



TUGAS AKHIR - TM 145502

**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**

**MUHAMMAD ADIETYA NUGRAHA
NRP. 1021150000077**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - TM 145502

***ANALYSIS OF EFFECT OF CARBON FIBER
TWILL AND PLAIN CORE WITH CORE
POLYURETHANE RIGID FOAM COMPOSITES
SANDWICH USING VACUUM BAGGING METHOD
IN TREATMENT OF THREE POINT BENDING***

**MUHAMMAD ADIETYA NUGRAHA
NRP. 10211500000077**

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

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocation
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 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

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

Oleh :

Muhammad Adietya Nugraha
NRP. 1021150000077



SURABAYA
JULI 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***

Nama Mahasiswa : Muhammad Adietya Nugraha
NRP : 2115 030 077
Jurusan : D3 Teknik Mesin industri
Fakultas Vokasi ITS
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc

Abstrak

Nogogeni adalah mobil yang dirancang untuk kendaraan hemat energi, ramah lingkungan, efisiensi tinggi. Untuk mencapai rancangan tersebut maka tim harus mereduksi berat pada kendaraan. Salah satu upaya untuk mereduksi berat mobil adalah dengan menggunakan bahan bodi mobil dengan yang lebih ringan, dengan menggunakan bodi yang ringan pada mobil, maka nilai efisiensi yang tinggi akan lebih mudah untuk didapatkan.

Penelitian diawali dengan proses komposit sandwich menggunakan proses hand lay up pada semua lapisan serat dan core. Setelah komposit sandwich tersusun, pasang instalasi vacuum bagging pada lapisan komposit yang telah di hand lay up tadi, setelah itu hubungkan instalasi vacuum bagging tadi dengan pompa vacuum dan nyalakan pompa, tunggu hingga ± 6 jam. Kemudian hasil cetakan yang telah selesai divacuum tadi dipotong menggunakan gerinda tangan dengan variasi sudut 0° , 30° , 45° dan mengacu pada ukuran untuk spesimen bending ASTM C393. Setelah pemotongan selesai dilakukan pengujian bending dengan menggunakan metode three point bending. Foto makro pada setiap spesiemen yang telah diuji bending untuk mengetahui jenis kegagalan pada komposit.

Setelah dilakukan pengujian bending diketahui bahwa data pengujian menghasilkan kekuatan bending sebesar 4,709 MPa, momen bending 8446 Nmm, dan modulus elastisitas 4,5 MPa, facing bending stress 11,297 MPa, core shear ultimate stress 0,207 MPa komposit yang terbaik terdapat pada arah serat 45⁰, model kegagalan komposit sandwich serat karbon fiber dengan core polyurethan akibat pengujian bending (three point bending) berupa micro Buckling dan kegagalan indentation.

Kata kunci : Komposit, Karbon Fiber, Core Polyurethan Rigid Foam, Vacuum Bagging, Uji Bending.

ANALYSIS OF EFFECT OF CARBON FIBER TWILL AND PLAIN CORE WITH CORE POLYURETHANE RIGID FOAM COMPOSITES SANDWICH USING VACUUM BAGGING METHOD IN TREATMENT OF THREE POINT BENDING

Student name : Muhammad Adietya Nugraha
NRP : 2115 030 077
Department : D3 Teknik Mesin industri
Fakultas Vokasi ITS
Final Project Adviser 1 : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc

Abstract

Nogogeni is a car which is designed for energy efficient vehicles, environmentally friendly, high efficiency. To achieve this, the team must reduce the weight on the vehicle. One effort to reduce the weight of the car is to use a lighter material, using a lightweight body on the car, then the high efficiency will be easier to obtain.

The research begins with a sandwich composite process using hand lay up process on all layers of fiber and cores. After the composite sandwich is arranged, install the vacuum bagging installation on the composite layer that has been in the hand lay up, then connect the vacuum bagging installation with the vacuum pump and turn on the pump, wait up to ± 6 hours. Then the finished mold of the vacuum was cut using a hand grinder with angle variation of 0° , 30° , 45° and refers to the size for ASTM C393 bending specimen. After the cutting is done bending test by using the three point bending method. Photo macro on each specimen that has been tested bending to know the type of failure on the composite.

After do bending test data, the bending power is 4,709 MPa, bending moment is 8446 Nmm, and modulus elasticity is 4.5 MPa, facing bending stress is 11,297 MPa, shear stress core is 0.207 Mpa. The best composite variation direction of sandwich material is 45° carbon fiber sandwich with polyurethan core due to bending test (three point bending) in the micro buckling failure and, indentation failure.

*Keywords: Composite, Carbon Fiber, Rigid Polyurethan
Foam Core, Vacuum bagging, Bending test.*

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. **Bapak Ir. Heru Mirmanto, MT., Dr.** selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Industri Vokasi-ITS.
3. **Bapak Ir. Suhariyanto, MT** selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Diploma III Departemen Teknik Mesin Industri Vokasi-ITS.
4. **Para Dosen Penguji** selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
5. **Ayah, Ibu**, yang selalu memberikan dukungan penuh baik secara moral maupun materil. Tanpa do'a dan motivasi penulis tidak bisa menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
6. **Dinda Syifa Sakinah S.T** sebagai Teman yang selalu menjadi motivasi saya untuk terus menyelesaikan tugas akhir ini.
7. **Seluruh Dosen dan Karyawan** yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di D3 Teknik Mesin ITS.
8. **Nindya Sari** atas kerja samanya dalam mengerjakan dan menjadi partner yang baik dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. **Dimas Krisna, Senna Oktovan & Wildan Bagus** yang telah membantu memberikan ide-ide dan membantu dalam praktikum percobaan.

10. **Penghuni Rego Kost** sebagai teman berbagi hari yang menjadi teman menyelesaikan tugas akhir ini.
11. **Tim mobil listrik NOGOGENI** yang berpartisipasi membantu menyelesaikan tugas akhir.
12. **Seluruh teman-teman angkatan 2015** yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terimakasih atas segala kritik dan saran serta motivasi yang telah kalian berikan.
13. 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 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv

BAB I

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

BAB II

DASAR TEORI	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Pengertian Komposit	6
2.3. Klasifikasi Komposit	8
2.4. Pengertian Komposit <i>Sandwich</i>	11
2.5. Fiber	14
2.5.1. <i>Continous Fiber Composite</i>	15
2.5.2. <i>Woven Fiber Composite (bi-directional)</i>	15
2.5.3. <i>Discontinuous Fiber Composite (chopped fiber composite)</i>	15
2.5.4. <i>Hybrid Fiber Composite</i>	16
2.6. <i>Core</i>	21
2.7. Matrik.....	22
2.8. Katalis	24
2.9. Release Agent	24
2.10. Macam-macam Pembuatan Komposit	25
2.11. Pengujian <i>Bending</i> Komposit <i>Sandwich</i>	29

2.12. Pola Kegagalan Komposit <i>Sandwich</i>	32
---	----

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN 35

3.1. Bahan dan alat perlengkapan pengujian	36
3.1.1. Bahan Baku Komposit	36
3.1.2. Bahan Pendukung	37
3.1.3. Bahan Baku Cetakan	38
3.1.4. Alat-alat Penunjang	39
3.2. Penyiapan bahan	39
3.3. Proses Pembuatan Spesimen	41
3.4. Pengujian Spesimen	45
3.4.1. Pengujian <i>Bending</i>	45
3.5. Dimensi Benda Uji	47

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 49

4.1. Hasil Pengujian Eksperimen	49
4.2. Diagram Hasil Pengujian	53
4.2.1. Kekuatan <i>Bending</i>	53
4.2.2. Momen <i>Bending</i>	56
4.2.3. Modulus Elastisitas	58
4.2.4. <i>Facing Bending Stress</i>	62
4.2.5. <i>Core Shear Ultimate Stress</i>	65
4.3 Analisa Makro Model Kegagalan Komposit <i>Sandwich</i> .	68
4.3.1. <i>Micro Buckling</i>	69
4.3.2. <i>Indentation</i>	70

BAB V

PENUTUP 71

5.1. Kesimpulan	71
5.2. Saran	72

DAFTAR PUSTAKA

BIODATA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Pembagian komposit berdasarkan jenis penguatnya	7
Gambar 2.2.	Komposit Partikel	7
Gambar 2.3.	Komposit Serat	8
Gambar 2.4.	Komposit Struktur	9
Gambar 2.5.	Struktur komposit <i>sandwich</i>	14
Gambar 2.6.	Struktur komposit <i>sandwich</i>	15
Gambar 2.7.	Tipe serat pada komposit.	19
Gambar 2.8.	Tipe discontinuous fiber.....	20
Gambar 2.9.	Pola Karbon fiber Twill	28
Gambar 2.10.	Pola Karbon fiber plain	28
Gambar 2.11.	Wax.....	29
Gambar 2.12.	PVA	30
Gambar 2.13.	Proses <i>hand lay-up</i>	30
Gambar 2.14.	Proses <i>Spray-up</i>	30
Gambar 2.15.	Proses <i>Vacuum Bagging</i>	30
Gambar 2.16.	Proses <i>vacuum resin infusion</i>	30
Gambar 2.17.	<i>Three Point Bending method</i>	32
Gambar 2.18.	Dimensi ketebalan komposit <i>sandwich</i>	32
Gambar 2.19.	Pola kegagalan struktur <i>sandwich</i> akibat beban <i>bending</i>	35
Gambar 3.1.	Karbon Fiber Twill	38
Gambar 3.2.	Resin Ripoxy R-802 EX-1	39
Gambar 3.3.	<i>Polyurethane rigid foam</i>	39
Gambar 3.4.	<i>PVA Release Agent</i>	40
Gambar 3.5.	Wax yang digunakan dalam penelitian	41
Gambar 3.6.	Cetakan	42
Gambar 3.7.	Timbangan	43
Gambar 3.8.	Pompa Vakum	47
Gambar 3.9.	Gerinda Tangan	47
Gambar 3.10.	Pemotongan Dengan Sudut 0^0	48
Gambar 3.11.	Pemotongan Dengan Sudut 30^0	49

