY 3003/3005/3103/3104				
Ø honeycomb in mm	6	9	12	19	
Ø honeycomb in inches	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	
Density Kg/m ³	56 - 59	39 - 40	29 - 30	20 - 21	
Compressive stabilised strength MPa	3.0 - 3.5	1.4 - 1.95	0.8 - 0.95	0.4 - 0.5	

Honeycomb core's properties		70 Microns			
Type	ALUMINIUM ALLOY 3003/3005/3103/3104				
Ø honeycomb in mm	6	9	12	19	
Ø honeycomb in inches	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	
Density Kg/m ³	80 - 83	54	40 - 42	27 - 29	
Compressive stabilised strength MPa	4.3 - 4.6	2.5 - 2.6	1.41 - 1.5	0.85 - 0.9	

2.2.3.5.2. *Nomex honeycomb*

Honeycomb berbahan *aramid* ini adalah *core* yang sering digunakan pada bidang penerbangan karena memiliki performa yang baik jika di produksi dengan benar.

Tabel 2.3 *Properties nomex honeycomb*

Designation	Density	Compression strength	L-Shear	W-Shear
Cell size	Kg/m ³ (密度)	N/mm ² (压缩强度)	MPa	MPa
mm(孔距)			N/mm ²	N/mm ²
3.2	48	1.90	1.16	0.62
3.2	61	3.10	1.48	0.81
3.2	80	4.20	1.63	1.03
3.2	96	6.60	2.33	1.42
3.2	128	11.40	2.64	1.78
3.2	144	18.20	3.65	1.90
1.0	29	0.60	0.45	0.26
4.0	80	5.20	1.90	0.98
4.0	144	18.00	3.60	2.00
4.8	32	0.90	0.58	0.36
4.8	48	2.00	0.98	0.56
4.8	64	3.40	1.70	0.92
4.8	80	6.00	1.63	1.10
4.8	96	7.30	2.26	1.32
4.8	128	9.30	3.40	1.86
6.3	24	0.54	0.34	0.18
6.4	32	0.80	0.54	0.30
6.4	48	2.05	1.00	0.56
6.4	64	3.40	1.54	0.79
9.6	24	0.52	0.32	0.16
9.6	32	0.68	0.56	0.29

2.2.3.6. Matrik karbon

Fiber yang direkatkan dengan karbon sehingga terjadi karbonisasi. *Voids* (kekosongan) yang terjadi pada matrik sangatlah berbahaya, karena pada bagian tersebut fiber tidak didukung oleh matriks, sedangkan fiber selalu akan mentransfer tegangan ke matriks. Hal seperti ini menjadi penyebab munculnya *crack*, sehingga komposit akan gagal lebih awal. Kekuatan komposit terkait dengan *void* adalah berbanding terbalik yaitu semakin banyak *void* maka komposit semakin rapuh dan apabila sedikit *void* komposit semakin kuat.

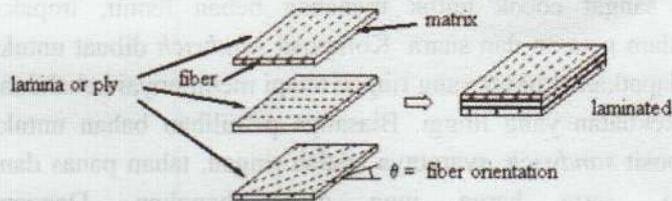
Dalam pembuatan sebuah komposit, matriks berfungsi sebagai pengikat bahan penguat, dan juga sebagai pelindung partikel dari kerusakan oleh faktor lingkungan. Beberapa bahan matriks dapat memberikan sifat-sifat yang diperlukan sebagai keliatan dan ketangguhan. Pada penelitian ini matrik yang digunakan adalah polimer thermoset dengan jenis resin polyester.

Matriks polyester paling banyak digunakan terutama untuk aplikasi konstruksi ringan, selain itu harganya murah, resin ini mempunyai karakteristik yang khas yaitu dapat diwarnai, transparan, dapat dibuat kaku dan fleksibel, tahan air, tahan cuaca dan bahan kimia. Polyester dapat digunakan pada suhu kerja mencapai 790C atau lebih tergantung partikel resin dan keperluannya (Schward, 1984). Keuntungan lain matriks polyester adalah mudah dikombinasikan dengan serat dan dapat digunakan untuk semua bentuk penguatan plastik.

2.3 Struktur Komposit

2.3.1. Laminate

Laminate adalah gabungan dari dua atau lebih *lamina* (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) yang membentuk elemen struktur secara integral pada komposit. Proses pembentukan *lamina* menjadi *laminate* dinamakan proses *laminasi*. Sebagai elemen sebuah struktur, *lamina* yang serat penguatnya searah saja (*unidirectional lamina*) pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Sebab itu struktur komposit dibuat dalam bentuk *laminate* yang terdiri beberapa macam *lamina* yang diorientasikan dalam arah serat yang berbeda dan digabungkan bersama sebagai sebuah unit struktur.



Gambar 2.9 laminate

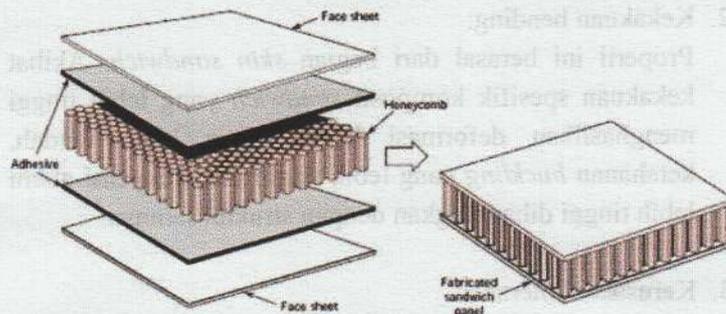
Beberapa jenis *laminate* yang diketahui yaitu:

1. *Unidirectional, laminate* dengan tiap *lamina* mempunyai arah serat yang sama. Kekuatan terbesar dari jenis *laminate* ini adalah searah dengan 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° dan 90°
4. *Quasi-isotropic, laminate* sangat kompleks karena orientasi *lamina* di dalamnya mengandung *cross-ply* dan *angle-ply*

2.3.2. Komposit *Sandwich*

Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite (metal sheet)* sebagai kulit permukaan (*skin*) serta meterial inti (*core*) di bagian tengahnya (berada di antaranya). *Core* yang biasa dipakai adalah *core import*, seperti polyuretan (PU), *polyvynil Clorida* (PVC), dan *honeycomb*.

Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua *skin* dipasang *core*. Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban lentur, dampak, meredam getaran dan suara. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Biasanya pemilihan bahan untuk komposit *sandwich*, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan. Dengan menggunakan material inti yang sangat ringan, maka akan dihasilkan komposit yang mempunyai sifat kuat, ringan, dan kaku. Komposit *sandwich* dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun non-struktural bagian internal dan eksternal pada kereta, bus, truk, dan jenis kendaraan yang lainnya.



Gambar 2.10 Contoh struktur komposit *Sandwich*

Menurut Hedlund (2008), keuntungan utama dari material komposit konstruksi *sandwich*, dibandingkan dengan material lainnya adalah sebagai berikut:

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

Beberapa karakteristik umum komposit sandwich dijelaskan sebagai berikut:

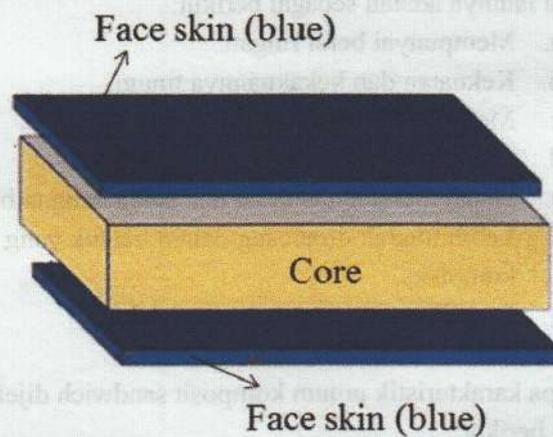
1. Kepadatan rendah:
Pilihan *core* yang ringan atau struktur diperluas dari bahan *high density* menurunkan densitas keseluruhan dari komposit *sandwich*. Volume *core* jauh lebih tinggi pada komposit *sandwich* dibandingkan dengan volume *skin* sehingga setiap penurunan kepadatan bahan *core* memiliki dampak yang signifikan terhadap kepadatan *sandwich* keseluruhan.

2. Kekakuan bending:

Properti ini berasal dari bagian *skin sandwich*. Akibat kekakuan spesifik komposit *sandwich* yang lebih tinggi menghasilkan deformasi lateral yang lebih rendah, ketahanan *buckling* yang lebih tinggi dan frekuensi alami lebih tinggi dibandingkan dengan struktur lainnya.

3. Kerusakan toleransi:

Penggunaan atau bahan busa fleksibel sebagai *core* membuat bahan *sandwich* sangat merusak struktur toleransi. Untuk alasan ini *core* busa atau bahan *sandwich core* menjadi bahan populer dalam aplikasi kemasan.



Gambar 2.11 Struktur komposit *sandwich*

Tabel 2.4 Kelebihan dan Kekurangan Fiber

Fiber	Kelebihan	Kekurangan
Fiber-glass	1. Kekuatan tinggi 2. Relatif murah	Kurang elastis
Fiber-carbon	1. Kuat hingga sangat kuat 2. Stiffness(kuat+keras) besar 3. Koefisien pemuaian kecil 4. Menahan getaran	1. Agak getas 2. Nilai peregangan kurang 3. Agak mahal
Fiber-graphite	1. Lebih stiffness dari Carbon 2. Lebih ulet	Kurang kuat disbanding Carbon
Fiber-nylon(aramid)	1. Agak stiff (kuat+keras) & sangat ulet 2. Tahan terhadap benturan 3. Kekuatanya besar (lebih kuat dari baja) 4. Lebih murah dari carbon	1. Kekutan tekan lebih rendah dari carbon 2. Ketahanan panas lebih rendah dari carbon (hingga 180°C)

d) Hybride Fiber (kombinasi dari berbagai jenis serat)

1) Glass Versus Carbon

- a) Meningkatkan shock resistance (tahan benturan)
- b) Meningkatkan fracture resistance (tahan patahan/ulet)
- c) Mengurangi biaya

2) Glass Versus Nylon

- a) Menigkatkan kekuatan tekan
- b) Memperbaiki pemrosesan (manufaktur)
- c) Mengurangi biaya

3) Carbon Versus Nylon

- a) Meningkatkan kekuatan tarik
- b) Meningkatkan kekuatan tekan
- c) Meningkatkan kekuatan pada pembengkokan

2.3.2.1 Katalis (*hardener*)

Katalis merupakan bahan kimia yang ditambahkan pada matrik resin yang bertujuan untuk proses pembekuan matrik. *Katalis* adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami

perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Katalis yang digunakan adalah *Epoxy*. Bahan ini digunakan untuk penggunaan setting dingin. Kecepatan resin untuk menjadi padat pada proses *curing* dapat dikontrol dengan pemberian katalis yaitu sebesar 0,5% sampai dengan 3% dari jumlah fraksi volume matrik. Penambahan katalis yang terlalu sedikit mengakibatkan proses *curing* tidak sempurna (Saito, 1993 : 257).

2.3.2.2. Release Agent

Release agent adalah bahan kimia yang digunakan untuk pelapisan cetakan atau *mold* sebelum serat ditempelkan pada cetakan. *Release agent* berfungsi untuk memberikan space antara serat dengan cetakan sehingga ketika komposit sudah dilepas, komposit tidak akan menempel pada cetakan. Dalam pembuatan komposit sandwich biasanya menggunakan beberapa jenis *release agent* seperti :

2.3.2.2.1. Wax

Wax adalah salah satu jenis *release agent* yang berbentuk seperti semir yang memiliki tekstur seperti lilin, wax biasanya digunakan untuk pelapisan pada permukaan cetakan yang perlu memerlukan penutupan pori-pori atau material yang sedikit kasar.



Gambar 2.12 Wax

2.3.2.2.2. PVA (Polyvinyl alcohol)

PVA adalah Bahan yang berupa cairan kimia berwarna biru. PVA Berfungsi untuk melapis antara permukaan cetakan dengan serat komposit yang akan dibuat. Tujuannya adalah agar kedua bahan tersebut tidak saling menempel, sehingga komposit hasil cetakan dapat dilepas dengan mudah dari cetakannya.



Gambar 2.13 PVA

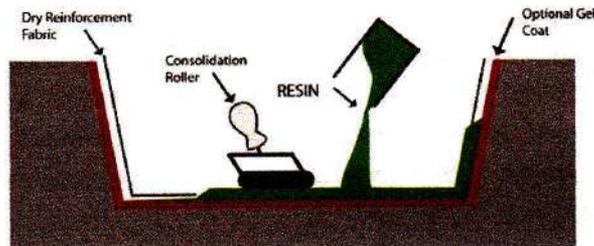
2.4 Macam – macam pembuatan komposit

Dewasa ini proses pembuatan komposit sudah ada beragam cara, mulai dari yang sederhana hingga yang paling canggih. Setiap proses tadi tentunya memiliki kelebihan masing – masing. Berikut adalah macam – macam pembuatan komposit, antara lain :

A. *Hand lay-up*

Proses *hand lay-up* merupakan proses laminasi serat fiber secara manual, dan merupakan metode pertama yang digunakan dalam pembuatan komposit. Metode *hand lay-up* digunakan untuk proses pembuatan benda yang memiliki bentuk

mudah, dan akan menghasilkan 1 sisi yang halus dan 1 sisi lainnya kasar.



Gambar 2.14 Proses *hand lay-up*

Keuntungan *hand lay-up* :

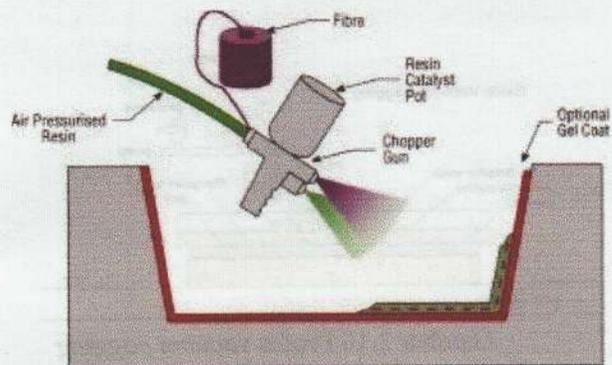
- Membutuhkan peralatan yang sedikit
- Dapat mengatur ketebalan dan komposisi serat sesuai yang dibutuhkan

Kekurangan *hand lay-up* :

- Ketebalan resin yang menempel pada serat tidak teratur
- Berat komposit yang dihasilkan cenderung lebih berat dari proses yang lain
- Hasil cenderung kurang rapi karena pembuatan komposit tergantung pada skil yang mengerjakan

B. *Spray up*

spray up adalah salah satu perkembangan dalam hal proses manufaktur komposit. Hal ini dikarenakan pada proses ini sudah menggunakan peralatan yang lebih maju dibandingkan *hand lay-up* seperti, *spray gun* dan kompressor. Proses *spray up* merupakan proses laminasi serat fiber dengan cara menyemprotkan potongan halus fiber dan resin secara bersamaan dengan menggunakan *spray gun* yang diberi tekanan udara dari kompressor.



Gambar 2.15 Proses *spray up*

Keuntungan *spray up* :

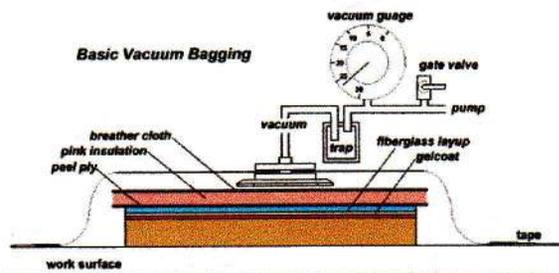
- Cocok untuk desain produk yang rumit
- Dapat mengatur ketebalan komposisi yang disemprotkan sesuai dengan yang dibutuhkan

Kekurangan *spray up* :

- Untuk kerataan bidang masih kurang dikarenakan tergantung pada skil yang mengerjakan
- Membutuhkan biaya yang besar
- Hasil komposit tergantung pada skil yang mengerjakan

C. *Vacuum bagging*

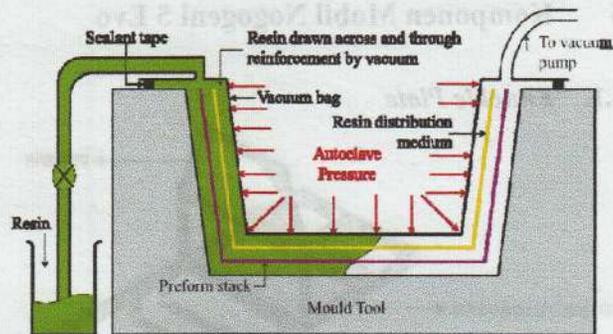
Vacuum bagging adalah salah satu perkembangan terbaru dalam hal proses manufaktur komposit. Hal ini dikarenakan pada proses ini sudah menggunakan peralatan dalam hal manufaktur. Jika dibandingkan dengan *hand lay-up* dan *spray gun* yang masih menggunakan tenaga dan skill manusia dalam hal manufaktur, untuk *vacuum bagging* hanya membutuhkannya pada saat penataan serat saja. yang akan ber kompressor.



Gambar 2.16 Proses *vacuum bagging*

D. *Vacuum resin infusion*

Vacuum resin infusion adalah salah satu proses pembuatan komposit yang terbaru, hal ini dikarenakan pada proses ini kita hanya membutuhkan tenaga untuk menata karbon fiber saja, jika pada proses yang lain kita memberikan resin dengan cara manual, pada proses ini resin akan disuntikkan ke fiber dengan mekanisme vakum. Jadi nantinya resin akan disedot menggunakan pompa vakum dalam keadaan kedap udara, sehingga distribusi resinnya akan tersebar merata ke segala sudut fiber, dan ketebalan pada semua bidang akan sama. Namun proses ini membutuhkan banyak peralatan pendukung yang banyak dan jarang ada di pasaran, sehingga biaya yang diperlukan cenderung mahal.



Gambar 2.17 Proses *vacuum resin infusion*

Keuntungan *vacuum resin infusion* :

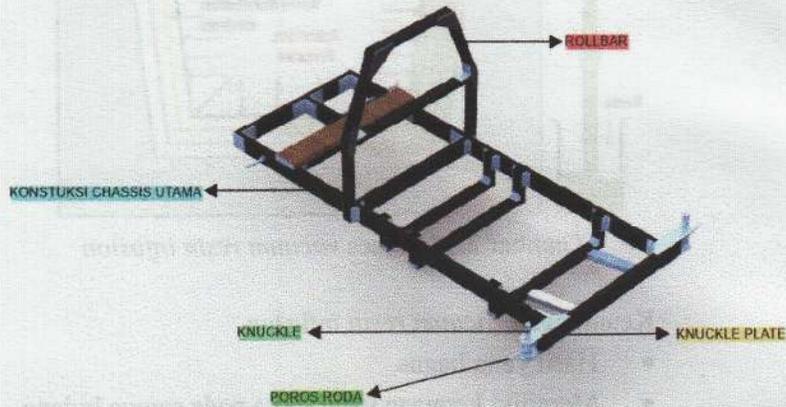
- Hasil yang bagus
- Memiliki kerataan yang sama pada semua bidang
- Distribusi resin yang merata sehingga bobot cenderung ringan

Kekurangan *vacuum resin infusion* :

- Memerlukan biaya yang mahal
- Membutuhkan banyak peralatan pendukung

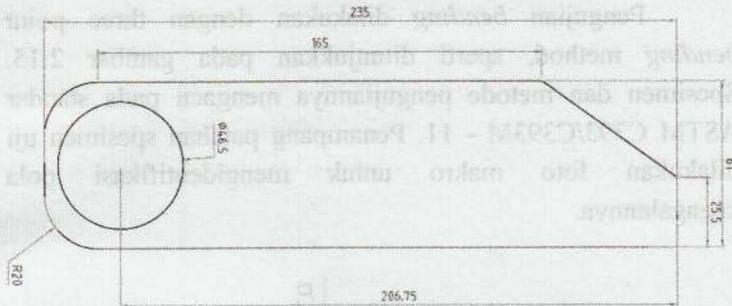
2.5 Komponen Mobil Nogogeni 5 Evo

2.5.1. *Knuckle Plate*



Gambar 2.18 posisi komponen *knuckle plate* pada mobil Nogogeni 5 Evo

Knuckle plate merupakan komponen *support* krusial yang di gunakan sebagai tempat bantalan *knuckle* utama. Komponen *knuckle plate* terletak pada ujung chassis utama dengan menyisakan ruang antara chassis utama dan knuckle utama sejarak 70 milimeter. Knuckle utama berfungsi sebagai tahanan poros roda mobil Nogogeni 5 Evo untuk menggerakkan roda berputar ke kiri maupun ke kanan. Jika *knuckle plate* mengalami kerusakan (*bending*), mengakibatkan mobil susah untuk dibelokkan. Berikut adalah dimensi *knuckle plate*:



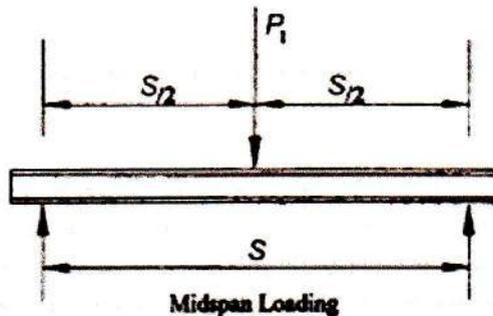
Gambar 2.19 Dimensi *knuckle plate* pada mobil Nogogeni 5 Evo

Komponen *Knuckle Plate* pada gambar 2.19 menggunakan material *aluminium alloy 6063*. Dimana material ini dirasa masih cukup berat dengan melihat fungsi dari komponen tersebut sebagai support bantalan *knuckle* dipasang. Berat komponen *knuckle plate* menggunakan material ini sebesar 165 gram.

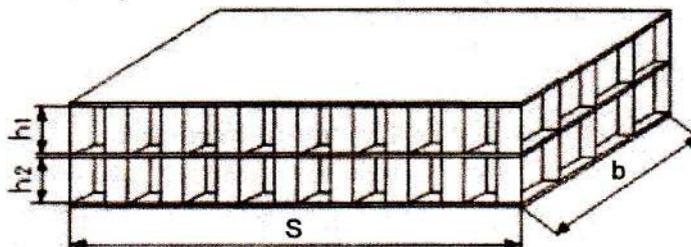
2.6 Pengujian Bending komposit *Sandwich*

Dalam aplikasinya komposit *sandwich* tak pernah lepas dari proses pembebanan mekanik terutama beban *bending*. Pada umumnya kelemahan komposit *sandwich* terhadap beban *bending* terletak pada bagian yang belum merata pemampatannya antara serat dan matrik pada bagian bawah pada spesimen. Pada lapisan ini mempunyai kekuatan tarik maksimum dan akan mengalami kegagalan paling awal karena tidak mampu menahan tegangan tarik pada bagian bawah komposit, sehingga akan terjadi retak lebih awal. Kegagalan komposit *sandwich* akibat beban *bending* diawali dari *skin* komposit sisi belakang dan dilanjutkan dengan kegagalan *core*, delaminasi antara *skin* dan *core*.

Pengujian *bending* dilakukan dengan three point *bending* method, seperti ditunjukkan pada gambar 2.15. Spesimen dan metode pengujiannya mengacu pada standar ASTM C393/C393M - 11. Penampang patahan spesimen uji dilakukan foto makro untuk mengidentifikasi pola kegagalannya.



Gambar 2.20 Three point bending method



Gambar 2.21 Dimensi ketebalan komposit sandwich

Jika uji *bending* dilakukan dengan metode three point bending, maka *facing bending stress* dan *core shear ultimate stress* komposit *sandwich* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini (ASTM C393/C393M - 11)

- Kekuatan *skin* komposit *sandwich* (*facing bending stress*) (ASTM C393/C393M - 11)

$$\sigma = \frac{PS}{2t(d+h)b} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan catatan :

- σ = kekuatan *skin* (MPa)
- P = beban (N)
- d = tebal *sandwich* (mm)
- $h_{(1,2)}$ = tebal *core* (mm)
- t = tebal *skin* (mm)
- S = panjang span (mm)
- b = lebar *sandwich* (mm)

- Tegangan geser *core* komposit *sandwich* (ASTM C393/C393M - 11)

$$\tau = \frac{P}{(d+h)b} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan catatan :

- τ = tegangan geser *core* (MPa)
- d = tebal *sandwich* (mm)
- $h_{(1,2)}$ = tebal *core* (mm)
- b = lebar *sandwich* (mm)

- Untuk mencari nilai *Stiffness* dibutuhkan nilai pembebanan (N) dan *displacement* (mm) pada daerah elastis pada grafik hasil pengujian. Dalam artian pemilihan titik untuk perhitungan dilihat pada garis kemiringan konstan pada tiap grafik pengujian.

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \dots\dots\dots(3)$$

- Akibat pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami tekanan dan bagian bawahnya mengalami tarikan. Pada komposit laminat GFRP, kekuatan *bending*-nya dapat dirumuskan (ASTM D 790-10):

$$\sigma_b = \frac{3PS}{2bd^2} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan catatan :

- σ_b = kekuatan *bending* komposit (MPa)
- b = lebar *sandwich* (mm)
- d = tebal *sandwich* (mm)
- P = beban maksimum (N)
- S = panjang span (mm)

- Jika komposit *sandwich* diasumsikan homogen dan dikenai three point *bending* dengan sumbu netral terletak di tengah, maka momen *bending* maksimum komposit *sandwich* dapat dirumuskan dengan persamaan berikut ini:

$$M = P \times \frac{S}{4} \dots\dots\dots(5)$$

Dengan catatan :

- M = momen *bending* maksimum (Nmm)
- P = beban maksimum (N)
- S = panjang span (mm)

Untuk memperoleh nilai pembebanan yang diterima oleh *knuckle plate*, dilakukan perhitungan tegangan bending menurut rumus pada buku diktat Elemen Mesin seperti di bawah ini:

$$\sigma_b = \frac{6 Mb}{b.h^2} \dots\dots\dots(6)$$

$$\sigma_b = \frac{F}{b.h} \dots\dots\dots(7)$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\sigma_b^2 + \tau_s^2} \dots\dots\dots(8)$$

2.7 Pola kegagalan komposit Sandwich

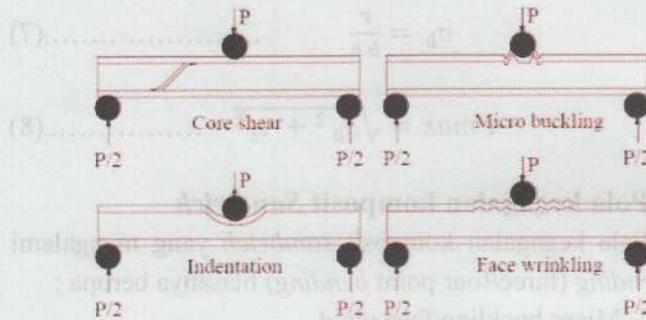
Pola kegagalan komposit *sandwich* yang mengalami beban *bending* (*three/four point bending*) biasanya berupa :

1. Micro buckling/face yield,
2. Core shear,
3. Core crushing dan
4. Identation.

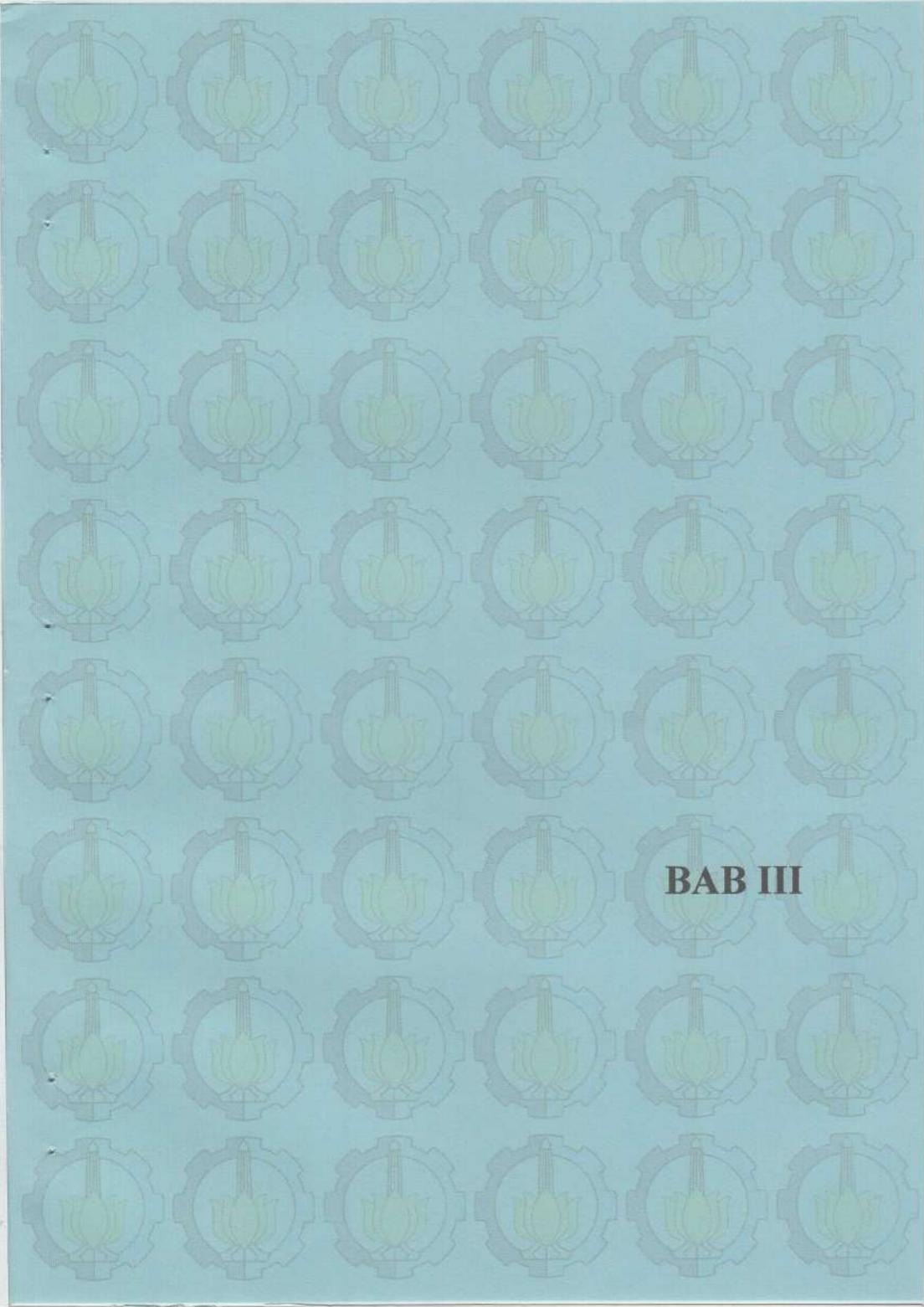
Kegagalan micro buckling biasanya terjadi pada *skin* komposit *sandwich* yang relatif tipis terhadap tebal *core*. Kegagalan ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan *bending* secara drastis. Perilaku gagal *core shear* biasanya terjadi pada balok *sandwich* dengan *skin* yang relatif tebal dengan span yang pendek. Kegagalan didominasi oleh lemahnya kekuatan *core* yang digunakan. Kegagalan *indentation* akan muncul pada balok *sandwich* dengan *core* yang relatif tebal jika dibandingkan dengan ketebalan *skin* dengan kekuatan *core* yang sangat rendah. Kegagalan ini menyebabkan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan model kegagalan lainnya. Kegagalan *core crushing* ditunjukkan oleh hancurnya *core* karena tidak mampu menahan beban geser sehingga kegagalan terjadi menyeluruh pada semua bagian *core*.

Kerusakan penampang komposit *sandwich* sangat dipengaruhi oleh sifat mekanis *skin* dan *core* dimana harus ada faktor-

faktor penting yang diperhatikan. Peta mekanisme kegagalan komposit *sandwich* ditunjukkan pada gambar.