Gambar 3.12. Pemotongan Dengan Sudut 45^0	50
Gambar 3.13. Mesin “GOTECH GT-7001-LC50	51
Gambar 3.14. Sketsa Dimensi Benda Uji	52
Gambar 4.1. Diagram Kekuatan <i>Bending</i>	58
Gambar 4.2. Diagram Momen <i>Bending</i>	61
Gambar 4.3. Diagram Modulus Elastisitas	64
Gambar 4.4. Diagram Facing <i>Bending Stress</i>	67
Gambar 4.5. Diagram <i>Core Shear Ultimate Stress</i>	70
Gambar 4.6. Kegagalan tipe <i>Micro Buckling</i> pada specimen....	72
Gambar 4.7. Kegagalan tipe <i>Indentation</i> pada spesimen	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat-sifat dari jenis-jenis fiber-glass	22
Tabel 2.2. Spesifikasi serat E-Glass	22
Tabel 2.3. Kelebihan dan Kekurangan Fiber	23
Tabel 4.1. Hasil pengukuran dimensi tiap spesimen	53
Tabel 4.2. Data hasil perhitungan komposisi A	54
Tabel 4.3. Data hasil perhitungan komposisi B	55
Tabel 4.4. Data hasil perhitungan komposisi C	56
Tabel 4.5. Data kekuatan <i>Bending</i> kaji eksperimen	57
Tabel 4.6. Data momen <i>Bending</i> kaji eksperimen	60
Tabel 4.7. Data modulus elastisitas kaji eksperimen	63
Tabel 4.8. Data <i>Facing Bending Stress</i> kaji eksperimen	66
Tabel 4.9. Data <i>Core Shear Ultimate Stress</i> kaji eksperimen.	69
Tabel 4.10. Data jenis kegagalan komposit <i>sandwich</i>	63

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nogogeni adalah mobil riset ramah lingkungan mahasiswa D3 Teknik Mesin Industri yang dirancang untuk mengikuti lomba kendaraan hemat energi, ramah lingkungan, efisiensi tinggi dalam kompetisi nasional maupun internasional. Untuk dapat bersaing dengan peserta-peserta lain yang menggunakan teknologi-teknologi yang diambil dari perkembangan industri otomotif maka tim dituntut untuk selalu mempunyai inovasi dalam hal efisien seperti mereduksi berat. reduksi berat dilakukan karena semakin ringan berat mobil maka kinerja motor penggerak akan semakin ringan juga, hal ini berpengaruh terhadap konsumsi energi yang dibutuhkan juga. Salah satu bagian dari mobil yang masih dapat direduksi massanya adalah bodi kendaraan.

Pada bodi *Nogogeni 3 evo*, bodi kendaraan masih menggunakan bahan kevlar sebagai seratnya dan *honeycomb* sebagai inti corenya. Menurut jurnal yang dikeluarkan oleh *easycomposites.com*, menyatakan bahwa karbon fiber adalah salah satu serat komposit yang memiliki *density* yang lebih ringan dari pada aramid, maupun fiberglass. Selain dari *density* yang lebih ringan, dari segi manufakturnya pun jauh lebih muda untuk di proses dengan menggunakan teknik yang sering digunakan sekarang seperti *vacuum bagging* dan *vacuum autoclave infusion*. Dan Berdasarkan jurnal penelitian yang dikeluarkan oleh *Fiberglass development corporation*, menyatakan bahwa Proses *Vacuum Infusion Bagging* (VIPB) adalah teknik yang menggunakan tekanan vakum untuk menggerakkan resin sebuah laminasi, kami juga memilih teknik *Vacuum Bagging* sebagai teknik yang akan kami gunakan dalam proses pembuatan komposit *sandwich*. Karena teknik *vacuum bagging* juga memiliki kelebihan daripada teknik *hand lay up* seperti menghemat penggunaan resin, meminimalkan berat komposit yang didapat, dan lain-lain. Kami berharap bahwa dengan menggunakan teknik ini, kami dapat

mendapatkan bodi mobil yang lebih ringan daripada yang sebelumnya.

Maka dari itu kami ingin melakukan pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan data kekuatan material yang mana akan digunakan untuk pembuatan bodi kedepannya. 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 Nogogeni generasi selanjutnya. Dengan didaparkannya data yang optimal, pembuatan bodi Nogogeni akan mempengaruhi berkurangnya berat pada mobil guna peningkatan efisiensi pemakaian listrik.

1.2 Rumusan masalah

Permasalahan yang diangkat dalam pembahasan kali ini adalah :

1. Berapa data kekuatan *bending*, momen *bending*, dan modulus elastisitas komposit pada arah serat berbeda yang didapatkan dari pengujian eksperimen.
2. Berapa data *facing bending stress*, *core shear ultimate stress* komposit pada arah serat berbeda yang didapatkan dari pengujian eksperimen.
3. Apa saja pola kegagalan akibat beban *bending* yang terjadi pada struktur komposit *sandwich* karbon fiber dengan *core polyurethan rigid foam*

1.3 Tujuan penelitian

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

1. Mengetahui data kekuatan *bending*, momen *bending* dan modulus elastisitas komposit *sandwich* pada arah serat berbeda yang didapatkan dari pengujian eksperimen.

2. Mengetahui data *facing bending stress*, *core shear ultimate stress* komposit pada arah serat berbeda yang didapatkan dari pengujian eksperimen.
3. Mengetahui pola kegagalan akibat beban *bending* yang terjadi pada struktur komposit *sandwich* karbon fiber dengan *core polyurethan rigid foam*

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini nantinya sebagai berikut :

1. Mendapatkan data kekuatan Bending dan modulus elastisitas komposit *sandwich*.
2. Mengetahui komposisi yang paling optimal dari variasi sudut dan arah dari komposit karbon fiber
3. Dapat dijadikan dasar atau pertimbangan dalam pemilihan dan pembuatan bahan bodi mobil listrik Nogogeni.

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
 - Karbon fiber Plain
 - Matrix resin karbon fiber
 - *Core polyurethan rigid foam*
2. Variasi arah komposit sebagai berikut :

Arah Serat

 - arah serat 0^0
 - arah serat 30^0
 - arah serat 45^0
 - Core polyurethane rigid foam tebal 14 mm untuk semua komposisi komposit

3. Pengujian komposit berupa uji *bending* (standard ASTM C-393)
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

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Perdana (2016), melakukan pengujian kekuatan bending berpenguat serat e-glass dengan variasi sudut 0° , 30° , 45° dengan core polyurethane rigid foam, pembuatan komposit dengan metode hand lay up. Diperoleh kekuatan bending tertinggi pada komposit dengan sudut serat 0° yaitu 1,33 MPa, dengan momen bending 17845,4 Nmm dan core shear ultimate stress 0,099 Mpa.

Ardiyanto (2014), menjelaskan bahwa metode hand lay up masih kurang maksimal dikarenakan pada proses ini menyebabkan spesimen menjadi kotor dan dimensi sulit dijaga akurasi. Masih terdapat void pada spesimen yang menyebabkan penyebaran serat tidak merata sehingga dihasilkan kekakuan dan kekuatan yang tidak cukup tinggi. Maka perlu adanya upgrade metode yang lebih modern dalam proses pembuatannya.

Febriyanto (2011), melakukan penelitian tentang bahan uji komposit sandwich. Material komposit sandwich yang dibuat menggunakan metode VARI dengan material inti berupa PU-foam dan material kulit berupa E-glass memiliki kekuatan tarik dengan nilai kuat tarik rata-rata berkisar antara 7 sampai 30 MPa dan nilai kuat tekan rata-rata berkisar antara 4 sampai 6 MPa. Nilai dari kekuatan mekanik ini merupakan nilai-nilai yang cukup tinggi untuk diaplikasikan pada pembuatan komponen kapal bersayap. Penggunaan material PU-foam ternyata dapat meningkatkan stabilitas dari material komposit sandwich, kuat tarik dan tekan lebih baik, serta tahanan geser yang dapat dirancang sedemikian rupa sesuai kebutuhan.

Adietya (2018), Ditinjau dari penelitian yang telah dilakukan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa kekuatan bending dipengaruhi oleh adanya variasi sudut serat. Maka

berdasarkan penelitian sebelumnya,peneliti melakukan pengembangan metode pembuatan, yaitu dengan teknik *Vacuum Bagging* pada proses pembuatan komposit. Pemilihan metode *Vacuum Bagging* dipilih karena, metode ini tergolong pembuatan komposit yang modern dan berbeda dengan *Hand Lay Up*. Sedangkan untuk bahannya, peneliti memilih karbon fiber *Twill dan Plain*, hal ini dikarenakan peneliti ingin melakukan pengujian bahan pada bodi Nogogeni dengan menggunakan serat karbon fiber *Twill dan Plain* dan menggunakan Polyurethan rigid foam sebagai bahan core pengisi komposit *sandwich* tersebut. Hal ini dikarenakan dengan penggunaan core polyurethane rigid foam yang mempunyai sifat cukup ringan.kemudian peneliti melakukan pengujian *three point bending* dengan sudut 0° , 30° , 45° pada komposit *sandwich* yang telah dibuat tadi.dan kemudian melakukan analisa kegagalan foto makro pada spesimen.

2.2 Pengertian Komposit

Komposit (atau komposit) adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Pada bahan komposit, sifat-sifat unsur pembentukannya masih terlihat jelas, yang pada paduan sudah tidak lagi nampak secara nyata. Hal ini menjadi keunggulan bahan komposit karena menggabungkan sifat- sifat unggul dari masing - masing unsur pembentuknya. Penggabungan material yang berbeda bertujuan untuk menemukan material baru yang mempunyai sifat antara material penyusunnya yang tidak akan diperoleh jika material penyusunnya berdiri sendiri.

Pada umumnya bahan komposit terdiri dari dua unsur, yaitu:

1. Penguat (*reinforcement*),

Penguat (*reinforcement*) memiliki fungsi utama dalam hal pembentukan sifat – sifat mekanik yang nantinya akan dimiliki oleh komposit tersebut. Karena *reinforcement* lah yang menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada suatu komposit. Karena itu untuk bahan *reinforcement* digunakan bahan yang kuat dan getas, seperti karbon, glass, dan boron.

2. Matrik

Matrik adalah salah satu komponen dari komposit seperti halnya penguat (*reinforcement*) namun memiliki sifat yang berbeda. Perbedaan sifat ini yang akan menghasilkan sifat mekanik dari komposit tersebut. Berbeda dengan *reinforcement* yang berfungsi untuk menahan gaya, matrik memiliki fungsi untuk mengikat dan melindungi partikel *reinforcement* agar dapat bekerja dengan baik. Maka dari itu matrik dipilih dari bahan-bahan yang tergolong lunak seperti plastik dan logam-logam lunak seperti alumunium, tembaga, dan lain sebagainya.