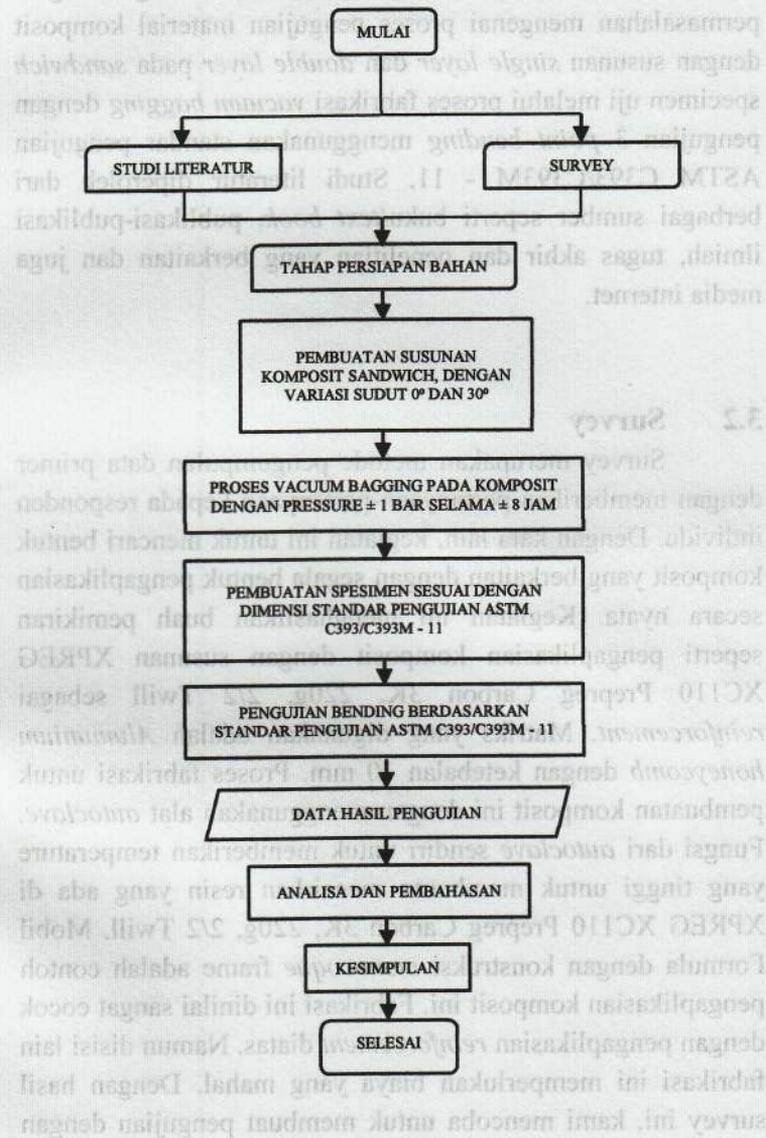


Gambar 2.22 Pola kegagalan struktur *sandwich* akibat beban *bending*



BAB III

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



3.1 Studi letatur

Studi Literatur merupakan kegiatan mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan segala permasalahan mengenai proses pengujian material komposit dengan susunan *single layer* dan *double layer* pada *sandwich* specimen uji melalui proses fabrikasi *vacuum bagging* dengan pengujian *3 point bending* menggunakan standar pengujian ASTM C393/C393M - 11. Studi literatur diperoleh dari berbagai sumber seperti buku/*text book*, publikasi-publikasi ilmiah, tugas akhir dan penelitian yang berkaitan dan juga media internet.

3.2 Survey

Survey merupakan metode pengumpulan data primer dengan memberikan pertanyaan-pertanyaan kepada responden individu. Dengan kata lain, kegiatan ini untuk mencari bentuk komposit yang berkaitan dengan segala bentuk pengaplikasian secara nyata. Kegiatan ini menghasilkan buah pemikiran seperti pengaplikasian komposit dengan susunan XPREG XC110 Prepreg Carbon 3K, 220g, 2/2 Twill sebagai *reinforcement*. Matriks yang digunakan adalah *Aluminium honeycomb* dengan ketebalan 10 mm. Proses fabrikasi untuk pembuatan komposit ini dengan menggunakan alat *autoclave*. Fungsi dari *autoclave* sendiri untuk memberikan temperature yang tinggi untuk membantu mecairkan resin yang ada di XPREG XC110 Prepreg Carbon 3K, 220g, 2/2 Twill. Mobil Formula dengan konstruksi *monocoque* frame adalah contoh pengaplikasian komposit ini. Fabrikasi ini dinilai sangat cocok dengan pengaplikasian *reinforcement* diatas. Namun disisi lain fabrikasi ini memerlukan biaya yang mahal. Dengan hasil survey ini, kami mencoba untuk membuat pengujian dengan

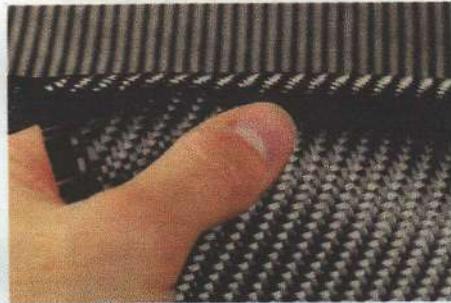
fabrikasi yang lebih murah agar lebih mudah diaplikasikan oleh Tim Nogogeni. Dengan menggunakan *reinforcement Carbon Fiber Twill Weave 3k 210g*. Dan Matriks yang digunakan berupa *Alumunium honeycomb* dengan ketebalan total 20 mm dan resin *carbon fibre*. Proses fabrikasi yang dilakukan adalah *vacuum bagging*.

3.3 Bahan dan Alat Perlengkapan Pengujian

3.3.1 Bahan Pembuatan Spesimen

a. *Reinforcement* (Bahan Penguat)

Pada pengujian ini, serat yang digunakan yaitu *Carbon Fiber Twill Weave 3k 210g*



Gambar 3.1 *carbon fiber twill weave*

b. Matrik

Matrik yang digunakan Resin karbon Fiber dengan bahan tambahan *hardener* sebagai pengeras resin dengan takaran 3:1 sesuai dengan petunjuk aturan pakai resin karbon fiber



Gambar 3.2 resin carbon

c. Aluminium Honeycomb Core



Gambar 3.3 aluminium honeycomb core

3.3.2 Bahan Pendukung

a. PVA Release Agent

Bahan pelapis anti resin, dengan membentuk lapisan plastik pada sisi antara cetakan dengan material spesimen sehingga resin tidak lengket

dengan cetakan serta mempermudah untuk pengambilan specimen yang sudah jadi.



Gambar 3.4 PVA

b. Wax

Berfungsi untuk membantu spesimen agar tidak terlalu melekat dengan cetakan, serta menjaga agar permukaan spesimen tetap rata dengan meninggalkan lapisan PVA di specimen



Gambar 3.5 wax

3.3.3 Bahan Baku Cetakan

Pada proses pembuatan specimen kali ini, digunakan kaca yang memiliki permukaan yang rata dan halus



Gambar 3.6 kaca

3.3.4 Alat-alat Penunjang

a. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk pengukuran berat dari resin yang akan di gunakan. Disamping itu juga untuk melakukan pengukuran berat *hardener* sesuai petunjuk yang tertera di kemasan resin.



Gambar 3.7 Timbangan digital

b. Vacuum Pump

Vacuum Pump digunakan untuk proses pemvakuman *Vacuum Bagging* yang di injeksikan kedalam tatanan proses tersebut.



Gambar 3.8 Pompa vakum

c. Mesin Gerinda Potong

Digunakan untuk memotong spesimen dan menghaluskan sisi - sisi permukaan bekas pemotongan.



Gambar 3.9 Mesin gerinda potong

d. Alat – alat penunjang

Alat – alat penunjang yang lain untuk menunjang pengerjaan proses pembuatan spesimen yakni:

1. Jangka sorong
2. Penggaris
3. *Hand gloves*
4. Gelas plastic
5. Kain bekas
6. *Sealant tape*
7. *Peel ply*
8. *Bagging film*
9. *Breather Fabric*
10. *Catchpot*
11. *Vacuum hose PVC $\varnothing \pm 12\text{mm}$*

3.4 Proses Penyiapan Bahan

1. mempersiapkan serat karbon *twill* sesuai dengan dimensi yang diinginkan, *aluminium honeycomb core* (thickness 10 mm).

2. membuat takaran terhadap penggunaan resin dan *hardener* yang akan digunakan dalam proses *Vacuum Bagging* untuk pembuatan specimen.

3. mempersiapkan cetakan yang datar dan halus, untuk proses kali ini menggunakan lapisan kaca dengan ketebalan $\leq 5\text{mm}$.

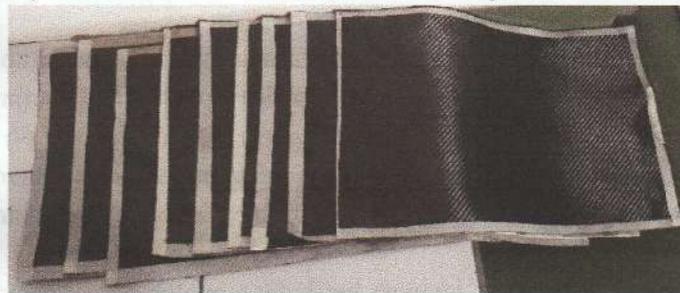
4. pelapisan cetakan dengan bahan wax dan PVA, secara bergantian dengan durasi tunggu setiap 5 menit untuk pelapisan wax sebanyak 3 kali pelapisan dan 1 jam untuk pelapisan PVA sebanyak 2 kali pelapisan.

5. *extend aluminium core* dengan cara ditarik kea rah yang saling berlawanan

3.5 Proses Pembuatan Spesimen

1. dimulai dengan menakar resin dan *hardener* yang akan di pakai. Dengan menggunakan perbandingan 3 untuk resin karbon dan 1 untuk *hardener*. Untuk pencampuran kedua cairan ini dapat dilakukan setelah kedua campuran telah selesai di timbang dengan langsung mengadukan adonan tanpa henti hingga tidak terdapat buih di dalam adonan.

2. kemudian dilanjutkan dengan pemotongan serat karbon *twill* sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan. Usahakan untuk memberi ruang lebih agar bisa benar-benar menyelimuti *aluminium honeycomb core* nya.



Gambar 3.10 Potongan serat karbon *twill*

3. setelah dirasa serat karbon dan *core* telah selesai dipersiapkan, siapkan cetakan kaca yang telah dilapisi wax dan PVA sebagai landasan melakukan proses pemvakuman

4. serat karbon *twill* harus di basahi dengan adonan resin sebelum diletakan diatas cetakan, untuk mempermudah penataan lapisan-lapisan berikutnya.

5. lakukan peletakan serat karbon diatas cetakan tanpa merusak arah serat tersebut. Untuk kali ini menggunakan 2 lapis serat karbon *twill*.

6. kemudian jika serat karbon sudah diletakkan pada cetakan, lakukan penataan terhadap *aluminium honeycomb core* tepat setelah lapisan serat karbon.

7. setelah *core* sudah diletakkan, lapis lagi dengan serat karbon sebanyak 2 lapisan. Kemudian letakkan lagi *aluminium honeycomb core* setelah 2 lapisan serat karbon.

8. setelah *core* kedua sudah diletakkan, lapis kembali dengan 2 lapisan serat karbon. Ini merupakan tahap terakhir dalam penyusunan specimen.

9. jika susunan sudah tersusun dengan baik, tempelkan *sealant tape* pada seluruh bagian pinggiran cetakan, yang berfungsi sebagai batasan area yang akan di vakum dan juga perekat terhadap *bagging film*.

10. setelah *sealant tape* terpasang pada cetakan tutupi susunan *sandwich* dengan menggunakan *peel ply*. Dilanjut dengan penutupan dengan *breather fabric* tepat diatas *peel ply*. Kemudian taruh *port* tepat di tengah-tengah susunan specimen. *port* ini berfungsi sebagai jalur dari area yang akan di vakumkan.

11. kemudian langkah berikutnya adalah pemasangan *bagging film* sebagai lapisan terakhir pada proses pemvakuman kali ini yang berfungsi sebagai batasan area vakum dari segala arah. Cara pemasangan dengan merekatkan *bagging film* dengan *sealant tape* yang telah di letakkan pada tahap sebelumnya.

12. setelah pemasangan selesai, lubangi *bagging film* tepat di lubang *port* yang telah diletakkan sebelumnya. Masukkan *vacuum hose* pada lubang tersebut. Beri *sealant tape* disekeliling *hose* yang terhubung dengan *port*.

13. Sambungkan juga *hose* menuju *input suction vacuum pump*, kemudian sambungkan *hose* menuju *catchpot*. Sebelum menyalakan *vacuum pump*, pastikan instalasi *hose* sudah benar-benar selesai.

14. kemudian nyalakan *vacuum pump*, dengan ini bisa dimanfaatkan juga untuk pengecekan apakah ada kebocoran dari instalasi *hose* dan area yang berada di cetakan. Dengan melihat *vacuum gauge* pada *catchpot* kita bisa memastikan ada tidaknya kebocoran. Kebocoran juga bisa di deteksi dengan adanya suara dari sumber kebocoran. Jika ada kebocoran, tutup dengan *sealant tape* pada lubang tersebut.



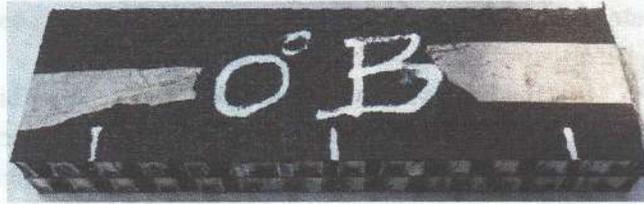
Gambar 3.11 Proses pemvakuman komposit *sandwich*

15. kemudian biarkan *vacuum pump* bekerja dengan durasi delapan jam untuk melakukan pemvakuman pada daerah vakum, juga meratakan dan mengalirkan resin pada setiap sudut specimen.

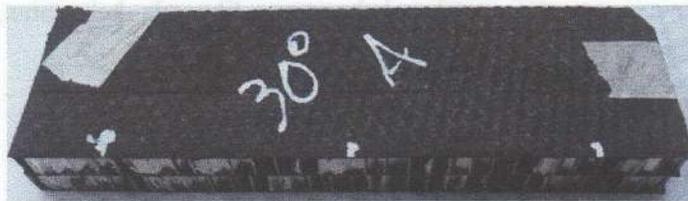
16. setelah proses ini selesai, matikan *vacuum pump* dan diamkan selama 1 hari untuk memastikan resin mengering sempurna pada lapisan *sandwich*, setelah kering dan mengeras lepas lapisan-lapisan pendukung proses vakum untuk mengambil specimen didalamnya.

17. lalu lakukan pemotongan sesuai dengan dimensi standar ASTM C393/C393M - 11 dengan menggunakan

gerinda untuk kemudian melakukan pengujian bending dengan variasi 0° dan 30° .



Gambar 3.12 Salah satu spesimen dengan variasi sudut 0°



Gambar 3.13 Salah satu spesimen dengan variasi sudut 30°

3.6 Pengujian Spesimen

3.6.1 Pengujian Bending

Pengujian bending merupakan pengujian dengan tujuan untuk mengetahui besar kekuatan bending dari bahan yang diujikan, bahan komposit untuk pengujian bending saat ini. Proses pengujian dilakukan di Laboratorium Beton Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan ITS dengan menggunakan mesin uji "*Universal Testing Machine*" SHIMADZU CORPORATION. Standar yang digunakan pada pengujian Tarik yaitu ASTM C393/C393M - 11.



Gambar 3.14 Mesin uji *universal testing machine*

Pada pengujian *three point bending*, pada mesin uji dipasang dua bagian, yakni:

- a. *Support Nose*, yang berfungsi sebagai tumpuan. Sesuai dengan ketentuan pada ASTM C393/C393M - 11, jarak *span* pada *support nose* harus berjarak 50 milimeter lebih pendek dari Panjang total specimen.
- b. *Load nose*, yang berfungsi sebagai pemberi gaya atau pembebanan hingga specimen mengalami gagal atau patah.



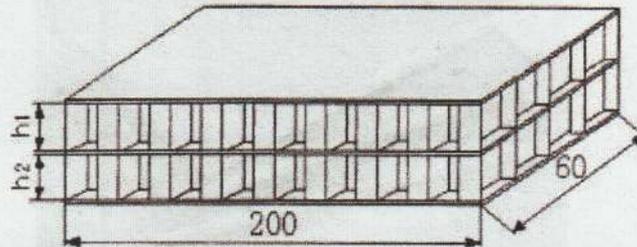
Gambar 3.15 Salah satu proses pengujian pada variasi sudut 0°



Gambar 3.16 Salah satu proses pengujian pada variasi sudut 30°

3.7 Dimensi Benda Uji

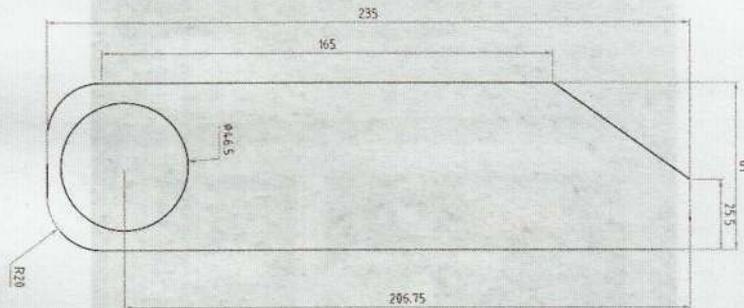
Benda uji menggunakan standar ukuran ASTM C393/C393M-11



Gambar 3.17 Sketsa dimensi benda uji/spesimen

3.8 Komponen *knuckle plate*

Komponen pembantu untuk bantalan *knuckle* berbahan dasar *aluminium alloy 6063* berbentuk lembaran, kemudian lembaran bahan dasar di potong sesuai dengan dimensi dibawah:



Gambar 3.18 dimensi yang digunakan pada mobil nogogeni 5 evo

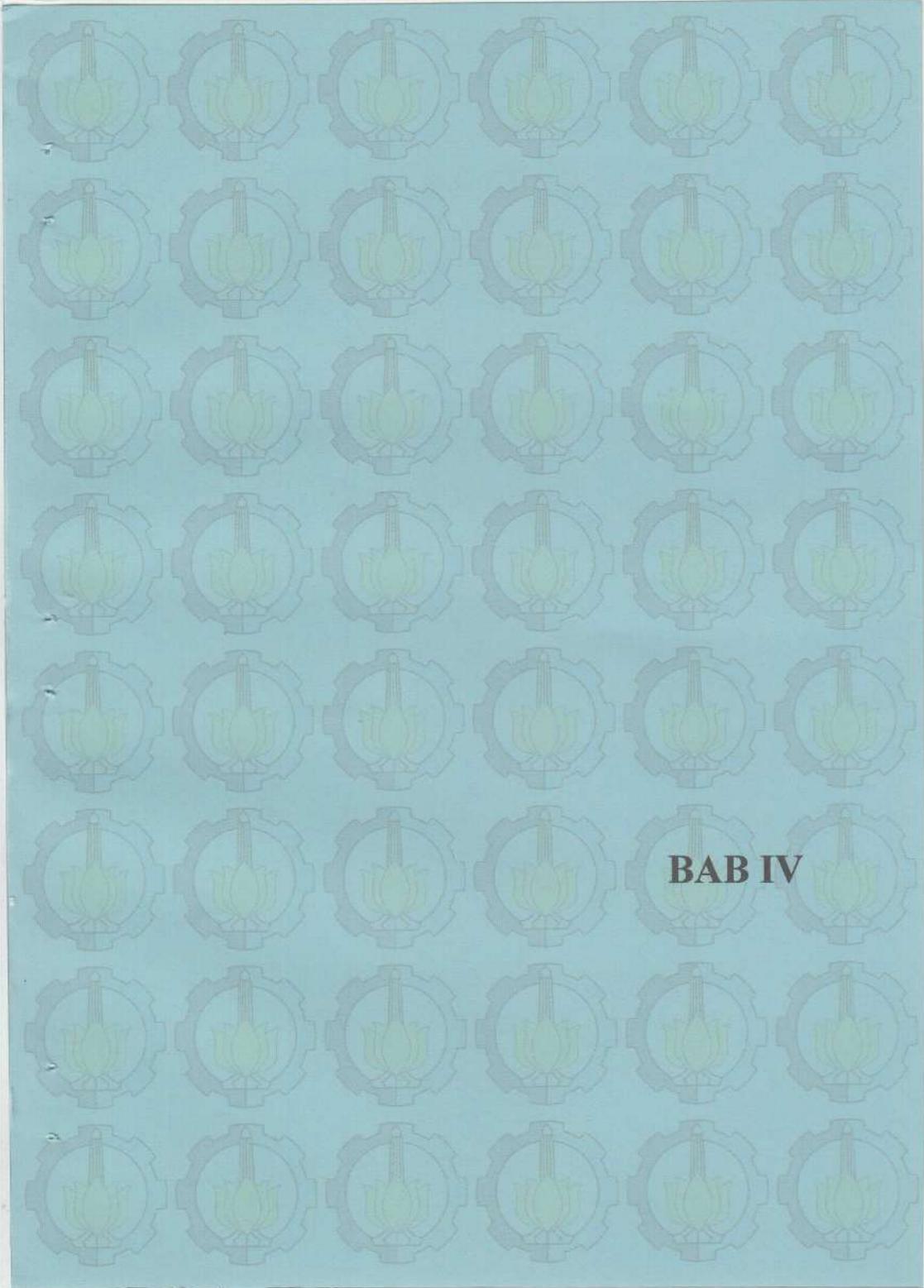


Gambar 3.19 bahan dasar *knuckle plate* aluminium alloy 6063

Kemudian dilakukan pengukuran berat komponen *knuckle plate*, dan didapatkan hasil seperti dibawah ini:



Gambar 3.20 hasil pengukuran berat komponen *knuckle plate* setelah di porong sesuai dengan dimensi



BAB IV

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian 3 Titik *Bending* Komposit *Sandwich*

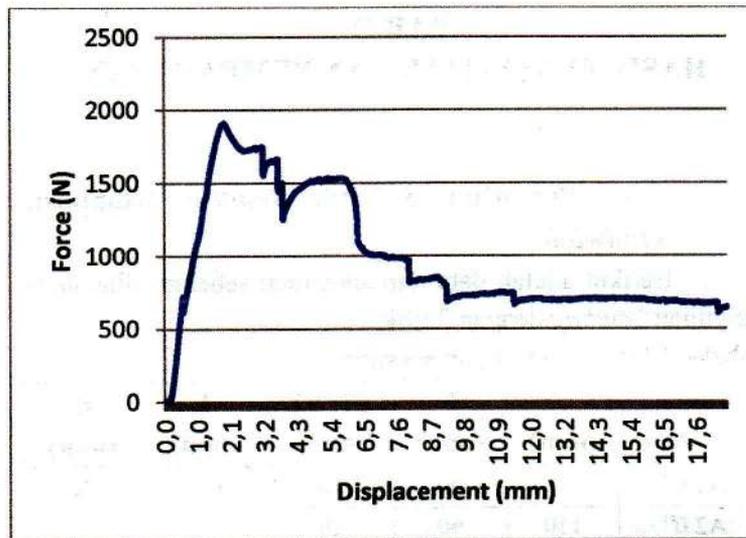
Berikut adalah data tiap specimen sebelum dilakukan pengujian *bending* dengan 3 titik:

Tabel 4.1 Data dimensi tiap specimen

Kode Spesimen	S (mm)	b (mm)	h1+h2 (mm)	T (mm)	d (mm)
A1 0 ⁰	150	60	20	0.3	22
A2 0 ⁰	150	60	20	0.3	22
A3 0 ⁰	150	60	20	0.3	22
B3 30 ⁰	150	64	20	0.3	22
B3 30 ⁰	150	64	20	0.3	22
B3 30 ⁰	150	64	20	0.3	22

Dari tabel 4.1 data specimen dapat digunakan untuk melakukan pengujian *bending* dengan beban maksimal pada mesin sebesar 100kN, dengan pengujian 3 titik *bending* berdasarkan standar ASTM C393/C393M - 11 dengan indenter 25 mm dan panjang penumpu (*span length*) pada pengujian sebesar 150 mm.

Hasil pengujian didapatkan grafik pengujian, berikut adalah hasil grafik pengujian pada sebuah specimen B3 30⁰:



Gambar 4.1 Grafik pengujian 3 titik *bending* spesimen B3 30°

Pada gambar 4.1 didapatkan pembebanan yang di terima pada spesimen B3 30° sebesar 1916.56 N dan perpindahan pada pembebanan tersebut sebesar 2 mm. Dengan adanya hasil pengujian ini, data yang diperoleh dapat digunakan untuk mencari data pada spesimen komposit seperti:

1. *Facing Bending Stress*
2. Tegangan geser *core*
3. *Stiffness* (Kekakuan Material)
4. Kekuatan *Bending*
5. Momen *Bending*

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

Tabel 4.2 Hasil *facing bending stress*

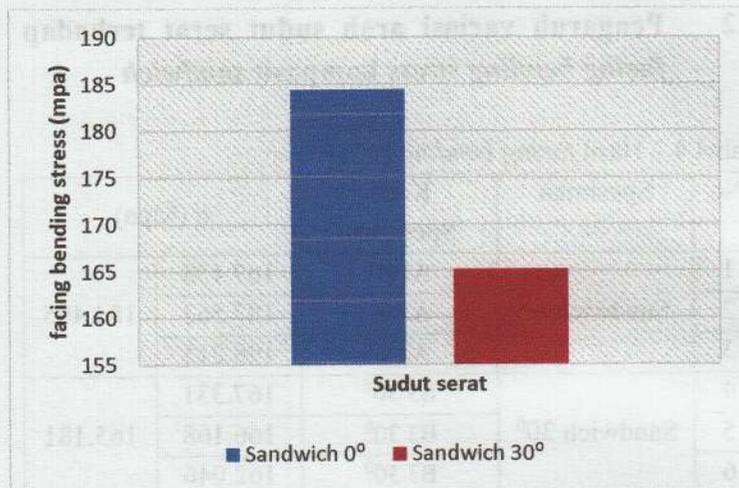
No	Spesimen	Kode Spesimen	σ (Mpa)	
1	Sandwich 0 ⁰	A1 0 ⁰	167.438	184.405
2		A2 0 ⁰	187.562	
3		A3 0 ⁰	198.215	
4	Sandwich 30 ⁰	B3 30 ⁰	167.331	165.181
5		B3 30 ⁰	166.168	
6		B3 30 ⁰	162.046	

Data dari tabel 4.2 merupakan hasil dari perhitungan dari rumus yang ada pada standar ASTM C393/C393-11. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram *facing bending stress*

0⁰ : Arah Serat 0⁰
30⁰ : Arah Serat 30⁰

Tabel diatas juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan pada arah seratnya.

Berikut adalah diagram berdasarkan arah serat dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan hasil tertinggi menuju hasil terendah:



Gambar 4.2 Perbandingan rata-rata hasil perhitungan *facing bending stress* komposit *sandwich* terhadap arah sudut serat

Arah Serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

- 0° : Arah Serat 0°
- 30° : Arah Serat 30°

Dari gambar 4.2 dapat dilihat grafik *facing bending stress* komposit *sandwich* yang menunjukkan bahwa adanya ketidakstabilan tegangan bending komposit akibat pengaruh perubahan arah sudut *laminate*. Pernyataan ini berdasarkan persamaan yang terdapat pada ASTM C393/C393M – 11 mengenai *facing bending stress*.

Facing bending stress rata-rata pada komposit *sandwich* bernilai 184.405 Mpa pada sudut serat 0°, dan 165.181 Mpa pada sudut serat 30°. Dengan artian nilai *facing bending stress* pada sudut serat 30° mengalami penurunan

sebesar 10.5% dari sudut 0° . Jadi tegangan bending rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 0° .

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

Tabel 4.3 Hasil tegangan geser *core*

No	Spesimen	Kode Spesimen	τ (Mpa)	
1	Sandwich 0°	A1 0°	0.719	0.792
2		A2 0°	0.806	
3		A3 0°	0.851	
4	Sandwich 30°	B3 30°	0.702	0.693
5		B3 30°	0.697	
6		B3 30°	0.68	

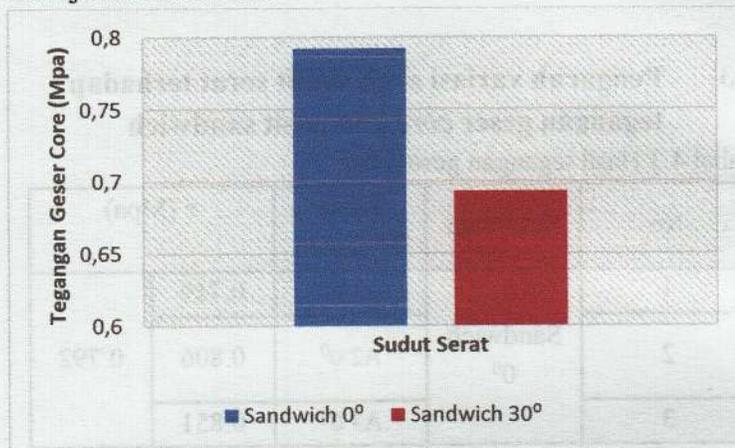
Data dari tabel 4.3 merupakan hasil dari perhitungan dari rumus yang ada pada standar ASTM C393/C393-11. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram tegangan geser *core*:

0° : Arah Serat 0°

30° : Arah Serat 30°

Tabel diatas juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan pada arah seratnya.

Berikut adalah diagram berdasarkan arah serat dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan hasil tertinggi menuju hasil terendah:



Gambar 4.3 Perbandingan rata-rata hasil perhitungan tegangan geser *core* komposit *sandwich* terhadap arah sudut serat

Arah Serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

- 0° : Arah Serat 0°
- 30° : Arah Serat 30°

Dari gambar 4.3 dapat dilihat grafik tegangan geser *core* komposit *sandwich* yang menunjukkan bahwa pada penambahan tebal inti *aluminium honeycomb* pada komposit *sandwich* mengalami ketidakstabilan tegangan geser *core* dengan *skin* komposit *sandwich* seiring dengan arah sudut serat. Pernyataan ini berdasarkan persamaan yang terdapat pada ASTM C393/C393M – 11 mengenai tegangan geser *core*.

Tegangan geser *core* rata-rata pada komposit *sandwich* bernilai 0.792 Mpa pada sudut serat 0°, dan 0.693 Mpa pada sudut serat 30°. Dengan artian nilai *facing bending stress* pada sudut serat 30° mengalami penurunan sebesar 12.5% dari sudut 0°. Jadi tegangan geser *core* rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 0°.

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

Tabel 4.4 Data pengujian 3 titik *bending*

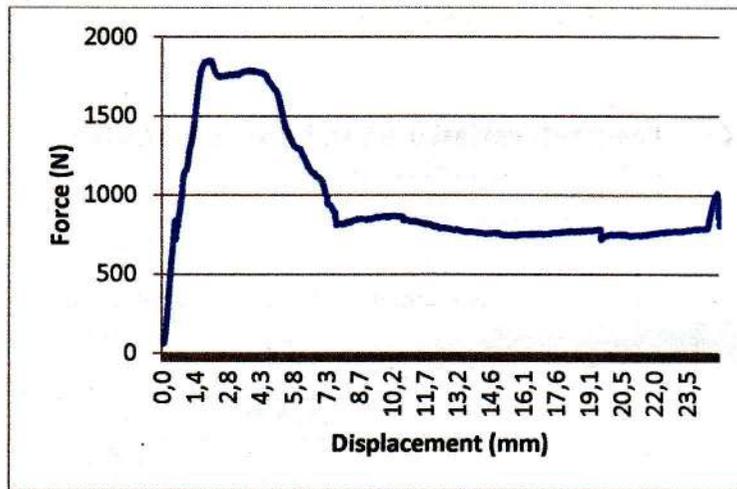
No	Spesimen	Kode Spesimen	Max Force (N)	Max Displacement (mm)
1	Sandwich 0°	A1 0°	1856.56	2.036
2		A2 0°	2079.69	3.492
3		A3 0°	2197.81	1.582
4	Sandwich 30°	B3 30°	1979.06	1.86
5		B3 30°	1965.31	1.576
6		B3 30°	1916.56	1.874

Dari tabel 4.4 dapat dilihat data yang diperoleh dari hasil pengujian 3 titik *bending*. Terdapat 6 spesimen percobaan dengan variasi sudut arah serat 0° dan 30°. Dengan masing-masing variasi terdapat 3 spesimen, dimana hasil yang diperoleh juga berbeda untuk gaya maksimal pembebanan dan deformasi tiap spesimen.

Data tersebut yang akan digunakan untuk menentukan nilai *stiffness* dari grafik spesimen pada hasil pengujian 3 titik *bending*.