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

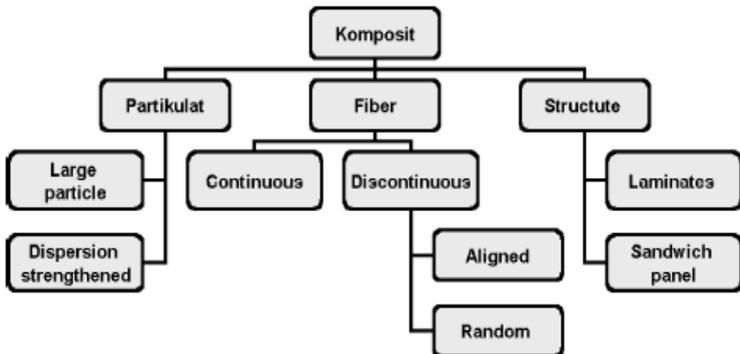
Dewasa ini, komposit sering digunakan untuk bahan – bahan industri otomotif, kedirgantaraan, maupun aerospace, dan masih banyak lagi, hal ini dikarenakan komposit memiliki kekuatan tarik yang hampir sama dengan logam – logam lain, namun memiliki berat yang jauh lebih ringan daripada logam tersebut.

2.3 Klasifikasi Komposit

Sifat fisik dan mekanik material komposit tergantung pada sifat, geometri, dan komposisi unsur pokok. Menaikkan volume unsur penguat (*reinforcement*) dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan dari suatu komposit. Jika volume unsur penguat terlalu tinggi, maka tidak akan ada cukup matrik untuk memisahkan unsur penguat.

Demikian pula dengan perbandingan geometri dari tiap unsur penguat dan campuran unsur penguat dalam matrik dapat mempengaruhi kinerja dari material komposit secara signifikan.

Adapun pembagian komposit berdasarkan penguatnya dapat dilihat dari Gambar dibawah.

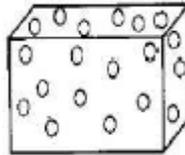


Gambar 2.1 Pembagian komposit berdasarkan jenis penguatnya

Berdasarkan pembagian komposit berdasarkan jenis penguatnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. *Particulate composite*, penguatnya berbentuk partikel

Komposit partikel terdiri dari matrik yang berukuran kecil dengan bentuk butir. Skema komposit partikel dapat dilihat seperti gambar berikut:



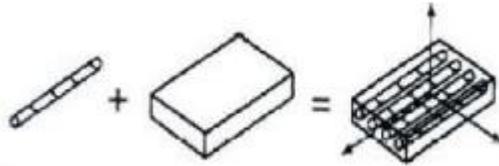
Gambar 2.2. Komposit Partikel

Menurut Mahayatra, dkk, (2013: 14) komposit partikel merupakan komposit yang mengandung bahan penguat berbentuk serbuk. Sifat-sifat komposit partikel dipengaruhi beberapa faktor yaitu ukuran dan bentuk partikel, bahan partikel, rasio perbandingan antara partikel, dan jenis matrik.

Keunggulan komposit polimer yang menggunakan partikel antara lain dapat meningkatkan sifat fisis material seperti kekuatan mekanis, dan *modulus elastisitas*, serta kekuatan komposit lebih homogen (merata). Keuntungan lain dari komposit yang disusun oleh *reinforcement* berbentuk partikel adalah:

1. Kekuatan lebih seragam pada berbagai arah.

2. Dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan material.
 3. Cara penguatan dan pengerasan oleh partikular adalah dengan menghalangi pergerakan dislokasi.
- b. *Fibre composite*, penguatnya berbentuk serat
 Skema komposit dengan serat sebagai penguatnya dapat kita lihat pada gambar berikut:



Gambar 2.3. Komposit Serat.

Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan oleh serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum, oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan *modulus elastisitas* yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Fiber yang digunakan harus memiliki syarat sebagai berikut:

- 1) Mempunyai diameter yang lebih kecil dari diameter bulknya (matriksnya) namun harus lebih kuat dari bulknya.
 - 2) Harus mempunyai *tensile strength* yang tinggi.
- c. *Structural composite*, cara penggabungan material komposit



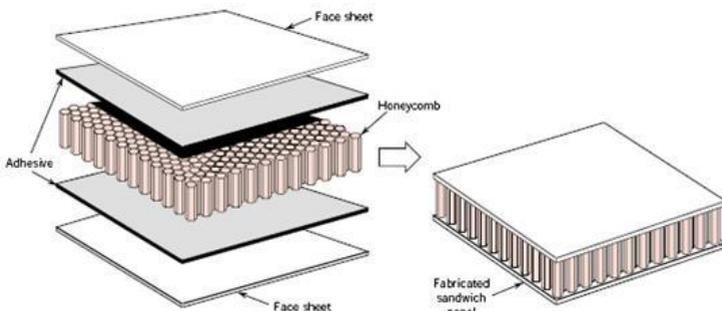
Gambar 2.4. Komposit Struktur

Komposit struktural dibentuk oleh *reinforce-reinforce* yang memiliki bentuk lembaran-lembaran. Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur *laminata* 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 ini menjadi *laminata* dinamakan proses *laminasi*. Sebagai elemen sebuah struktur, lamina yang serat penguatnya searah saja (*unidirectional lamina*) pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Untuk itulah struktur komposit dibuat dalam bentuk *laminata* yang terdiri dari beberapa macam lamina atau lapisan yang diorientasikan dalam arah yang diinginkan dan digabungkan bersama sebagai sebuah unit struktur. dan struktur *sandwich*.

2.4 Pengertian 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 material inti (*core*) di bagian tengahnya (berada di antaranya). *Core* yang biasa dipakai adalah *core* import, seperti polyuretan (PU), *polyvinyl Chlorida* (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 2.5. 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:

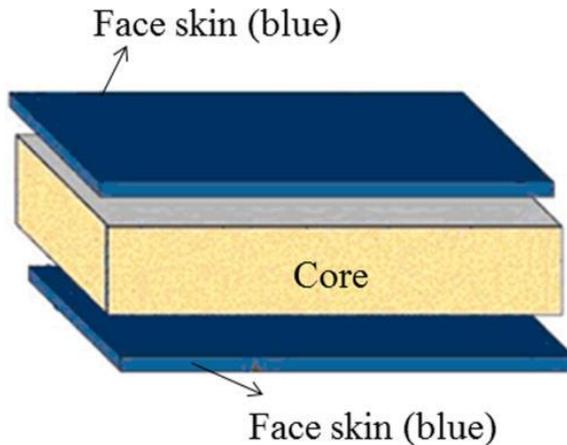
Pilihan *core* yang ringan atau struktur diperluas dari bahan *high density* menurunkan densitas keseluruhan dari komposit *sandwich*. Volume *core* jauh lebih tinggi pada komposit *sandwich* dibandingkan dengan volume *skin* sehingga setiap penurunan kepadatan bahan *core* memiliki dampak yang signifikan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



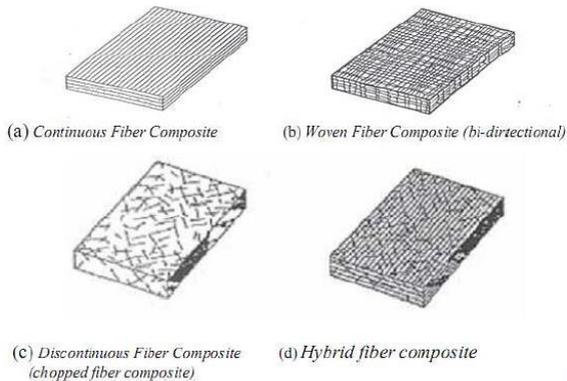
Gambar 2.6. Struktur komposit sandwich

2.5 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 2.7. Tipe serat pada komposit

2.4.1 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.

2.4.2 Woven Fiber Composite (bi-directional)

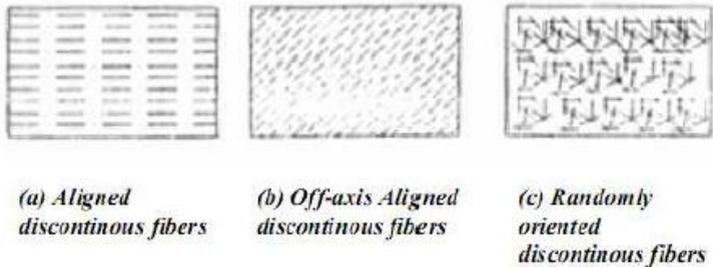
Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe continuous fiber.

2.4.3 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.



Gambar 2.8. Tipe discontinuous fiber

2.4.4 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.

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*)

Jenis-jenisnya antara lain :

1. E-glass
2. C-glass
3. S-glass

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

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

Tabel 2.2 Spesifikasi serat E-Glass

Sifat mekanis	Satuan	Nilai
Berat Jenis	gram/cm ³	2.5
Modulus Elastisitas (E)	Gpa	7.3
Kekuatan tarik statis	Mpa	350
Elongation	%	4.8

Sumber : Autar K. Kaw, *Mechanic of Composite Material*

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) Fiber-carbon

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.