Perhitungan menggunakan persamaan (3) dibawah:

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$



Gambar 4.4 grafik spesimen A1 0°

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa beban maksimal yang diperoleh spesimen dari pengujian sebesar 1856.56 N. Untuk mencari nilai *stiffness* dibutuhkan nilai *force* (axis y pada persamaan) dan *displacement* (axis x pada persamaan) pada daerah elastis yang ada di grafik hasil pengujian. Pada gambar 4.4 garis kemiringan konstan di mulai 93.125 N sampai 808.43 N dengan *displacement* awal 0 mm sampai dengan 0.6 mm.

$$\frac{808.43 \text{ N} - 93.125 \text{ N}}{0.6 \text{ mm} - 0 \text{ mm}} = 1192.175 \text{ N/mm}$$

Berikut adalah hasil lengkap perhitungan spesimen uji material komposit dengan variasi sudut serat yang telah di tabelasi:

Tabel 4.5 Hasil *Stiffness* komposit

No	Spesimen	Kode Spesimen	Stiffness (N/mm)	
1	Sandwich 0°	A1 0°	1192.175	1370.36
2		A2 0°	1277.5	
3		A3 0°	1641.41	
4	Sandwich 30°	B3 30°	1303.65	1338.03
5		B3 30°	1439.83	
6		B3 30°	1270.61	

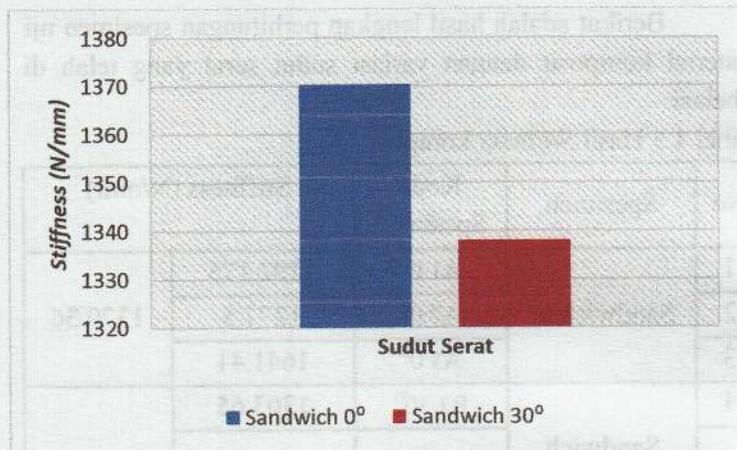
Data dari tabel 4.5 merupakan hasil dari perhitungan dari rumus yang digunakan Robert D. Story, pada thesis SAE yang telah dibuat. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembandingan pada diagram *stiffness*:

0° : Arah Serat 0°

30° : Arah Serat 30°

Tabel diatas juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan pada arah seratnya.

Berikut adalah diagram berdasarkan arah serat dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan hasil tertinggi menuju hasil terendah:



Gambar 4.5 Perbandingan rata-rata hasil perhitungan *Stiffness* komposit *sandwich* terhadap arah sudut serat

Arah Serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

- 0° : Arah Serat 0°
- 30° : Arah Serat 30°

Dari gambar 4.4 dapat dilihat grafik *stiffness* komposit *sandwich* yang menunjukkan bahwa adanya ketidakstabilan *stiffness* komposit akibat pengaruh perubahan arah sudut serat. Disebabkan *bonding* antar *skin* dan *core* pada tiap variasi sempurna. Sesuai kenyataan, *bonding* antar *skin* dan *core* ditentukan oleh persebaran matriks (resin) pada seluruh luasan komposit yang akan mempengaruhi ikatan antara matriks dan *reinforce* pada tiap variasi spesimen.

Pada proses *Vacuum Bagging*, sering terjadi penimbunan resin di beberapa bagian yang membuat penekanan resin pada komposit tidak sempurna. Dan juga berbedanya hasil *stiffness* kedua variasi ini bisa dikarenakan

indentor yang tidak terlalu pada posisi *center* saat pengujian beberapa spesimen.

Stiffness rata-rata pada komposit *sandwich* bernilai 1370.36N/mm pada sudut serat 0°, dan 1338.03 N/mm pada sudut serat 30°. Dengan artian nilai *stiffness* pada sudut serat 0° mengalami peningkatan sebesar 2.41% dari sudut 30°. Jadi *stiffness* rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 0°.

4.5 Pengaruh variasi sudut serat terhadap Kekuatan *Bending*

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Kekuatan *bending* komposit

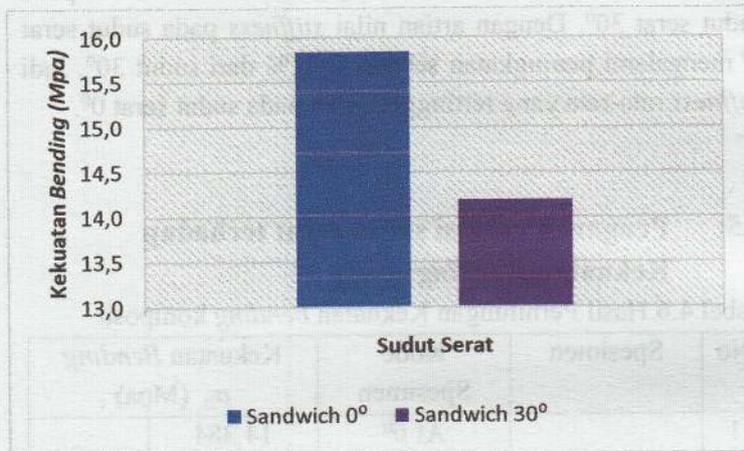
No	Spesimen	Kode Spesimen	Kekuatan <i>Bending</i> σ_b (Mpa)	
1	Sandwich 0°	A1 0°	14.384	15.841
2		A2 0°	16.113	
3		A3 0°	17.028	
4	Sandwich 30°	B3 30°	14.375	14.190
5		B3 30°	14.275	
6		B3 30°	13.921	

Data dari tabel 4.6 merupakan hasil dari perhitungan dari rumus yang ada pada standar ASTM D790 - 10. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram Kekuatan *Bending*:

0° : Arah Serat 0°
30° : Arah Serat 30°

Tabel diatas juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan pada arah seratnya.

Berikut adalah diagram berdasarkan arah serat dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan hasil tertinggi menuju hasil terendah:



Gambar 4.6 Perbandingan rata-rata hasil perhitungan Kekuatan Bending komposit sandwich terhadap arah sudut serat

Arah Serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

- 0° : Arah Serat 0°
- 30° : Arah Serat 30°

Dari gambar 4.5 dapat dilihat grafik kekuatan bending komposit sandwich yang menunjukkan bahwa adanya ketidakstabilan tegangan bending komposit akibat pengaruh perubahan arah sudut laminate.

Kekuatan Bending rata-rata pada komposit sandwich bernilai 15.841 Mpa pada sudut serat 0°, dan 14.190 Mpa pada sudut serat 30°. Dengan artian nilai kekuatan bending pada

sudut serat 0^0 mengalami peningkatan sebesar 11.63% dari sudut 30^0 . Jadi kekuatan *bending* rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 0^0 .

4.6 Pengaruh variasi sudut serat terhadap Momen *Bending*

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Momen *Bending* komposit

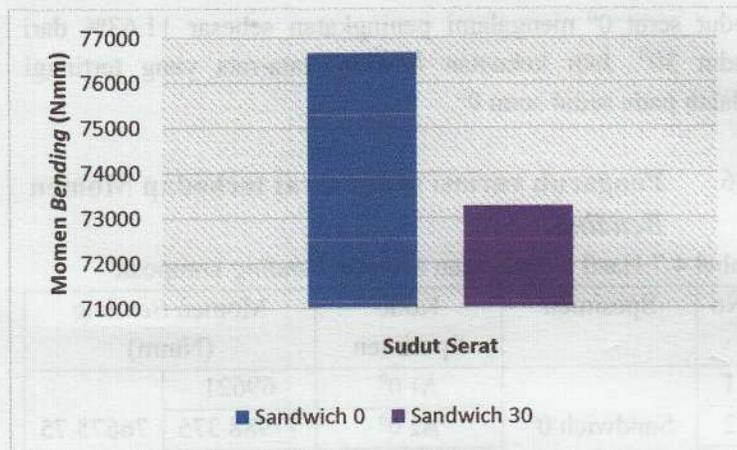
No	Spesimen	Kode Spesimen	Momen <i>Bending</i> (Nmm)	
1	Sandwich 0^0	A1 0^0	69621	76675.75
2		A2 0^0	77988.375	
3		A3 0^0	82417.875	
4	Sandwich 30^0	B3 30^0	74214.75	73261.62
5		B3 30^0	73699.125	
6		B3 30^0	71871	

Data dari tabel 4.7 merupakan hasil dari perhitungan dari rumus yang ada pada standar ASTM D790 - 10. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram Momen *Bending*:

0^0 : Arah Serat 0^0
 30^0 : Arah Serat 30^0

Tabel diatas juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan pada arah seratnya.

Berikut adalah diagram berdasarkan arah serat dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan hasil tertinggi menuju hasil terendah:



Gambar 4.7 Perbandingan rata-rata hasil perhitungan Momen Bending komposit *sandwich* terhadap arah sudut serat

Arah Serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

- 0° : Arah Serat 0°
- 30° : Arah Serat 30°

Dari gambar 4.6 dapat dilihat grafik Momen *bending* komposit *sandwich* yang menunjukkan bahwa adanya ketidakstabilan tegangan bending komposit akibat pengaruh perubahan arah sudut *laminat*.

Momen *bending* rata-rata pada komposit *sandwich* bernilai 76675.75 Nmm pada sudut serat 0°, dan 73261.62 Nmm pada sudut serat 30°. Dengan artian nilai Momen *bending* pada sudut serat 0° mengalami peningkatan sebesar 4.66% dari sudut 30°. Jadi Momen *bending* rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 0°.

4.7 Pengujian tiga titik *bending* pada material *aluminium alloy 6063*

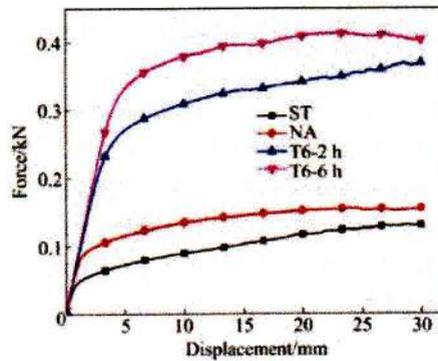
(Liu Zin Wei, 2017) melakukan pengujian tiga titik *bending* pada material *aluminium alloy 6063*. Pengujian ini ada pada referensi *Influence of heat treatment conditions on bending characteristics of 6063 aluminum alloy sheets*. Didalam pengujian, material menerima perlakuan panas dengan variasi seperti:

Tabel 4.8 Data spesimen *aluminium alloy 6063*

No	Spesimen	Perlakuan panas
1	ST (Mg)	<i>Heat treated 535⁰C selama 1 jam</i>
2	NA (Si)	<i>Heat treated 535⁰C selama 1 jam</i>
3	T6-2h	<i>Heat treated 180⁰C selama 2 jam</i>
4	T6-6h	<i>Heat treated 180⁰C selama 6 jam</i>

*T6-6h merupakan material lama *knuckle plate* mobil noyogeni 5 evo

Dengan 4 variasi perlakuan panas yang berbeda pada material *aluminium alloy 6063*, hasil pengujian spesimen di tabel 4.8 mengalami perbedaan. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.8 Grafik pembebanan terhadap perpindahan hasil pengujian tiga titik *bending* pada 4 spesimen

Pada gambar 4.7, spesimen ST, NA, T6-2h, T6-6h dapat dilihat spesimen ST menerima beban maksimum sebesar 135.71 N. Spesimen NA menerima beban maksimum sebesar 152.38 N, yang berarti pembebanan lebih besar 12.28% dari pembebanan spesimen ST. Pembebanan pada spesimen T6-2h memiliki nilai yang jauh lebih besar yakni 370.27 N, yang berarti 172.83% lebih besar dibanding pembebanan spesimen ST.

Spesimen T6-2h juga lebih besar 142.99% dari spesimen NA. Pada spesimen T6-6h, pembebanan yang diterima sebesar 413.82 N. Dengan demikian, spesimen T6-6h memiliki pembebanan maksimum lebih besar 204.92% dibandingkan spesimen ST. Pembebanan maksimal pada T6-6h juga lebih besar 171.57% jika dibandingkan dengan spesimen NA.

4.8 Perhitungan Kekuatan *Bending* pada material *aluminium alloy 6063*

Tabel 4.9 Kekuatan *Bending* material *aluminium alloy 6063*

No	Spesimen	Maksimal Pembebanan (N)	Kekuatan <i>Bending</i> (Mpa)	
1	ST (Mg)	135.71	135.71	268.045
2	NA (Si)	152.38	152.38	
3	T6-2h	370.27	370.27	
4	T6-6h	413.82	413.82	

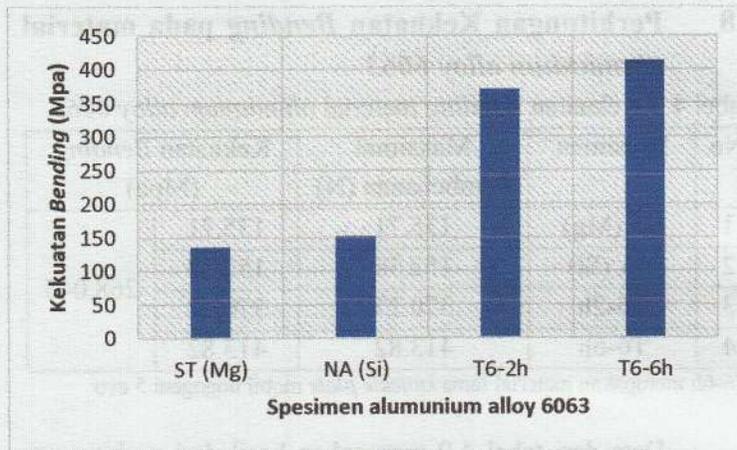
*T6-6h merupakan material lama *knuckle plate* mobil nogogeni 5 evo

Data dari tabel 4.9 merupakan hasil dari perhitungan dari rumus yang ada pada standar ASTM D790 - 10. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram Kekuatan *Bending*:

ST (Mg) melalui proses *heat treated* 535°C selama 1 jam
NA (Si) melalui proses *heat treated* 535°C selama 1 jam
T6 temper melalui proses *heat treated* 180°C selama 2 jam
T6 temper melalui proses *heat treated* 180°C selama 6 jam

Tabel diatas juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram perbedaan berdasarkan *heat treatment*.

Berikut adalah diagram berdasarkan *heat treatment* dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan hasil tertinggi menuju hasil terendah:



Gambar 4.9 Perbandingan hasil perhitungan Kekuatan Bending material alumunium alloy 6063 terhadap heat treatment

Pada gambar 4.8 spesimen ST, NA, T6-2h, T6-6h dapat dilihat spesimen ST memiliki nilai kekuatan *bending* sebesar 135.71 Mpa. Spesimen NA sebesar 152.38 Mpa, yang berarti spesimen NA lebih besar 12.28% dari pembebanan spesimen ST. Pada spesimen T6-2h memiliki nilai yang jauh lebih besar yakni 370.27 Mpa, yang berarti 172.83% lebih besar dibanding spesimen ST.

Spesimen T6-2h juga lebih besar 142.99% dari spesimen NA. Pada spesimen T6-6h, hasil perhitungan kekuatan *bending* sebesar 413.82 Mpa. Dengan demikian, spesimen T6-6h lebih besar 204.92% dibandingkan spesimen ST. Kekuatan *bending* pada T6-6h juga lebih besar 171.57% jika dibandingkan dengan spesimen NA.

4.9 Perhitungan Momen *Bending* pada material *aluminium alloy 6063*

Tabel 4.10 Momen *Bending* material *aluminium alloy 6063*

No	Spesimen	Maksimal Pembebanan (N)	Momen <i>Bending</i> (Nmm)	
1	ST (Mg)	135.71	4071.3	8116.35
2	NA (Si)	162.38	4871.4	
3	T6-2h	370.27	11108.1	
4	T6-6h	413.82	12414.6	

*T6-6h merupakan material lama *knuckle plate* mobil nogogeni 5 evo

Data dari tabel 4.10 merupakan hasil dari perhitungan dari rumus yang ada pada standar ASTM D790 - 10. Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram Kekuatan *Bending*:

ST (Mg) melalui proses *heat treated* 535°C selama 1 jam

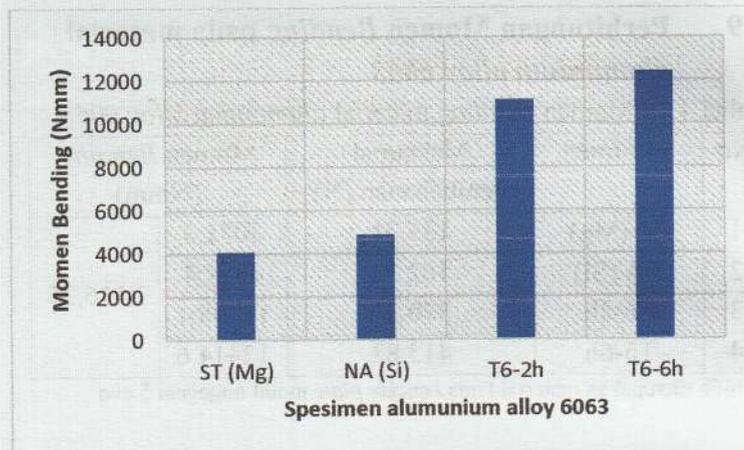
NA (Si) melalui proses *heat treated* 535°C selama 1 jam

T6 temper melalui proses *heat treated* 180°C selama 2 jam

T6 temper melalui proses *heat treated* 180°C selama 6 jam

Tabel 4.10 juga dapat menghasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan *heat treatment*.

Berikut adalah diagram berdasarkan *heat treatment* dari bahan yang digunakan berdasarkan dengan hasil tertinggi menuju hasil terendah:



Gambar 4.10 Perbandingan hasil perhitungan Momen *Bending* material *aluminium alloy 6063* terhadap *heat treatment*

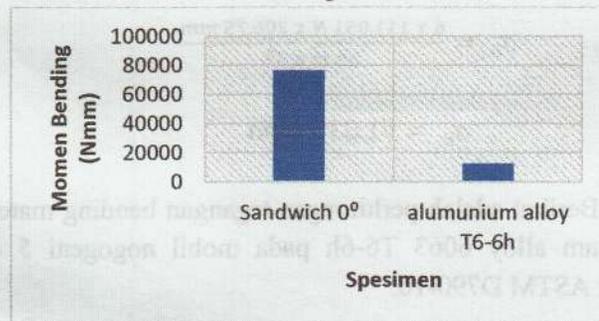
Pada gambar 4.9 spesimen ST, NA, T6-2h, T6-6h dapat dilihat spesimen ST memiliki nilai Momen *bending* sebesar 4071.3 Nmm. Spesimen NA sebesar 4871.4 Nmm, yang berarti spesimen NA lebih besar 19.65% dari pembebanan spesimen ST. Pada spesimen T6-2h memiliki nilai yang jauh lebih besar yakni 11108.1 Nmm, yang berarti 172.83% lebih besar dibanding spesimen ST.

Spesimen T6-2h juga lebih besar 128.02% dari spesimen NA. Pada spesimen T6-6h, hasil perhitungan momen *bending* sebesar 12414.6 Nmm. Dengan demikian, spesimen T6-6h lebih besar 204.68% dibandingkan spesimen ST. Momen *bending* pada T6-6h juga lebih besar 154.84% jika dibandingkan dengan spesimen NA.

4.10 Perbandingan nilai Momen *Bending* material komposit *Double Layer Aluminium Honeycomb Core* dan *Carbon Fiber Sandwich* dengan material *Aluminium Alloy 6063*

Pada gambar 4.5 telah didapat material komposit *Double Layer Aluminium Honeycomb Core* dengan variasi sudut serat 0° memiliki nilai rata-rata momen *bending* tertinggi di banding dengan sudut serat 30° sebesar 76675.75 Nmm. Sedangkan pada gambar 4.8 didapat material *aluminium alloy 6063* dengan variasi *heat treatment* T6-6h memiliki nilai 12414.6 Nmm sebagai yang tertinggi pada variasi pengujian 3 titik *bending*.

Dengan demikian dapat dibuat grafik perbandingan antara kedua material tersebut seperti:



Gambar 4.11 Perbandingan material komposit dengan material *aluminium alloy 6063*

Pada gambar 4.10 didapat nilai material komposit *Double Layer Aluminium Honeycomb Core* memiliki nilai momen *bending* lebih besar 517.62% dibandingkan dengan material *aluminium alloy 6063* T6-6h. Dengan demikian *properties* dalam hal ini Momen *Bending*, material komposit *Double Layer Aluminium Honeycomb Core* lebih baik dibanding dengan material *aluminium alloy 6063* T6-6h. Nilai

properties Momen Bending hasil pengujian 3 titik *bending* dapat digunakan untuk mencari perhitungan Tegangan Bending pada mobil Nogogeni 5 evo.

4.11 Perhitungan tegangan *bending knuckle plate* mobil Nogogeni 5 evo

Pada persamaan (6), didapatkan perhitungan tegangan *bending knuckle plate* pada mobil nogogeni 5 evo secara statis. Perhitungan di dapat dari data pemberian pembebanan dari roda dan pembebanan lain yang diterima oleh *knuckle plate*:

$$\sigma_b = \frac{6 Mb}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_b = \frac{6 \times 111.051 \text{ N} \times 206.75 \text{ mm}}{60 \text{ m} \times 5^2}$$

$$\sigma_b = 91.839 \text{ Mpa}$$

Berikut adalah perhitungan tegangan bending material aluminium alloy 6063 T6-6h pada mobil nogogeni 5 evo menurut ASTM D790-10:

$$\sigma_b = \frac{3 Mb}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 413.82 \text{ N} \times 206.75 \text{ mm}}{2 \times 60 \text{ m} \times 5^2}$$

$$\sigma_b = 85.55 \text{ Mpa}$$

Berikut adalah perhitungan tegangan bending material aluminium alloy 6063 T6-6h pada mobil nogogeni 5 evo menurut ASTM D790-10:

$$\sigma_b = \frac{3 Mb}{2.b.h^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 2044.68 \text{ N} \times 206.75 \text{ mm}}{2 \times 60 \text{ mm} \times 22^2}$$

$$\sigma_b = 21.83 \text{ Mpa}$$

Pada persamaan (7), didapatkan perhitungan tegangan geser *knuckle plate* pada mobil nogogeni 5 evo secara statis. Perhitungan di dapat dari data pemberian pembebanan dari roda dan pembebanan lain yang diterima oleh *knuckle plate*:

$$\sigma_b = \frac{F}{b.h}$$

$$\sigma_b = \frac{111.051 \text{ N}}{60 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}}$$

$$\sigma_b = 0.37 \text{ N/mm}^2$$

Berikut adalah perhitungan tegangan geser material aluminium alloy 6063 T6-6h pada mobil nogogeni 5 evo:

$$\sigma_b = \frac{F}{b.h}$$

$$\sigma_b = \frac{413.82 \text{ N}}{60 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}}$$

$$\sigma_b = 1.37 \text{ N/mm}^2$$

Berikut adalah perhitungan tegangan geser material komposit *sandwich*:

$$\sigma_b = \frac{F}{b.h}$$
$$\sigma_b = \frac{2044.68 \text{ N}}{60 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}}$$
$$\sigma_b = 1.549 \text{ N/mm}^2$$

Pada persamaan (8), didapatkan perhitungan tegangan total *knuckle plate* pada mobil nogogeni 5 evo. Perhitungan di dapat dari data pemberian pembebanan dari roda dan pembebanan lain yang diterima oleh *knuckle plate*:

$$\tau \text{ max} = \sqrt{\sigma_b^2 + \tau_s^2}$$

$$\tau \text{ max} = \sqrt{(91.839)^2 + (0.37)^2}$$

$$\tau \text{ max} = 91.839 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau \text{ max} = 91.839 \text{ Mpa}$$

Pada persamaan (8), didapatkan perhitungan tegangan total *knuckle plate* material aluminium alloy 6063. Perhitungan di dapat dari data pemberian pembebanan dari roda dan pembebanan lain yang diterima oleh *knuckle plate*:

$$\tau \text{ max} = \sqrt{\sigma_b^2 + \tau_s^2}$$

$$\tau \text{ max} = \sqrt{(85.55)^2 + (1.37)^2}$$

$$\tau_{max} = 87.42 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{max} = 87.42 \text{ Mpa}$$

Pada persamaan (8), didapatkan perhitungan tegangan material komposit *sandwich*. Perhitungan di dapat dari data pemberian pembebanan dari roda dan pembebanan lain yang diterima oleh *knuckle plate*:

$$\tau_{max} = \sqrt{\sigma_b^2 + \tau_s^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{(21.83)^2 + (1.549)^2}$$

$$\tau_{max} = 22.22 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{max} = 22.22 \text{ Mpa}$$

4.11.1. Momen inersia *knuckle plate* aluminium alloy 6063

$$\begin{aligned} I_A &= \frac{1}{12} \times B_A \times H_A^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 235 \times (5)^3 \\ &= 2447.91 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

4.11.2. Tegangan Bending Maksimum aluminium alloy 6063

$$\sigma_{b \max} \leq |\sigma_{byp}|$$

$$\frac{M_b \cdot y}{I} \leq \frac{k_b \cdot S_{yp}}{sf}$$

$$\frac{12414,6 \text{ Nmm} \cdot 12,7 \text{ mm}}{2447,91 \text{ mm}^4} \leq \frac{0,9 \cdot 276 \text{ MPa}}{1,25}$$

$$64.408 \text{ MPa} \leq 198.72 \text{ MPa}$$

4.11.3. Momen Inersia Komposit Sandwich

$$I_A = \frac{1}{12} \times B_A \times H_A^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 235 \times (22)^3$$

$$= 208523,33 \text{ mm}^4$$

4.11.4. Tegangan Bending Maksimum komposit sandwich

$$\sigma_{b \max} \leq |\sigma_{byp}|$$

$$\frac{M_b \cdot y}{I} \leq \frac{k_b \cdot S_{yp}}{sf}$$

$$\frac{76675,75 \text{ Nmm} \cdot 12,7 \text{ mm}}{208523,33 \text{ mm}^4} \leq \frac{0,9 \cdot 276 \text{ MPa}}{1,25}$$

$$4.669 \text{ MPa} \leq 198.72 \text{ MPa}$$

4.12 Analisa makro model kegagalan komposit

Double Layer Core Sandwich akibat pengujian tiga titik bending

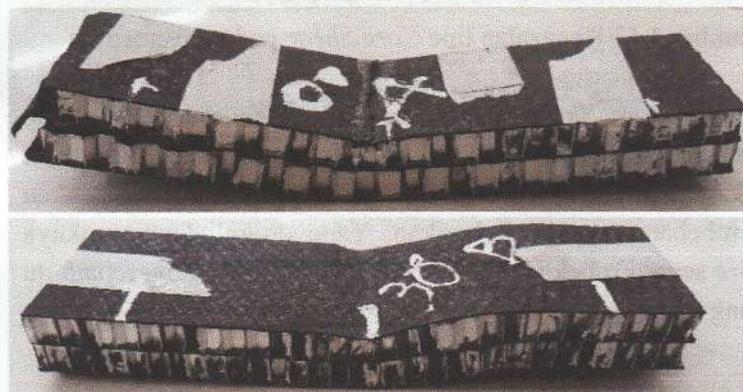
Kegagalan komposit adalah kerusakan yang terjadi pada komposit *sandwich* saat dikenai beban yang melampaui

kekuatannya. Kegagalan pada komposit *sandwich* menurut tempatnya terbagi menjadi dua yaitu kegagalan di kulit dan kegagalan bagian inti (core). Berikut tabel hasil pengujian dari 6 Spesimen komposit *sandwich* menurut Analisa makro kegagalan kompositnya:

Tabel 4.11 Data jenis kegagalan komposit *sandwich* pada pengujian 3 titik *bending*

KODE SPESIMEN	MODEL KEGAGALAN
A1 0 ⁰	<i>Core Shear</i>
A2 0 ⁰	<i>Indentation</i>
A3 0 ⁰	<i>Indentation</i>
B1 30 ⁰	<i>Core Shear</i>
B2 30 ⁰	<i>Indentation</i>
B3 30 ⁰	<i>Core Shear</i>

Jenis kegagalan pada tabel 4.11 dapat dilihat dan diidentifikasi pada gambar berikut:



Gambar 4.12 Kegagalan tipe *indentation* pada spesimen uji

Indentation adalah salah satu dari beberapa jenis kegagalan yang terjadi pada komposit *sandwich*. Kegagalan *indentation* akan muncul pada balok *sandwich* dengan core yang relatif tebal jika dibandingkan dengan ketebalan *skin* dan kekuatan core yang sangat rendah. Kegagalan ini menyebabkan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan model kegagalan lainnya.



Gambar 4.13 Kegagalan tipe *Core Shear* pada spesimen uji

Core Shear merupakan jenis kegagalan yang kerap muncul pada komposit *sandwich*. Kegagalan jenis ini muncul dikarenakan lepasnya *core* terhadap salah satu *skin* sedangkan pembebanan masih di berikan. Yang ditimbulkan rusaknya *core* seperti robek pada beberapa *cell* penyusun *honeycomb* itu yang mengakibatkan lepasnya *core* terhadap *skin*.

4.13 Pembahasan

Dari beberapa pengujian yang telah dilakukan terhadap material komposit, dapat ditarik kesimpulan bahwa material komposit memiliki banyak keuntungan jika disbanding dengan logam paduan. Seperti, pengurangan berat yang sangat signifikan yakni 50% dan memiliki *properties* yang hamper sama dengan logam paduan. Namun *properties* ideal pada komposit mampu didapat jika telah sesuai dengan standar pengujian yang benar, proses manufaktur material yang benar. Pada pengujian komposit *double layer core sandwich* didapatkan perbedaan yang sangat mencolok pada berat material paduan *aluminium* dan komposit seperti pada gambar yang terdapat di lampiran. Evaluasi yang didapat pada material ini adalah dimensi spesimen. Dimensi spesimen merupakan pembagi pada perhitungan seperti pada persamaan (4) dan (6).

Maka semakin besar nilai dimensi pada spesimen yang dibuat, semakin kecil nilai tegangan dan kekuatan yang didapatkan meskipun pada hasil pengujian material mampu menerima pembebanan yang besar. Kelebihan pada komposit *sandwich* struktur *double layer core* yaitu lapisan ganda lebih unggul untuk sifat mekanik seperti kekuatan *bending* dan deformasi energi sebagai balok dikarenakan *energy bending* inti yang besar diterima oleh *skin* dan lapisan *core* yang pertama. Juga sifat densitas yang rendah akan didapat pada material komposit ini. Karakteristik seperti ini lah yang nantinya sangat dibutuhkan dan menjadikan ideal untuk industri transportasi sebagai pengganti logam paduan yang memiliki berat yang jauh lebih tinggi namun sifat mekanik tidak terlampau jauh atau bahkan lebih baik.

Kekurangan pada material ini yaitu pengadaan barang yang masih belum ada di Indonesia. Seperti halnya material

dasar *core*, *aluminium honeycomb* yang masih di datangkan dari Inggris (UK). Laman EasyComposites lah yang menyediakan segala keperluan untuk pembuatan komposit dengan alat yang professional. Juga harga yang ditawarkan cukup mahal jika di konversikan pada rupiah. Selain itu juga, untuk mendapatkan sifat mekanis yang ideal diperlukan perlakuan khusus saat melakukan fabrikasi material komposit ini.

Namun material *core* tipe *honeycomb* kini sudah sedikit mudah untuk didapat meskipun material dasar yang ada hanyalah plastik. Dengan ketebalan 1-3 mm, *core* ini cukup memberikan manfaat pada siapapun yang membutuhkan material yang ringan sesuai dengan keinginan. Untuk hasil pengujian pada komposit *sandwich* masih dilakukan oleh teman sekaligus rekan kerja saya pada tim riset kendaraan hemat energi yakni bernama Ardian Rahman, yang nanti juga hasil pengujian akan di bukukan dalam bentuk Tugas Akhir. Untuk struktur yang dipakai yakni *single layer core sandwich* dengan variasi arah sudut serat dan juga pengujian pada komposit *laminat*. *Laminat* berbeda dengan *sandwich*, secara garis besar perbedaan pada pemberian *core* ataupun tidak.

Juga pengujian pada material komposit *sandwich single layer core* dengan menggunakan *polyurethane rigid foam* sebagai *core* utama. *Polyurethane rigid foam* dalam pengadaan lebih mudah dibanding dengan *core aluminium honeycomb* karena *polyurethane* banyak dijumpai di Indonesia. *Polyurethane* terdiri dari 2 unsur penyusun, unsur pertama sebagai penguat material dan unsur kedua pemberi volume pada material tersebut. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tiga titik *bending* yang menghasilkan data seperti momen *bending* sebesar 8446 Nmm pada variasi sudut

arah serat 45° . Jika dibandingkan dengan material komposit *sandwich double layer aluminium honeycomb core*, nilai hasil pengujian lebih kecil 88.98%. Seperti penjelasan pada alenia (2), untuk struktur *single layer core* dinilai kurang maksimal untuk menyerap energi yang di hasilkan dari pembebanan indentor karena pembebanan akan langsung mengenai skin pertama dan langsung diserap oleh *core polyurethane*. Dengan sifat mekanik *polyurethane* yang lebih buruk dibanding *aluminium honeycomb* seperti pada penjelasan diatas.

Sebagai pembanding untuk *core aluminium honeycomb core aluminium* yang lain, telah dilakukan pengujian tiga titik *bending* dan perhitungan secara simulasi menggunakan aplikasi ANSYS. Dengan *reinforcement carbon fibre Prepreg XPREG XC110* dengan struktur komposit *single layer core* metode pembuatan *out-of-autoclave*, hasil pengujian menghasilkan nilai momen *bending* sebesar 41187.5 Nmm yang berarti lebih kecil 46.28% dibanding dengan material komposit *sandwich double layer aluminium honeycomb core*. Nilai stiffness yang di hasilkan sebesar 1394.56 N/mm. Juga untuk pembuatan komposit ini, memerlukan biaya produksi yang lebih banyak dan prosedur yang lebih lama.