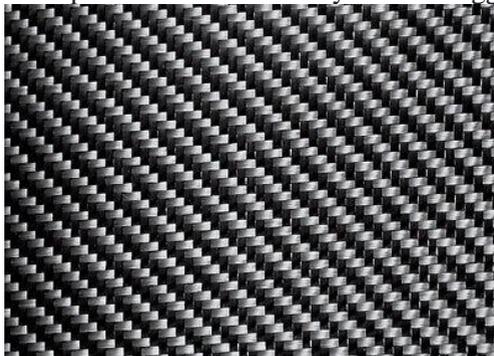
Kerugian dari penggunaan fiber-glass yaitu sebagai berikut :

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

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

1. Karbon fiber twill

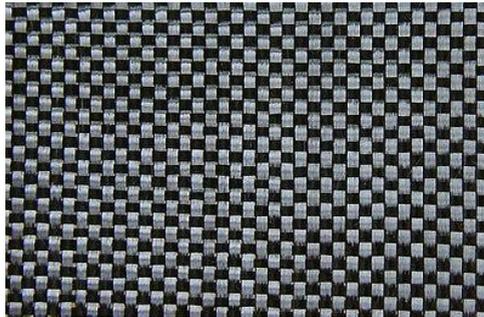
Pola twill terlihat lebih modern dari pola plain 1x1. Pola paling populer yang digunakan banyak pabrik serat karbon untuk membuat rincian. 2x2 Twill banyak digunakan dalam imitasi juga. Pola ini memiliki bentuk yang elastis dan baik untuk digunakan dengan bentuk kompleks karena tenunannya lebih longgar



Gambar 2.9. Pola karbon fiber 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 2.10. pola karbon fiber plain

Tabel 2.3 Kelebihan dan Kekurangan Fiber

Fiber	Kelebihan	Kekurangan
Fiber-glass	<ol style="list-style-type: none">1. Kekuatan tinggi2. Relatif murah	Kurang elastis
Fiber-carbon	<ol style="list-style-type: none">1. Kuat hingga sangat kuat2. Stiffness(kuat+keras) besar3. Koefisien pemuaian kecil4. Menahan getaran	<ol style="list-style-type: none">1. Agak getas2. Nilai peregangannya kurang3. Agak mahal
Fiber-graphite	<ol style="list-style-type: none">1. Lebih stiffness dari Carbon2. Lebih ulet	Kurang kuat dibanding Carbon
Fiber-nylon(aramid)	<ol style="list-style-type: none">1. Agak stiff (kuat+keras) & sangat ulet2. Tahan terhadap benturan3. Kekuatannya besar (lebih kuat dari baja)4. Lebih murah dari carbon	<ol style="list-style-type: none">1. Kekutan tekan lebih rendah dari carbon2. 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) Meningkatkan 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

2.6 Core

Core adalah salah satu bahan yang menjadi bagian dari komposit *sandwich*. *Core* dibuat dengan bahan yang memiliki densitas tinggi seperti aluminium, titanium dan berbagai polimer. *Core* memiliki 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. Bahan *core* diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Low density bahan padat:
Busa sel terbuka dan tertutup terstruktur, balsa dan jenis-jenis kayu.
2. Expanded high-density
Bahan dalam bentuk seluler: *honeycomb*, inti web.
3. Expanded high-density
Bahan dalam bentuk bergelombang: truss, lembaran bergelombang, seperti kertas kardus dan lain-lain.

2.7 Matrik

Menurut *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). Menurut *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. 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 :

a. 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.

b. 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 1650 C.

c. Karet

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

d. Matrik logam

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

e. 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.

2.8 Katalis

Katalis merupakan bahan kimia yang ditambahkan pada matrik resin yang bertujuan untuk proses pembekuan matrik. *Katalis* adalah suatu zat yang mempercepat laju 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).

2.9 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 :

2.8.1 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 2.11 wax

2.8.2 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 2.12. PVA

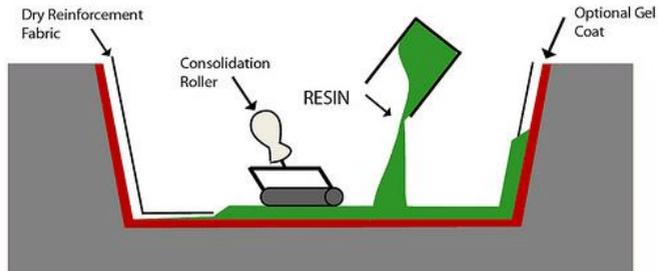
2.10 Macam – macam pembuatan komposit

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 2.13 Proses *hand lay-up*

Keuntungan *hand lay-up* :

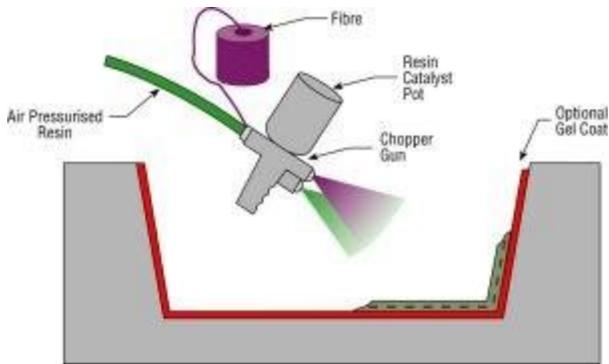
- Membutuhkan peralatan yang sedikit
- Dapat mengatur ketebalan dan komposisi serat sesuai yang dibutuhkan

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 kompresor. 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 kompresor.



Gambar 2.14 Proses *spray up*

Keuntungan *spray up* :

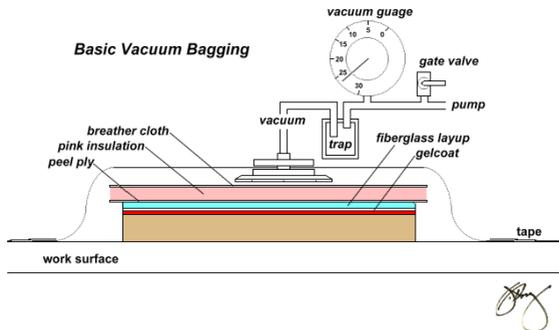
- Cocok untuk desain produk yang rumit
- Dapat mengatur ketebalan komposisi yang disemprotkan sesuai dengan yang dibutuhkan

Kekurangan *spray up* :

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

C. *Vacuum bagging*

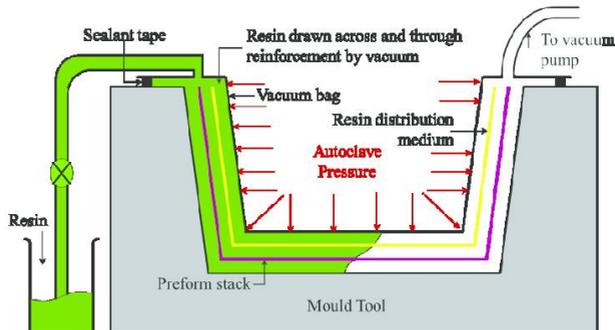
Vacuum bagging adalah salah satu perkembangan terbaru dalam hal proses manufaktur komposit. Hal ini dikarenakan pada proses ini sudah menggunakan peralatan dalam hal manufaktur. Jika dibandingkan dengan *hand lay-up* dan *spray gun* yang masih menggunakan tenaga dan skill manusia dalam hal manufaktur,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



Gambar 2.15. 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 2.16. 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

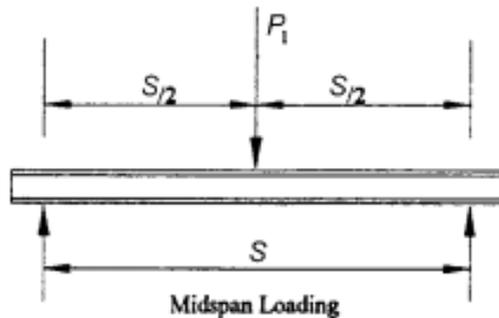
Kekurangan *vacuum resin infusion* :

- Memerlukan biaya yang mahal
- Membutuhkan banyak peralatan pendukung

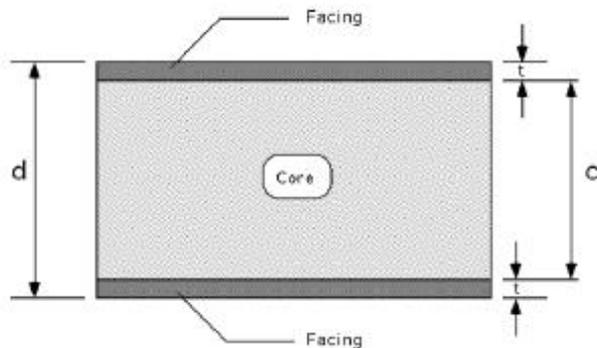
2.11 Pengujian Bending komposit *Sandwich*

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. Penampang patahan spesimen uji dilakukan foto makro untuk mengidentifikasi pola keagalannya.



Gambar 2.17. *Three point bending method*



Gambar 2.16 Dimensi ketebalan komposit *sandwich*

Akibat pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami tekanan dan bagian bawahnya mengalami tarikan.

Pada komposit laminat GFRP, kekuatan *bending*-nya dapat dirumuskan (ASTM D 790-99):

$$\sigma_b = \frac{3PS}{2bd^2} \dots\dots\dots(1)$$

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:

$$M = P \times \frac{S}{4} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan catatan :

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

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

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

$$\sigma = \frac{PS}{2t(d+c)b} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan catatan :

σ	= kekuatan <i>skin</i>	(MPa)
P	= beban	(N)
d	= tebal <i>sandwich</i>	(mm)
c	= tebal <i>core</i>	(mm)
t	= tebal <i>skin</i>	(mm)
S	= panjang span	(mm)
b	= lebar <i>sandwich</i>	(mm)

- Tegangan geser *core* komposit *sandwich* (ASTM C393)

$$\tau = \frac{P}{(d+c)b} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan catatan :

τ	= tegangan geser <i>core</i>	(MPa)
d	= tebal <i>sandwich</i>	(mm)
c	= tebal <i>core</i>	(mm)
b	= lebar <i>sandwich</i>	(mm)

2.12 Pola kegagalan komposit *Sandwich*

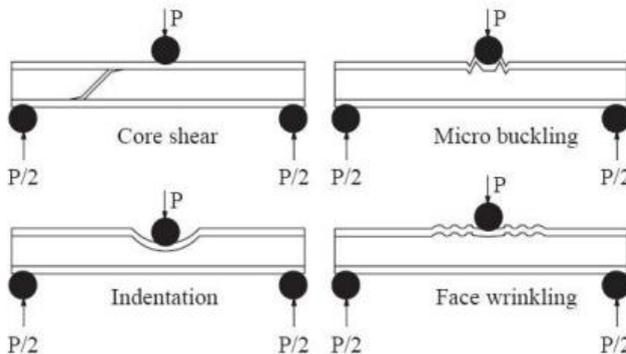
Pola kegagalan komposit *sandwich* yang mengalami beban *bending* (three/four point *bending*) biasanya berupa :

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

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*.

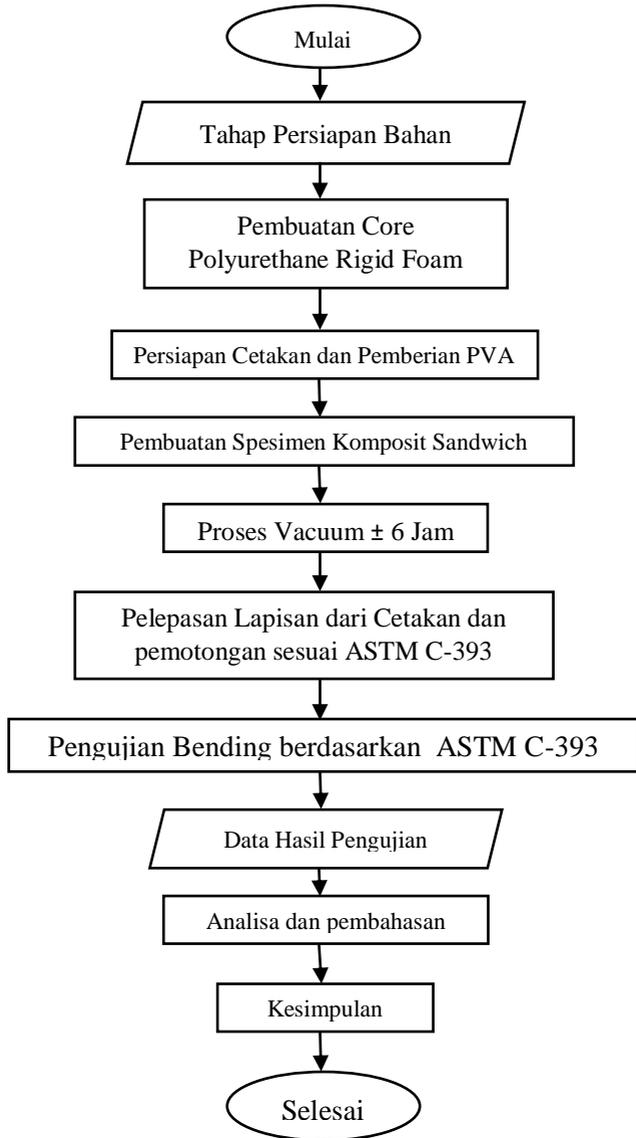
Kerusakan penampang komposit *sandwich* sangat dipengaruhi oleh sifat mekanis *skin* dan *core* dimana harus ada faktor-faktor penting yang diperhatikan. Peta mekanisme kegagalan komposit *sandwich* ditunjukkan pada gambar.



Gambar 2.19. Pola kegagalan struktur *sandwich* akibat beban *bending*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODELOGI



3.1 Bahan dan Alat Perlengkapan Pengujian

3.1.1 Bahan Baku Komposit

a. Serat

Pada pengujian ini, serat yang digunakan yaitu serat Carbon Fiber Twill.



Gambar 3.1 Karbon Fiber Twill

b. Matrik

Matrik yang digunakan Resin karbon Fiber dengan bahan tambahan Katalis sebagai pengeras resin dengan takaran 3 : 1 sesuai dengan petunjuk aturan pakai resin Ripoxy R-802 EX-1



Gambar 3.2 Resin Ripoxy R-802 EX-1

c. Core Polyurethane rigid foam



Gambar 3.3. *Polyurethane rigid foam*

3.1.2 Bahan Pendukung

a. PVA Release Agent

melapisi cetakan dengan cara membentuk lapisan karet kedap udara pada sisi antara cetakan dengan material produk sehingga resin yang di vacuumkan tidak menempel pada cetakan.



Gambar 3.4. *PVA Release Agent*

b. Wax

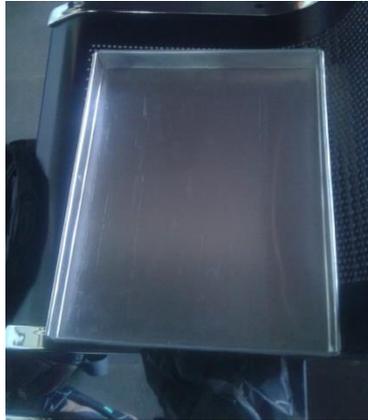
Berfungsi untuk melapisi cetakan agar pada saat proses curing, komposit tidak melekat pada cetakan sehingga pada waktu material telah terbentuk, material dapat dikeluarkan dari cetakan dengan mudah.



Gambar 3.5. Wax yang digunakan dalam penelitian

3.1.3 Bahan Baku Cetakan

Pada proses pembuatan kali ini kami menggunakan loyang yang biasanya digunakan untuk membuat roti sebagai meja kerja, hal ini dikarenakan kami membutuhkan meja kerja yang datar dan halus.



Gambar 3.6. Cetakan

3.1.4 Alat-alat Penunjang

A. Timbangan

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat dari karbon fiber dan juga resin yang akan di inputkan. Disamping itu akan digunakan untuk menimbang keperluan katalis sesuai petunjuk yang tertera pada kaleng resin.



Gambar 3.7. Timbangan

B. Pompa Vakum

Pompa vakum digunakan untuk menyedot resin yang di injekkan kedalam serat.



Gambar 3.8. Pompa Vakum

C. Gerinda Pemotong

Gerinda pemotong digunakan untuk memotong komposit menjadi spesimen dan untuk menghaluskan permukaan bekas potongan digunakan amplas.



Gambar 3.9. Gerinda Tangan

D. Alat-alat Penunjang

Alat-alat yang digunakan untuk mempermudah proses pembuatan material ini adalah:

- a. Gunting besi
- b. Jangka sorong
- c. Penggaris
- d. Sarung tangan
- e. Gelas plastik
- f. Kain lap
- g. Sealant Tape
- h. Peel Ply
- i. Bagging Film
- j. Catchpot
- k. Selang vacuum PVC 12mm

3.2 Penyiapan bahan

1. Menyiapkan Karbon Fiber Plain, Karbon Fiber Twill, dan *Core Polyurethane rigid foam* dengan dimensi sesuai yang diinginkan.
2. Menimbang resin dan katalis yang akan digunakan dalam proses pembuatan Spesimen
3. Mempersiapkan cetakan yang datar dan halus, lapiasi cetakan menggunakan wax dan PVA bergantian secara merata.
4. Menyiapkan peralatan vacuum bagging seperti ; *bagging film, sealant tape, peel ply*, kain dakron, *port*, Selang vakum, *catch pot*, pompa vakum.
5. Buat *core Polyurethane rigid foam* dengan cara mencampur komponen A dan komponen B lalu aduk hingga tercampur rata
6. Setelah tercampur rata, tuang cairan tadi kedalam cetakan yang telah disiapkan dan kemudian tutup cetakan dengan benda yang berat dan tunggu selama 20 menit

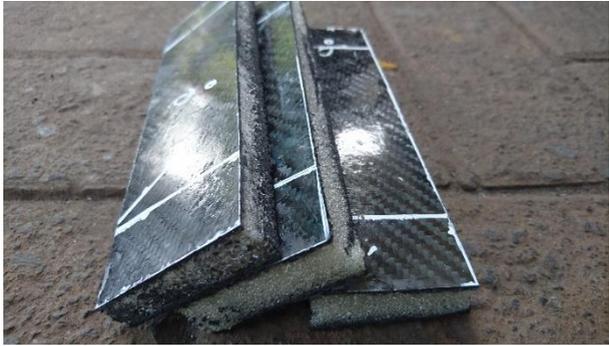
7. Setelah *polyurethane* mengeras, potong *Polyurethane rigid foam* dengan dimensi 40×40×14 mm

3.3 Proses Pembuatan spesimen

1. Pertama, Tata Karbon Fiber *twill* pada cetakan, kemudian lapiasi dengan resin yang telah dicampur oleh katalis secukupnya.
2. Setelah itu, tata Karbon Fiber *Plain* pada bagian atas karbon fiber *Twill* sebagai lapisan kedua. Setelah itu oleskan resin secukupnya pada lapisan kedua ini.
3. Selanjutnya, taruh *Polyurethane rigid foam* yang sudah dipotong pada lapisan selanjutnya sebagai core. Setelah *Polyurethane rigid foam* ditata, maka selanjutnya taruh karbon fiber *plain* pada bagian atas *Polyurethane rigid foam* tadi dan kemudian oleskan resin secukupnya.
4. Setelah lapisan ketiga sudah ditata selanjutnya, tata karbon fiber *twill* sebagai lapisan keempat pada bagian atas karbon fiber *plain* dan oleskan secukupnya.
5. Setelah lapisan sandwich tertata rapi, tempelkan sealant tape (penyekat udara) di daerah sisi cetakan.
6. Setelah *sealant tape* tertata rapi, Tutupi dengan peel ply pada bagian atas lapisan *sandwich*, dan dilanjut dengan kain dacron pada bagian atas *peel ply*.
7. Langkah yang terakhir adalah pemasangan *bagging film* sebagai lapisan terakhir yang berfungsi untuk menahan udara luar untuk tidak masuk ke daerah vakum. Cara pemasangan ini dilakukan dengan cara merekatkan bagian pinggir *bagging film* yang sudah dipotong tadi dengan *sealant tape* yang sudah ditata rapi mengelilingi lapisan *sandwich*.
8. sebelum semua lapisan tertutup rapat dan kedap udara, taruh port pada bagian tengah *sandwich*. fungsi *port* sendiri adalah sebagai konektor antara selang *catchpot* dengan specimen yang siap untuk di vakum. Ketika port sudah ditaruh ditengah, barulah kita bisa merekatkan

seluruh *bagging film* dengan *sealant tape* yang telah di tata tadi.

9. Langkah selanjutnya adalah menghubungkan specimen yang siap untuk divakum tadi dengan selang yang terhubung oleh *catchpot* dan pompa vakum. Setelah selang terhubung, bungkus pinggiran selang dengan *sealant tape* hingga tidak ada rongga yang bisa menyebabkan kebocoran ruang vakum.
10. Setelah selang instalasi terpasang dengan *catchpot* kemudian hidupkan pompa vacuum.
11. Kemudian setelah pompa dinyalakan, cek pada semua instalasi yang dipasang dengan cara melihat angka tekanan pada *vacuum gauge* yang ada pada *catchpot* apakah ada kebocoran atau tidak.
12. Jika tidak ada kebocoran maka, biarkan pompa vakum bekerja selama enam jam untuk menyedot resin yang berlebihan pada spesimen
13. Setelah proses vacuum berjalan enam jam, maka matikan pompa dan diamkan specimen selama 1 hari untuk memastikan resin mengering sempurna pada lapisan sandwich, setelah kering dan mengeras selanjutnya ambil dan lepas lapisan sandwich dari cetakan.
14. Lalu lakukan pemotongan dengan menggunakan gerinda kecepatan tinggi untuk dibuat spesimen yang berukuran sesuai standar ASTM C-393 untuk pengujian bending dengan variasi arah sudut 0°, 30°, 45°.