Dengan penjelasan diatas, komposit *sandwich* struktur *double layer core* sangat di rekomendasikan sebagai bahan alternatif pengganti material logam paduan jika dimensi material komposit tersebut kecil dan beban yang mampu di terima besar untuk mencari nilai momen *bending* pada sebuah material yang nantinya juga dapat digunakan mencari nilai perhitungan seperti tegangan total.

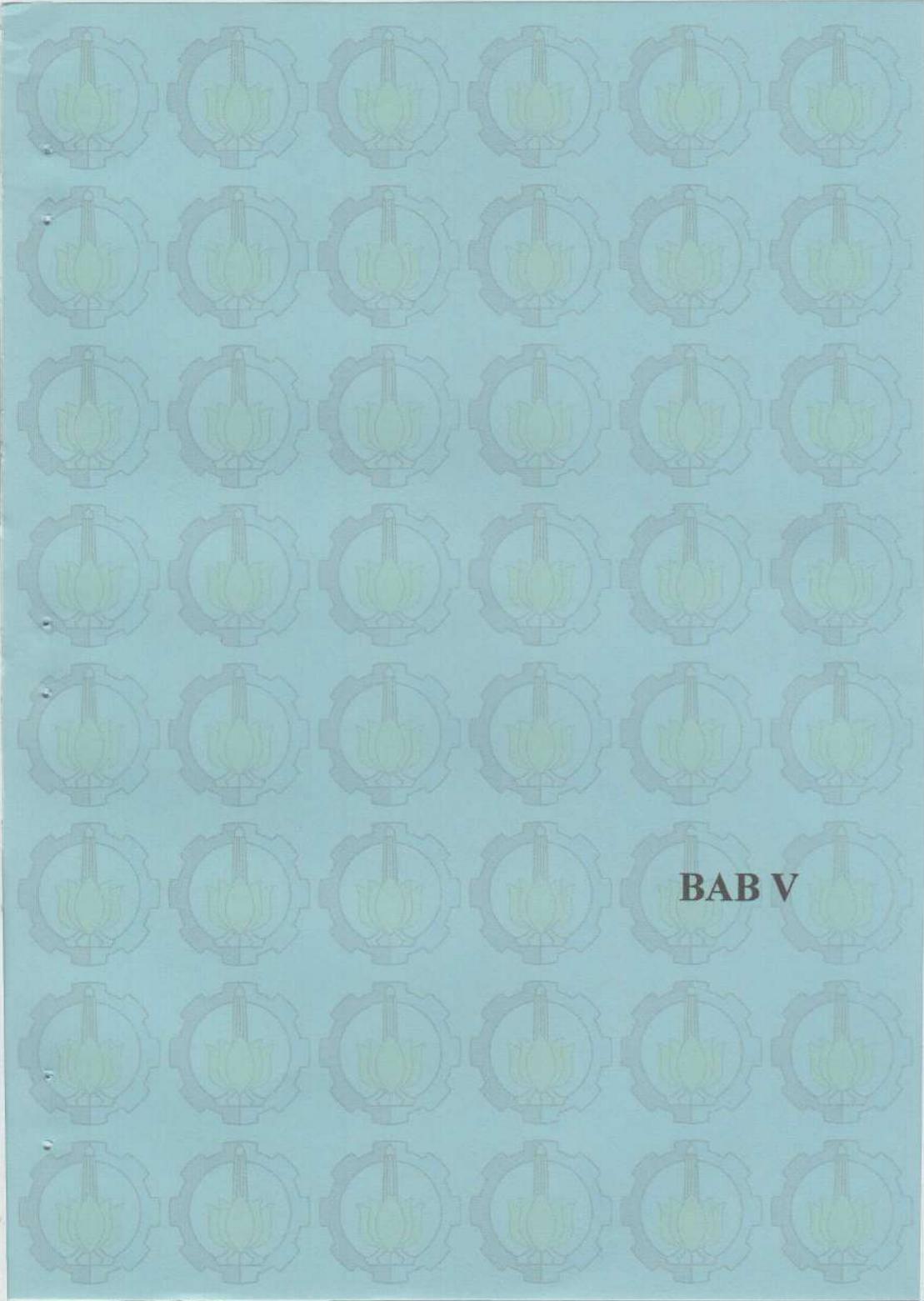
arah serat 45°. Jika dibandingkan dengan material komposit
sandwich double layer aluminium honeycomb core, nilai hasil
pengujian lebih kecil 88,98%. Seperti penjelasan pada alinea
(2), untuk struktur single layer core dinilai kurang maksimal
untuk menyerap energi yang di hasilkan dari perbedaan
indikator karena perbedaan skin langsung mengenai skin
pertama dan langsung diserap oleh core polystyrene. Dengan
sifat mekanik polystyrene yang lebih baik dibanding
aluminium honeycomb seperti pada penjelasan diatas.

Sebagai perbandingan untuk core aluminium
honeycomb core aluminium yang lain telah dilakukan
pengujian tiga titik bending dan perhitungan secara simulasi
menggunakan aplikasi ANSYS. Dengan reinforcement carbon
fiber Fiber Kevlar Kevlar dengan struktur komposit single
layer core metode pembuatan out-of-autoclave, hasil
pengujian menghasilkan nilai momen bending sebesar 4117,2

Halaman ini sengaja di kosongkan

Nilai yang
material komposit sandwich double layer aluminium
honeycomb core. Nilai stiffness yang di hasilkan sebesar
1394,36 N/mm. Juga untuk pembuatan komposit ini
memerlukan biaya produksi yang lebih banyak dan prosedur
yang lebih lama.

Dengan penjelasan diatas, komposit sandwich struktur
double layer core sangat di rekomendasikan sebagai bahan
alternatif pengganti material logam paduan jika dimensi
material komposit tersebut kecil dan beban yang mampu di
tahan besar untuk mencari nilai momen bending pada sebuah
material yang nantinya juga dapat digunakan mencari nilai
perhitungan seperti tegangan total.



BAB V

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian spesimen komposit *double layer core sandwich* dengan metode 3 titik *bending* dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi arah serat pada material komposit *sandwich* serat karbon *twill* dengan struktur komposit *double layer core* menghasilkan nilai *stiffness* tertinggi sebesar 1370.36 N/mm pada arah serat 0°
2. Variasi arah serat pada material komposit *sandwich* serat karbon *twill* dengan struktur komposit *double layer core* menghasilkan nilai *facing bending stress* tertinggi sebesar 184.405 Mpa dan nilai *core shear ultimate stress* sebesar 0.792 Mpa pada arah serat 0°.
3. Nilai Momen *Bending* material komposit *Double Layer Aluminium Honeycomb Core* dengan variasi sudut serat 0° memiliki nilai rata-rata sebesar 76675.75 Nmm. Sedangkan material aluminium alloy 6063 dengan variasi heat treatment T6-6h memiliki nilai 12414.6 Nmm. Dengan demikian, material komposit memiliki *properties* lebih baik dibandingkan material aluminium alloy 6063 T6-6h.
4. Untuk pengaplikasian material komposit pada komponen mobil nogenesis 5 evo, perhitungan material menyebutkan tegangan total material jika di aplikasikan sebesar 22.22 Mpa. Sedangkan material lama sebesar 87.42 Mpa. Dengan

kesimpulan material komposit pengujian masih kurang cocok untuk pengaplikasian pada komponen *knuckle plate* mobil nogoeni 5 evo karena specimen terlalu tebal.

5. Kegagalan yang terjadi pada pengujian 3 titik *bending* berupa kegagalan *core shear* sebanyak 3 spesimen (1 spesimen pada sudut serat 0^0 dan 2 spesimen pada sudut 30^0 dan kegagalan *indentation* sebanyak 3 spesimen (2 spesimen pada sudut serat 0^0 dan 1 spesimen pada sudut serat 30^0).

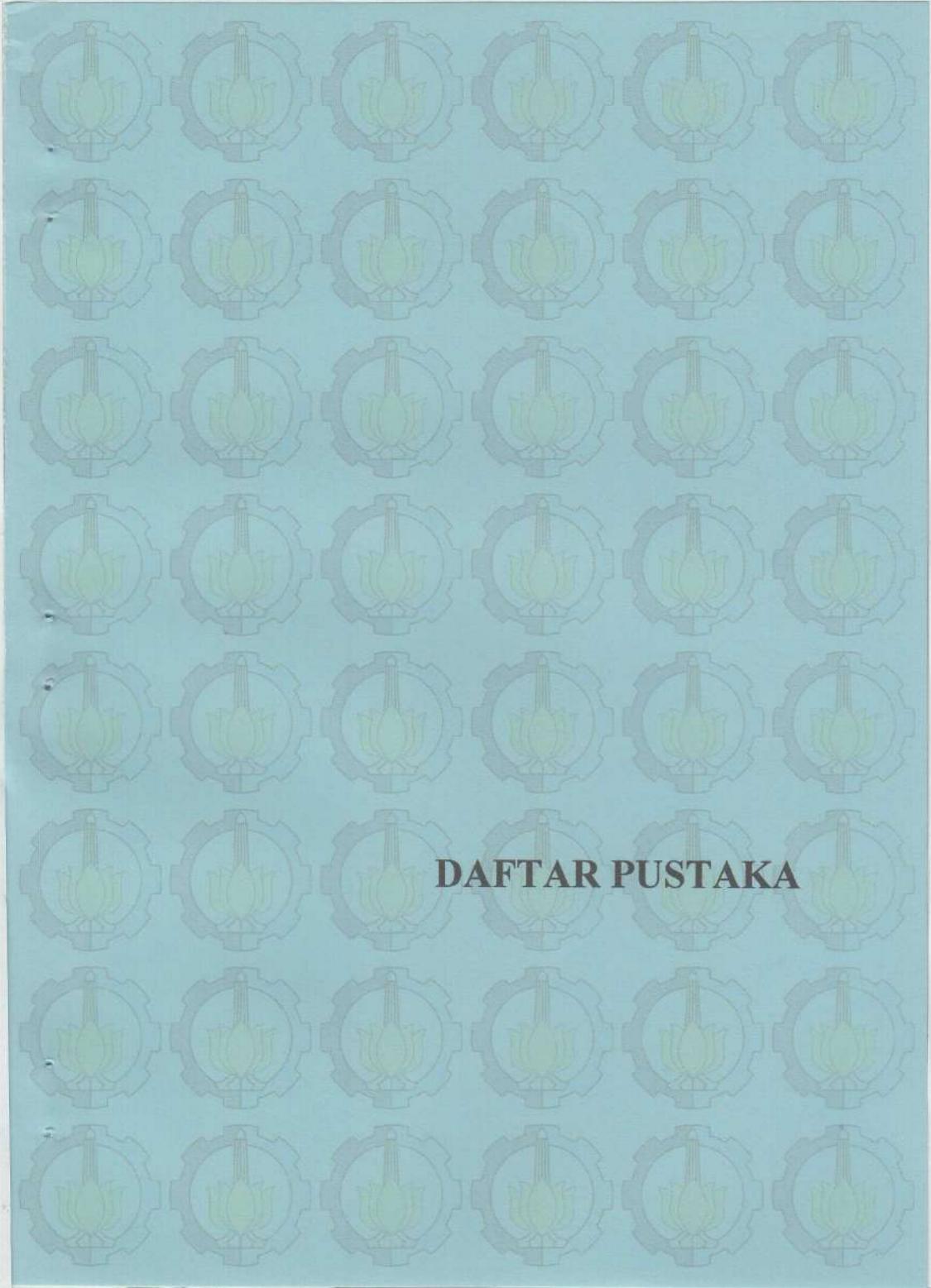
5.2 Saran

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 *core* dengan bahan dasar yang berbeda seperti *plastic honeycomb core*, *nomex honeycomb core* yang memiliki beragam ketebalan untuk nantinya dapat digunakan pada komponen mobil yang lain. Terlebih *plastic honeycomb* lebih mudah didapatkan dibandingkan dengan *aluminum honeycomb core* dan *nomex honeycomb core*
2. Material komposit yang cocok untuk pengaplikasian pada komponen *knuckle plate*, baiknya memiliki ketebalan yang tidak lebih dari

6mm namun mampu menerima pembebanan yang besar menurut perhitungan.

3. Dapat melakukan pengujian kembali dengan *core* specimen yang lebih tipis dengan struktur komposit yang sama yakni *double layer sandwich*, dikarenakan sangat diuntungkan pada penyerapan energi lebih baik di banding dengan *single layer* yang berlaku pada komponen nantinya.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

ASTM C393/C393M - 11, *Standard Test Methode for Flexural Properties of Sandwich Construction*, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohoken, United States.

ASTM D790 – 10, *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohoken, United States

Kobayashi Y., Ohtsuka Y., Tamura H., Satoh T., Nakajima H., 2006, "*Study on Bending Properties of Double Layer Aluminum Honeycomb Core Sandwich Panels*" Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers (A), 72: 724

Liu, Z.W., Li, L.X., Yi J., Li, S.K., Wang, Z.H., Wang, G., 2017, "*Influence of heat treatment conditions on bending characteristics of 6063 aluminum alloy sheets*" Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 27:1948-1506

Wang, J., Shi, C., Yang, N., Sun, H., Liu, Y., Song, B., 2018, "*Strength, stiffness, and panel peeling strength of carbon fiber-reinforced composite sandwich structures with aluminum honeycomb cores for vehicle body*" Composite Structures, 184:1189-1196

Palomba, G., Epasto, G., Crupi, V., Guglielmino, E., 2018, "*Single and double layer honeycomb sandwich panels under impact loading*" International Journal of Impact Engineering, 121:77-90

Hadi, B.K., 2000. PN-336 Mekanika Struktur Komposit. Bandung: ITB

Diharjo K. 2011. Kekuatan *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Gelas dengan *Core Divynycell-PVC H-60* (Pengaruh Orientasi

Serat, Jumlah Laminat dan Tebal *Core* terhadap Kekuatan *Bending*). Surakarta: Teknik Mesin FT UNS.

<https://www.westsystem.com/wp-content/uploads/VacuumBag-7th-Ed.pdf>

http://www.composites.ugent.be/home_made_composites/documentation/FibreGlast_Vacuum_infusion_process.pdf

Jones, R.,M., 1999, "*Mechanics of Composite Materials Second Edition*" London: Taylor and Francis Group

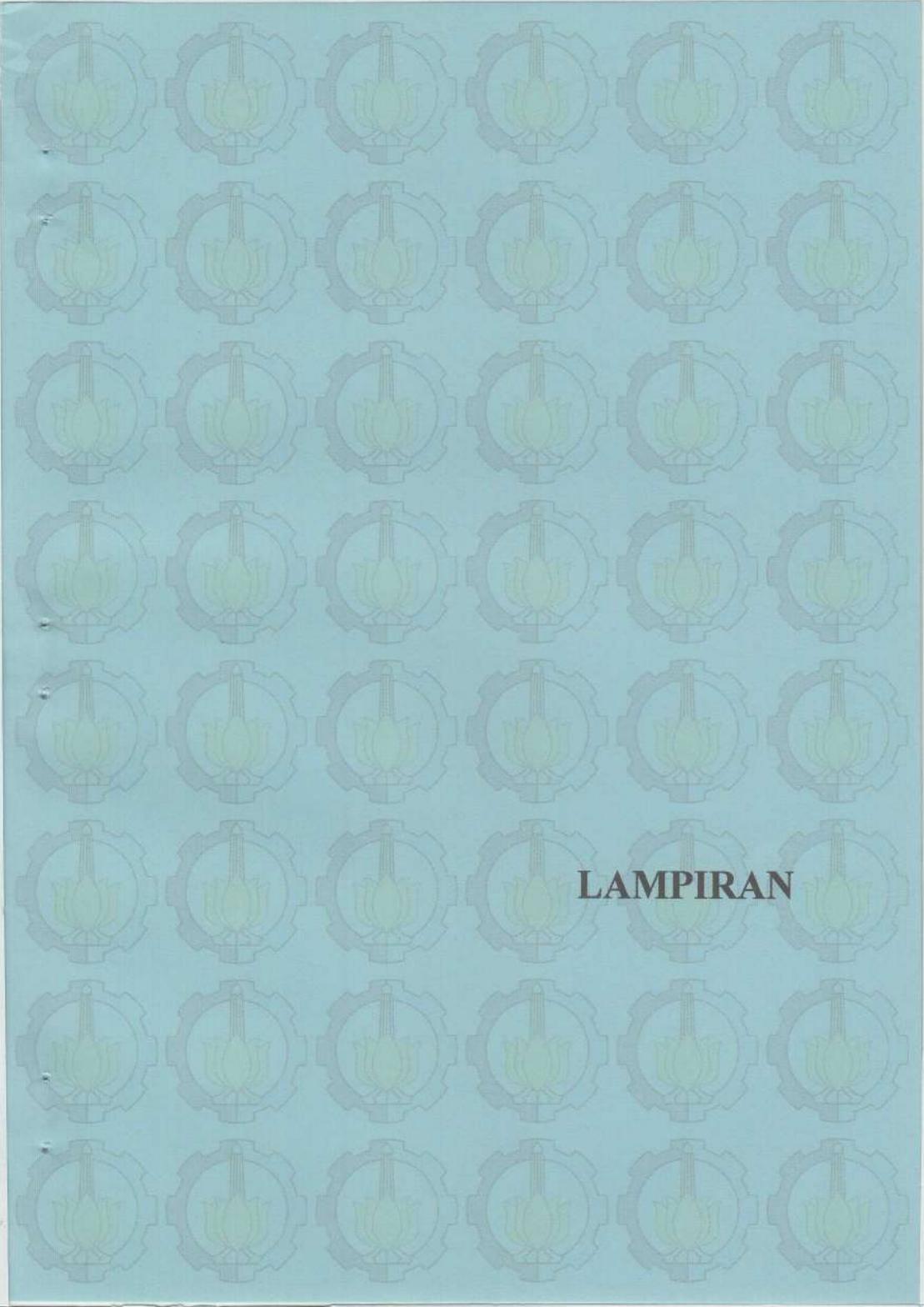
Nugraha, M., A., 2018, "Analisa pengaruh sudut karbon fiber *twill* dan *plain* dengan *core polyurethane rigid foam* komposit *sandwich* yang menggunakan metode *vacuum bagging* pada pengujian *three point bending*" Tugas Akhir, ITS

Anam, M.,C., 2019, "Analisa Perbandingan antara simulasi dan pengujian terhadap *stiffness three point Bending* pada komposit *sandwich carbon fiber prepeg* dan *aluminium honeycomb core* menggunakan metode *out-of-autoclave*" Tugas Akhir, ITS

Maydiyanto, I., 2018, "Rancang bangun *composite sandwich panel* untuk chassis *monocoque* mobil FSAE elektrik ITS" Tugas Akhir, ITS

<https://www.easycomposites.co.uk>

Zainuri, A., 2009 , "Studi Akurasi Kekakuan Bending Antara Metode Analitis Dan Metode Pendekatan Pada Komposit *Sandwich*", *Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Mataram*, p. 402-409.