Gambar 3.10. Pemotongan dengan sudut 0°



Gambar 3.11. Pemotongan dengan sudut 30°



Gambar 3.12. Pemotongan dengan sudut 45°

3.4 Pengujian Spesimen

3.4.1 Pengujian Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui besarnya kekuatan bending dari bahan komposit. Proses pengujian bending dilakukan di laboratorium logam di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri ITS dengan menggunakan mesin uji “Universal Testing Machine” GOTECH GT-7001-LC50. Standar yang digunakan pada pengujian tarik yaitu ASTM C-393.



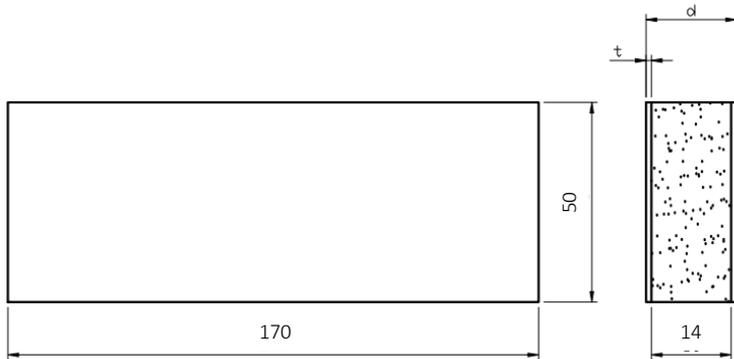
Gambar 3.13 Mesin “GOTECH GT-7001-LC50”

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

- a. *Support Nose*. Bagian ini berfungsi sebagai tumpuan. Sesuai dengan ketentuan pada ASTM C393, jarak *span* pada *support nose* harus berjarak 50 mm lebih pendek dari panjang total spesimen.
- b. *Load Nose*. Bagian ini berfungsi sebagai pemberi gaya atau pembebanan hingga spesimen mengalami gagal atau patah.

3.5 Dimensi Benda Uji

Benda uji menggunakan standard ukuran ASTM C393



Gambar 3.14. Sketsa Dimensi Benda Uji

Keterangan :

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

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Eksperimen

Hasil dari pengukuran tiap spesimen sebelum dilakukan pengujian *bending* yang kemudian dilakukan perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.1. Hasil pengukuran dimensi tiap spesimen

Kode Spesimen	S (mm)	b (mm)	d (mm)	c (mm)	t (mm)
A1	120,4	50,1	13,6	11,6	1
A2	120,5	50,4	14,5	12,3	1,1
A3	120,4	49,8	15,9	13,9	1
B1	120,5	50,6	13,9	11,9	1
B2	120,4	50,9	13,8	11,6	1,1
B3	120,3	51,4	13,9	11,9	1
C1	120,5	49,9	14,8	12,6	1,1
C2	120,4	49,8	14,9	12,7	1,1
C3	120,5	50,9	14,2	12	1,1

*Rata-rata pengukuran pada 10 titik.

Dari hasil pengujian bending dengan beban maksimal yang digunakan sebesar 100000 kgf yang dilakukan maka diperoleh data yang kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut,

- A. Komposisi Resin Ripoxy R-802 EX-1 dan karbon fiber tipe Twill dan tipe Plain dengan sudut 0°

Dari perhitungan diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4.2.a Data Hasil Perhitungan Komposisi A

KODE BAHAN	P (N)	σ_b (MPa)	M (Nmm)	E (MPa)
A1	224,1	4,368	6745,410	3,6
A2	155,0	2,644	4669,375	2,5
A3	234,3	3,361	7052,430	3,7

Keterangan :

σ_b = Kekuatan *bending* (MPa)

M = Momen *bending* (Nmm)

P = Maksimum load (N)

E = Modulus Elastisitas (MPa)

Tabel 4.2.b Data Hasil Perhitungan Komposisi A

KODE BAHAN	P (N)	σ (MPa)	τ (MPa)
A1	224,1	10,686	0,177
A2	155,0	6,285	0,114
A3	234,3	9,504	0,157

Keterangan :

P = Maksimum load (N)

σ = Facing Bending Stress (MPa)

τ = Core Shear Ultimate Stress (MPa)

- B. Komposisi Resin Ripoxy R-802 EX-1 dan karbon fiber tipe Twill dan tipe Plain dengan sudut 30⁰

Dari perhitungan didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.3.a Data Hasil Perhitungan Komposisi B

KODE BAHAN	P (N)	σ_b (MPa)	M (Nmm)	E (MPa)
B1	248,2	4,589	7477,025	4
B2	236	4,397	7103,600	3,8
B3	255,1	4,635	7672,133	4,1

Keterangan :

σ_b = Kekuatan *bending* (MPa)

M = Momen *bending* (Nmm)

P = Maksimum load (N)

E = Modulus Elastisitas (MPa)

Tabel 4.3.b Data Hasil Perhitungan Komposisi B

KODE BAHAN	P (N)	σ (MPa)	τ (MPa)
B1	248,2	11,455	0,190
B2	236	9,990	0,182
B3	255,1	11,571	0,192

Keterangan :

σ = Facing Bending Stress (MPa)

τ = Core Shear Ultimate Stress (MPa)

C. Komposisi Resin Ripoxy R-802 EX-1 dan karbon fiber tipe Twill dan tipe Plain dengan sudut 45⁰

Dari perhitungan diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4.4.a. Data Hasil Perhitungan Komposisi C

KODE BAHAN	P (N)	σ_b (MPa)	M (Nmm)	E (MPa)
C1	294,2	4,865	8862,775	4,7
C2	293,1	4,788	8822,310	4,7
C3	257,3	4,531	7751,163	4,1

Keterangan :

σ_b = Kekuatan *bending* (MPa)

M = Momen *bending* (Nmm)

P = Maksimum load (N)

E = Modulus Elastisitas (MPa)

Tabel 4.4.b Data Hasil Perhitungan Komposisi C

KODE BAHAN	P (N)	σ (MPa)	τ (MPa)
C1	294,2	11,786	0,215
C2	293,1	11,670	0,213
C3	257,3	10,568	0,192

Keterangan :

σ = Facing Bending Stress (MPa)

τ = Core Shear Ultimate Stress (MPa)

4.2 Diagram Hasil Pengujian

4.2.1 Kekuatan *bending*

Setelah dilakukan perhitungan dalam pembahasan sebelumnya, didapatkan data sebagai berikut :

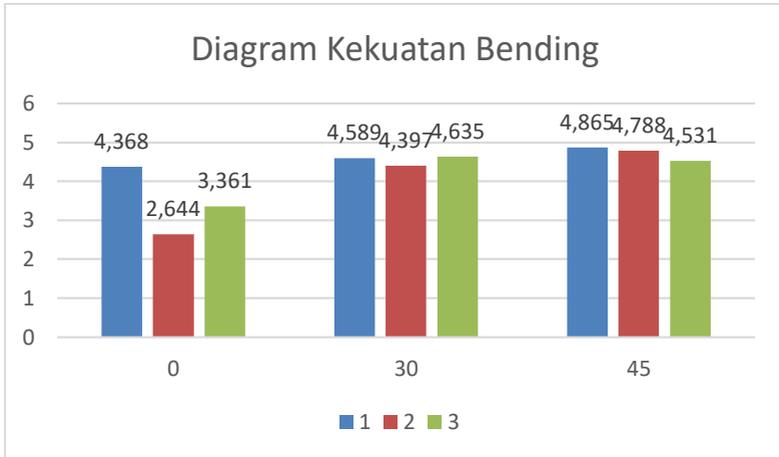
Tabel 4.5. Data Kekuatan *Bending* Kaji Eksperimen

N O	ARAH	BAHAN	TOTAL MASSA	σ_b (MPa)
1	0 ⁰	A1	45 gr	4,368
		A2	43 gr	2,644
		A3	40 gr	3,361
2	30 ⁰	B1	40 gr	4,589
		B2	43 gr	4,397
		B3	40 gr	4,635
3	45 ⁰	C1	40 gr	4,865
		C2	40 gr	4,788
		C3	40 gr	4,531

*data dengan simpangan terjauh tidak diikutkan dalam perhitungan rata-rata

Dari tabel 4.4 data Kekuatan *bending* tersebut, dapat dihasilkan beberapa diagram, diantaranya diagram berdasarkan fraksi volume dan diagram berdasarkan arah serat.

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



Gambar 4.1. Diagram Kekuatan *Bending*

Arah serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

- 0° : Arah Serat 0°
- 30° : Arah Serat 30°
- 45° : Arah Serat 45°

Diagram menunjukan bahwa:

- Tegangan Bending arah serat 0° dilakukan 3 kali percobaan yaitu A1, A2, dan A3 mempunyai massa yang berbeda dikarenakan dimensi aktual yang terdapat perbedaan dan ketebalan core yang berbeda. Pada grafik terdapat penurunan pada A2 disebabkan oleh terdapatnya cacat yang terjadi pada benda uji A2 yaitu terjadi penyerapan resin yang berlebih pada bagian tengah spesimen sehingga pada bagian tersebut terasa sedikit lunak yang mengakibatkan kekuatan bending tidak sempurna. Untuk hasil percobaan A1 dan A3 juga memiliki hasil yang terpaut jauh sehingga dari ketiga hasil percobaan

memiliki hasil tertinggi 4,353 Mpa pada A1 dengan massa 45 gr

- Tegangan bending arah serat 30⁰ dilakukan 3 kali percobaan yaitu B1, B2, dan B3 mempunyai massa yang sama pada spesimen B1 dan B3, sedang untuk spesimen B2 memiliki massa yang berbeda. Untuk percobaan ini terlihat pada grafik bahwa spesimen B2 memiliki nilai Tegangan bending paling rendah diantara ketiga spesimen tersebut. Dari ketiga hasil percobaan yang memiliki perbedaan hasil paling jauh adalah spesimen B2, sedangkan B1 dan B3 memiliki nilai yang terpaut tidak jauh. Dan hasil percobaan tertinggi yaitu 4,623 Mpa pada B3 dengan massa 40 gr
- Tegangan Bending arah serat 45⁰ dilakukan 3 kali percobaan yaitu C1, C2, dan C3 mempunyai massa yang sama yaitu 40 gr. Untuk spesimen C1 dan C2 memiliki hasil yang tidak jauh beda, namun hal ini berbanding terbalik dengan spesimen C3 yang memiliki nilai terendah dan terpaut agak jauh dari C1 dan C2, hal ini diasumsikan bahwa spesimen C3 memiliki kerapatan core yang berbeda dari C1 dan C2. Dari ketiga hasil percobaan memiliki hasil tertinggi 4,844 Mpa pada C1 dengan massa 40 gr
- Kesimpulan yang dapat diambil dari grafik 4.1 adalah dengan teknik Vacuum bagging pada proses pembuatan spesimen menunjukkan bahwa hasil pengujian eksperimen mempunyai hasil kekuatan *bending* tertinggi sebesar 4,844 Mpa pada arah serat 45⁰ serta massa benda 40gr dan yang terendah pada arah serat 0⁰ serta massa benda 43 gr sebesar 2,632 MPa

4.2.2 Momen *Bending*

Setelah dilakukan perhitungan dalam pembahasan sebelumnya, didapatkan data sebagai berikut :

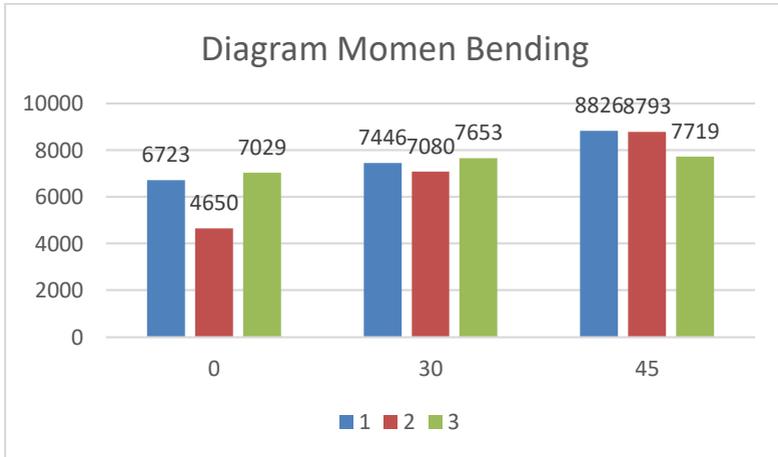
Tabel 4.6. Data Momen *Bending* Kaji Eksperimen

NO	ARAH	BAHAN	TOTAL MASSA	M (Nmm)
1	0 ⁰	A1	45 gr	6723
		A2	43 gr	4650
		A3	40 gr	7029
2	30 ⁰	B1	40 gr	7446
		B2	43 gr	7080
		B3	40 gr	7653
3	45 ⁰	C1	40 gr	8826
		C2	40 gr	8793
		C3	40 gr	7719

*data dengan simpangan terjauh tidak diikuti dalam perhitungan rata-rata

Dari tabel 4.5 data Momen *bending* tersebut, dapat dihasilkan 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. Diagram Momen *Bending*

Arah serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

- 0^0 : Arah Serat 0^0
- 30^0 : Arah Serat 30^0
- 45^0 : Arah Serat 45^0

Diagram menunjukkan bahwa:

- Momen Bending arah serat 0^0 dilakukan 3 kali percobaan yaitu A1, A2, dan A3 mempunyai massa yang berbeda dikarenakan dimensi aktual yang terdapat perbedaan dan ketebalan core yang berbeda. Pada grafik terdapat penurunan pada A2 disebabkan oleh terdapatnya cacat yang terjadi pada benda uji A2 yaitu terjadi penyerapan resin yang berlebih pada bagian tengah spesimen sehingga pada bagian tersebut terasa sedikit lunak yang mengakibatkan kekuatan bending tidak sempurna. Untuk hasil percobaan A1 dan A3 tidak memiliki hasil yang

terpaut jauh sehingga dari ketiga hasil percobaan memiliki hasil tertinggi 7029 Nmm pada A3 dengan massa 40 gr

- Momen bending arah serat 30^0 dilakukan 3 kali percobaan yaitu B1, B2, dan B3 mempunyai massa yang sama pada spesimen B1 dan B3, sedang untuk spesimen B2 memiliki massa yang berbeda. Untuk percobaan ini terlihat pada grafik bahwa spesimen B2 memiliki nilai Momen bending paling rendah diantara ketiga spesimen tersebut. Dari ketiga hasil percobaan yang memiliki perbedaan hasil paling jauh adalah spesimen B2, sedangkan B1 dan B3 memiliki nilai yang terpaut tidak jauh. Dan hasil percobaan tertinggi yaitu 7653 Nmm pada B3 dengan massa 40 gr
- Momen Bending arah serat 45^0 dilakukan 3 kali percobaan yaitu C1, C2, dan C3 mempunyai massa yang sama yaitu 40 gr. Untuk spesimen C1 dan C2 memiliki hasil yang tidak jauh beda, namun hal ini berbanding terbalik dengan spesimen C3 yang memiliki nilai terendah dan terpaut agak jauh dari C1 dan C2, hal ini diasumsikan bahwa spesimen C3 memiliki kerapatan core yang berbeda dari C1 dan C2. Dari ketiga hasil percobaan memiliki hasil tertinggi 8826 Nmm pada C1 dengan massa 40 gr
- Kesimpulan yang dapat diambil dari grafik 4.2 adalah dengan teknik Vacuum bagging pada proses pembuatan spesimen menunjukkan bahwa hasil pengujian eksperimen mempunyai hasil Momen Bending tertinggi sebesar 8826 Nmm pada arah serat 45^0 serta massa benda 40gr dan yang terendah pada arah serat 0^0 serta massa benda 43 gr sebesar 4650 Nmm

4.2.3 Modulus Elastisitas

Setelah dilakukan perhitungan dalam pembahasan sebelumnya, didapatkan data sebagai berikut :

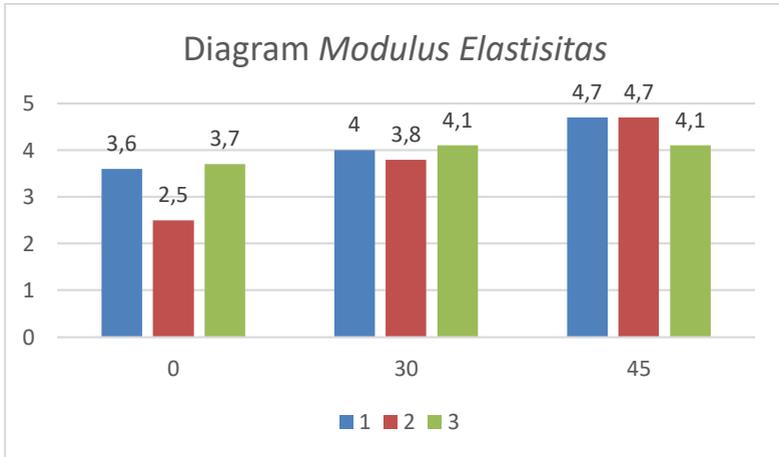
Tabel 4.7. Data Modulus Elastisitas Kaji Eksperimen

NO	ARAH	BAHAN	TOTAL MASSA	E (MPa)
1	0 ⁰	A1	45 gr	3,6
		A2	43 gr	2,5
		A3	40 gr	3,7
2	30 ⁰	B1	40 gr	4
		B2	43 gr	3,8
		B3	40 gr	4,1
3	45 ⁰	C1	40 gr	4,7
		C2	40 gr	4,7
		C3	40 gr	4,1

*data dengan simpangan terjauh tidak diikutkan dalam perhitungan rata-rata.

Dari tabel 4.6 data Modulus Elastisitas hasil dari kaji eksperimen tersebut, dapat dihasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan pada arah seratnya sebagai perbandingan hasil.

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



Gambar 4.3. Diagram *Modulus Elastisitas*

Arah serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

- 0⁰ : Arah Serat 0⁰
- 30⁰ : Arah Serat 30⁰
- 45⁰ : Arah Serat 45⁰

Diagram menunjukan bahwa:

- Modulus Elastis dengan arah serat 0⁰ dilakukan 3 kali percobaan yaitu A1, A2, dan A3 mempunyai massa yang berbeda dikarenakan dimensi aktual yang terdapat perbedaan dan ketebalan core yang berbeda. Pada grafik terdapat penurunan pada A2 disebabkan oleh terdapatnya cacat yang terjadi pada benda uji A2 yaitu terjadi penyerapan resin yang berlebih pada bagian tengah spesimen sehingga pada bagian tersebut terasa sedikit lunak yang mengakibatkan kekuatan bending tidak sempurna. Untuk hasil percobaan A1 dan A3 tidak memiliki hasil yang

terpaut jauh sehingga dari ketiga hasil percobaan memiliki hasil tertinggi 3,7 Mpa pada A3 dengan massa 40 gr

- Modulus Elastis dengan arah serat 30^0 dilakukan 3 kali percobaan yaitu B1, B2, dan B3 mempunyai massa yang sama pada spesimen B1 dan B3, sedang untuk spesimen B2 memiliki massa yang berbeda. Untuk percobaan ini terlihat pada grafik bahwa spesimen B2 memiliki nilai Modulus Elastis paling rendah diantara ketiga spesimen tersebut. Dari ketiga hasil percobaan yang memiliki perbedaan hasil paling jauh adalah spesimen B2, sedangkan B1 dan B3 memiliki nilai yang terpaut tidak jauh. Dan hasil percobaan tertinggi yaitu 4,1 Mpa pada B3 dengan massa 40 gr
- Modulus Elastis dengan arah serat 45^0 dilakukan 3 kali percobaan yaitu C1, C2, dan C3 mempunyai massa yang sama yaitu 40 gr. Untuk spesimen C1 dan C2 memiliki hasil yang sama, namun hal ini berbanding terbalik dengan spesimen C3 yang memiliki nilai terendah dan terpaut agak jauh dari C1 dan C2, hal ini diasumsikan bahwa spesimen C3 memiliki kerapatan core yang berbeda dari C1 dan C2. Dari ketiga hasil percobaan memiliki hasil tertinggi 4,7 Mpa pada C1 dan C2 dengan massa 40 gr
- Kesimpulan yang dapat diambil dari grafik 4.3 adalah dengan teknik Vacuum bagging pada proses pembuatan spesimen menunjukkan bahwa hasil pengujian eksperimen mempunyai hasil Modulus Elastis tertinggi sebesar 4,7 Mpa pada arah serat 45^0 serta massa benda 40gr dan yang terendah pada arah serat 0^0 serta massa benda 43gr sebesar 2,5 MPa