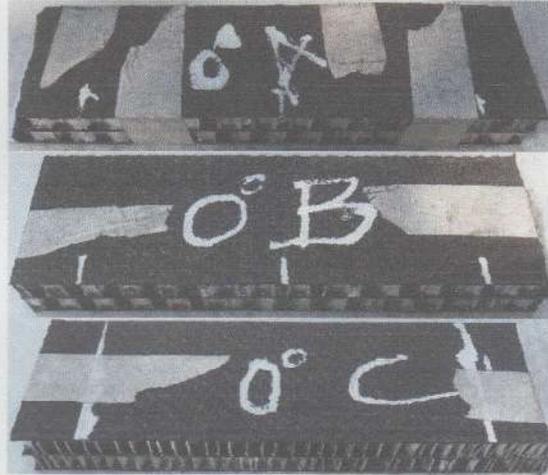


LAMPIRAN

LAMPIRAN

Foto Spesimen Uji A (arah sudut 0°)

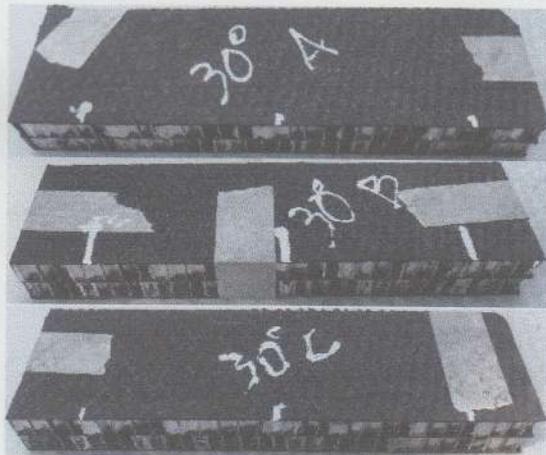
Sebelum Pengujian



Setelah Pengujian



Foto Spesimen Uji B (arah sudut 30°)
Sebelum Pengujian

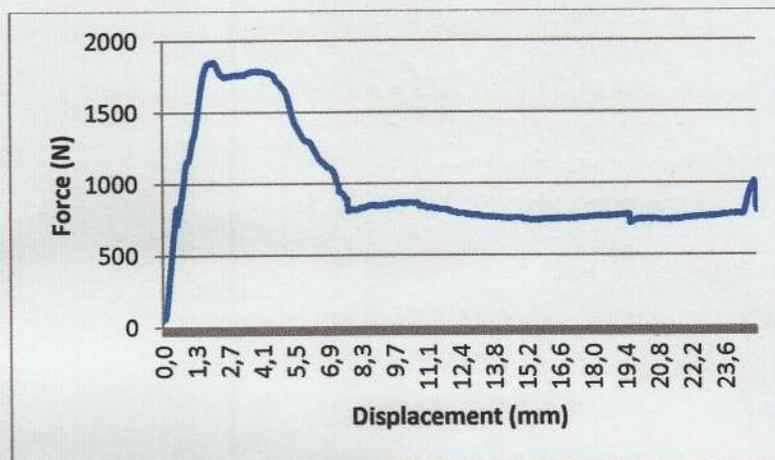


Sesudah Pengujian

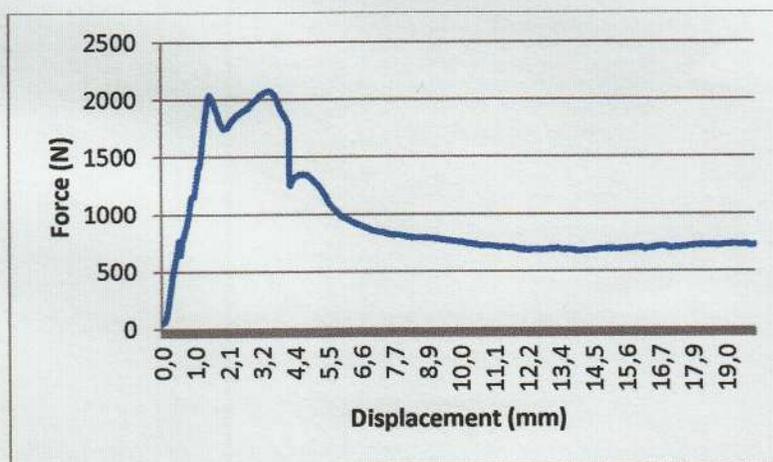


LAMPIRAN 2

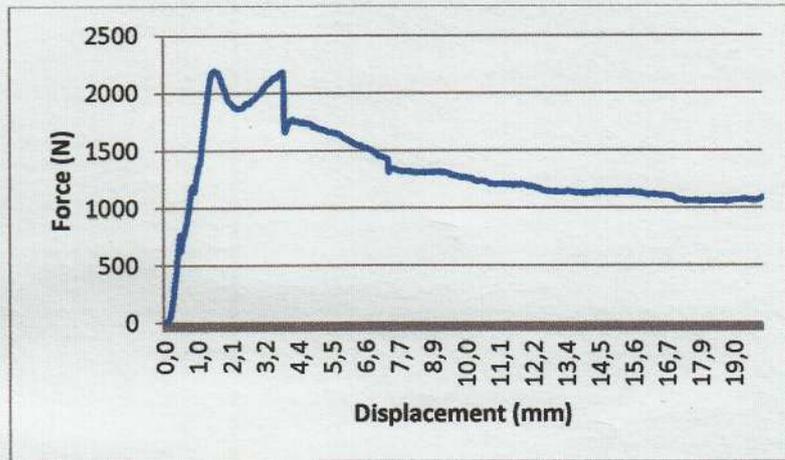
Grafik hasil pengujian spesimen A1 arah serat 0°



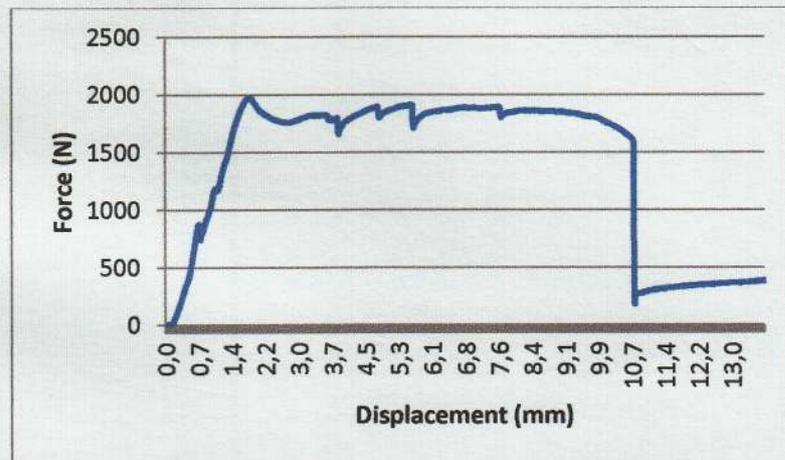
Grafik hasil pengujian spesimen A2 arah serat 0°



Grafik hasil pengujian spesimen A3 arah serat 0°



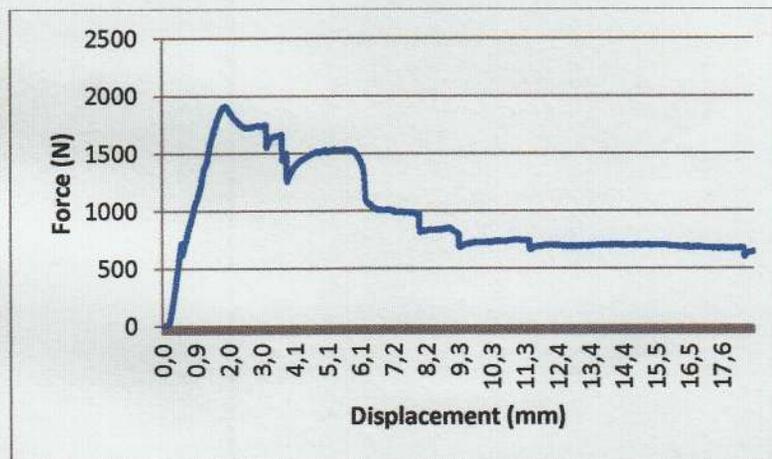
Grafik hasil pengujian spesimen B1 arah serat 30°



Grafik hasil pengujian spesimen B2 arah serat 30°



Grafik hasil pengujian spesimen B3 arah serat 30°



LAMPIRAN 3

Tabel data perbandingan antara hasil perhitungan spesimen komposit *sandwich* dengan data material lama

No	spesimen	kode spesimen	W (g)	P (N)	τ (Mpa)		momen bending (Mpa)	
1		A1 0°	80	1856.5	0.71 9		69621	
2	Sandwich 0°	A2 0°	80	2079.6	0.80 6	0.79 2	77988.37 5	76675.7 5
3		A3 0°	80	2197.8	0.85 1		82417.87 5	
4		B1 0°	81	1979	0.70 2		74214.75	
5	Sandwich 30°	B1 0°	81	1965.3	0.69 7	0.69 3	73699.12 5	73261.6 2
6		B1 0°	81	1916.5	0.68		71871	
7		ST (Mg)	165	135.71	-		4071.3	8116.35
8	Aluminium Alloy	NA (Si)	165	152.38	-	-	4871.4	
9		T6-2h	165	370.27	-		11108.1	
10		T6-6h	165	413.82	-		12414.6	

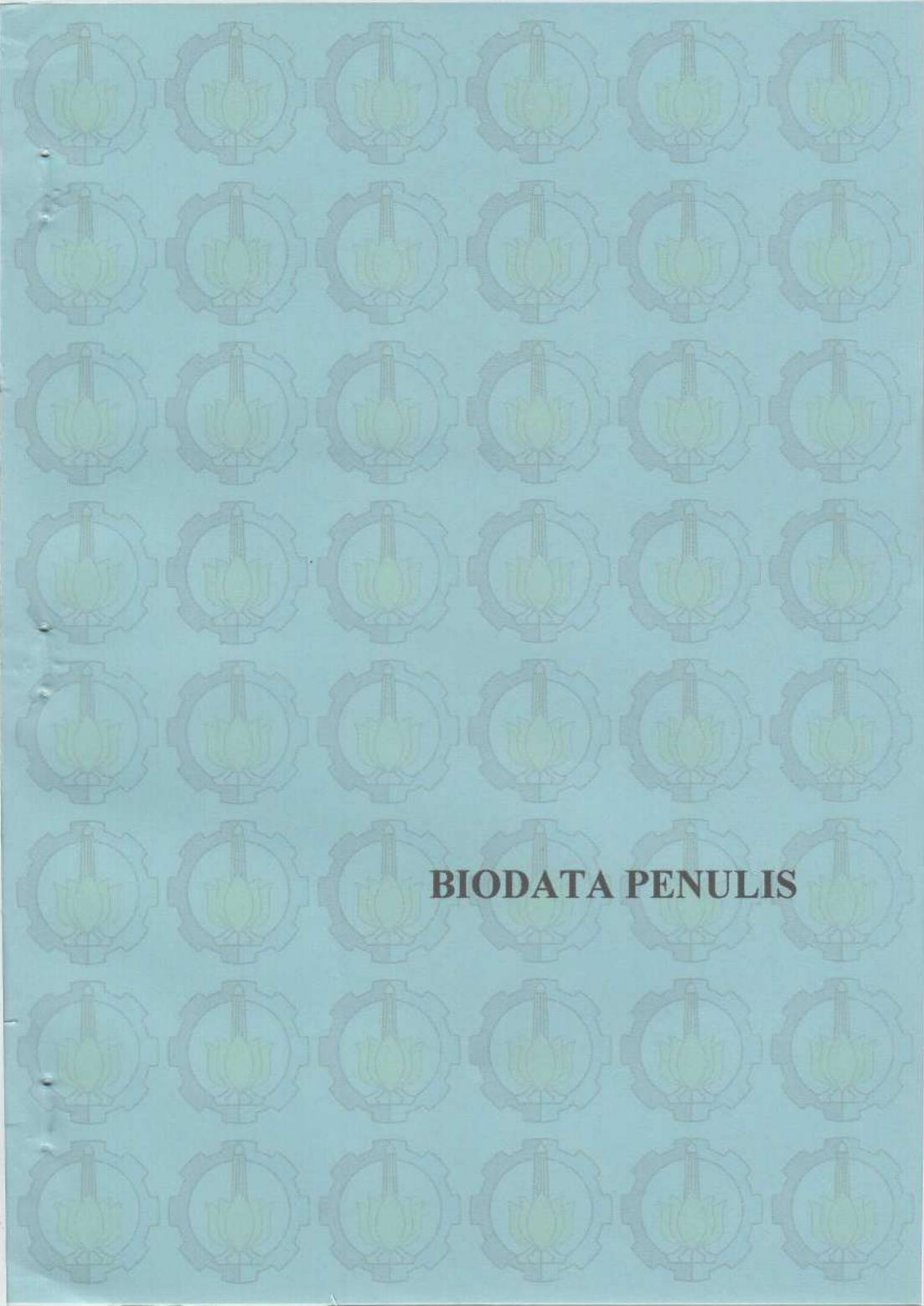
Gambar perbedaan massa spesimen a (material komposit), b (komponen dengan material lama)



a



b



BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 16 Agustus 1998, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, SD Negeri Siwalankerto II/419 Surabaya, SMP Negeri 22 Surabaya, SMA Negeri 16 Surabaya. Pada tahun 2016 Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 10211600000068.

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 2017-2018, Technical Manager Nogogeni ITS Team 2018-2019, , Perlombaan KMHE (Kontes Mobil Hemat Energi) oleh Ristek DIKTI tahun 2018, Padang, Sumatera Barat dan Perlombaan SEM (Shell Eco Marathon) Asia oleh Shell pada tahun 2019 di Selangor, Malaysia.

Pelatihan yang pernah diikuti penulis : *Emotional Spiritual Quotient* ITS (2016), Pelatihan LKMM Pra TD di Fakultas Teknik Industri ITS (2016), PKTI Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember ITS (2016) Pelatihan LKMM TD di Fakultas Vokasi ITS (2017). Penulis Juga pernah melaksanakan pembuatan bodi mobil listrik Nogogeni di Departemen Desain Produk Pada tahun 2017 dan 2018, juga melaksanakan kerja praktek di PT. Trias Persada Indonesia, untuk Observasi Fabrikasi *Aviation Tank* kapasitas 24000 liter milik PT. Pertamina. Untuk menghubungi penulis, hubungi nomor telpon 08819723238 dan email: ahardiar03@gmail.com