4.2.4 Facing Bending Stress

Setelah dilakukan perhitungan dalam pembahasan sebelumnya didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.8. Data Facing Bending Stress Kaji Eksperimen

NO	ARAH	BAHAN	TOTAL MASSA	σ (Mpa)
1	0 ⁰	A1	45 gr	10,650
		A2	43 gr	6,259
		A3	40 gr	9,472
2	30 ⁰	B1	40 gr	11,407
		B2	43 gr	9,956
		B3	40 gr	11,541
3	45 ⁰	C1	40 gr	11,736
		C2	40 gr	11,631
		C3	40 gr	10,523

*data dengan simpangan terlalu jauh tidak diikutkan dalam perhitungan rata-rata

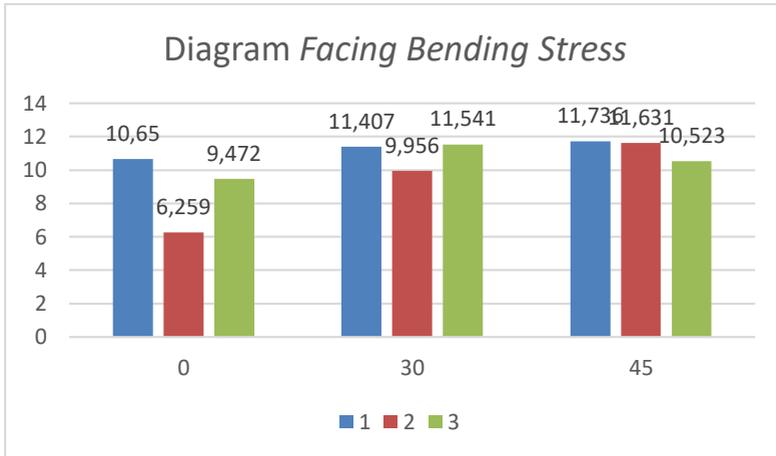
Dari tabel 4.7 data Facing Bending Stress, dapat dihasilkan beberapa diagram yang mengacu pada beberapa perbedaan, diantaranya diagram yang berdasarkan pada arah seratnya.

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

Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram Facing Bending Stress adalah :

- 0⁰ : Arah Serat 0⁰
- 30⁰ : Arah Serat 30⁰
- 45⁰ : Arah Serat 45⁰

Sehingga dapat dibuatlah tabel seperti dibawah ini.



Gambar 4.4. Diagram *Facing Bending Stress*

Arah Serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

- 0⁰ : Arah Serat 0⁰
- 30⁰ : Arah Serat 30⁰
- 45⁰ : Arah Serat 45⁰

Diagram menunjukkan bahwa:

- Facing Bending Stress arah serat 0⁰ dilakukan 3 kali percobaan yaitu A1, A2, dan A3 mempunyai massa yang berbeda dikarenakan dimensi aktual yang terdapat perbedaan dan ketebalan core yang berbeda. Pada grafik terdapat penurunan pada A2 disebabkan oleh terdapatnya cacat yang terjadi pada benda uji A2 yaitu terjadi penyerapan resin yang berlebih pada bagian tengah spesimen sehingga pada bagian tersebut terasa sedikit lunak yang mengakibatkan kekuatan bending tidak sempurna. Untuk hasil percobaan A1 dan A3 tidak memiliki hasil yang

- terpaut jauh sehingga dari ketiga hasil percobaan memiliki hasil tertinggi 10,650 Mpa pada A1 dengan massa 45 gr
- Facing Bending Stress arah serat 30^0 dilakukan 3 kali percobaan yaitu B1, B2, dan B3 mempunyai massa yang sama pada spesimen B1 dan B3, sedang untuk spesimen B2 memiliki massa yang berbeda. Untuk percobaan ini terlihat pada grafik bahwa spesimen B2 memiliki nilai Facing Bending Stress paling rendah diantara ketiga spesimen tersebut. Dari ketiga hasil percobaan yang memiliki perbedaan hasil paling jauh adalah spesimen B2, sedangkan B1 dan B3 memiliki nilai yang terpaut tidak jauh. Dan hasil percobaan tertinggi yaitu 11,541 Mpa pada B3 dengan massa 40 gr
 - Facing Bending Stress arah serat 45^0 dilakukan 3 kali percobaan yaitu C1, C2, dan C3 mempunyai massa yang sama yaitu 40 gr. Untuk spesimen C1 dan C2 memiliki hasil yang tidak jauh beda, namun hal ini berbanding terbalik dengan spesimen C3 yang memiliki nilai terendah dan terpaut agak jauh dari C1 dan C2, hal ini diasumsikan bahwa spesimen C3 memiliki kerapatan core yang berbeda dari C1 dan C2. Dari ketiga hasil percobaan memiliki hasil tertinggi 11,736 Mpa pada C1 dengan massa 40 gr
 - Kesimpulan yang dapat diambil dari grafik 4.4 adalah dengan teknik Vacuum bagging pada proses pembuatan spesimen menunjukkan bahwa hasil pengujian eksperimen mempunyai hasil Facing Bending Stress tertinggi sebesar 11,736 Mpa pada arah serat 45^0 serta massa benda 40 gr dan yang terendah pada arah serat 0^0 serta massa benda 43 gr sebesar 6,012 MPa

4.2.5 Core Shear Ultimate Stress

Setelah dilakukan perhitungan dalam pembahasan sebelumnya, didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.9. Data Core Shear Ultimate Stress Kaji Eksperimen

NO	ARAH	BAHAN	TOTAL MASSA	τ (MPa)
1	0 ⁰	A1	45 gr	0,177
		A2	43 gr	0,114
		A3	40 gr	0,157
4	30 ⁰	B1	40 gr	0,190
		B2	43 gr	0,182
		B3	40 gr	0,192
5	45 ⁰	C1	40 gr	0,215
		C2	40 gr	0,213
		C3	40 gr	0,192

*data dengan simpangan terlalu jauh tidak diikuti dalam perhitungan rata-rata

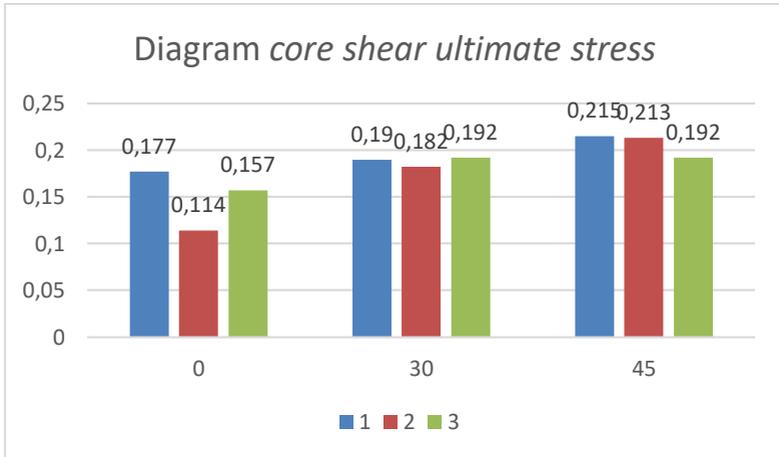
Dari tabel 4.8 data Core shear ultimate stress, dapat dihasilkan beberapa diagram, diantaranya diagram berdasarkan fraksi volume.

Berikut adalah diagram berdasarkan fraksi volume dari bahan yang digunakan.

Dapat terlihat pada tabel yang akan menjadi pembanding pada diagram Core Shear Ultimate Stress adalah :

- 0⁰ : Arah Serat 0⁰
- 30⁰ : Arah Serat 30⁰
- 45⁰ : Arah Serat 45⁰

Sehingga dapat dibuatlah tabel seperti dibawah ini.



Gambar 4.5. Diagram Core Shear Ultimate Stress

Arah Serat yang digunakan pada diagram diatas adalah sebagai berikut :

- 0⁰ : Arah Serat 0⁰
- 30⁰ : Arah Serat 30⁰
- 45⁰ : Arah Serat 45⁰

Diagram menunjukan bahwa:

- Core Shear Ultimate Stress arah serat 0⁰ dilakukan 3 kali percobaan yaitu A1, A2, dan A3 mempunyai massa yang berbeda dikarenakan dimensi aktual yang terdapat perbedaan dan ketebalan core yang berbeda. Pada grafik terdapat penurunan pada A2 disebabkan oleh terdapatnya cacat yang terjadi pada benda uji A2 yaitu terjadi penyerapan resin yang berlebih pada bagian tengah spesimen sehingga pada bagian tersebut terasa sedikit lunak yang mengakibatkan kekuatan bending tidak sempurna. Untuk hasil percobaan A1 dan A3 memiliki selisih 0,020 dan dari

ketiga percobaan tersebut, A2 memiliki hasil yang terpaut jauh dari hasil pengujian tertinggi, dan hasil percobaan memiliki hasil tertinggi 0,177 Mpa pada A1 dengan massa 45 gr

- Core Shear Ultimate Stress arah serat 30^0 dilakukan 3 kali percobaan yaitu B1, B2, dan B3 mempunyai massa yang sama pada spesimen B1 dan B3, sedang untuk spesimen B2 memiliki massa yang berbeda. Untuk percobaan ini terlihat pada grafik bahwa spesimen B2 memiliki nilai Core Shear Ultimate Stress paling rendah diantara ketiga spesimen tersebut namun dari ketiga hasil percobaan tidak memiliki perbedaan hasil yang signifikan dan hasil percobaan tertinggi yaitu 0,192 Mpa pada B3 dengan massa 40 gr
- Core Shear Ultimate Stress arah serat 45^0 dilakukan 3 kali percobaan yaitu C1, C2, dan C3 mempunyai massa yang sama yaitu 40 gr. Untuk spesimen C1 dan C2 memiliki hasil yang tidak jauh beda, namun hal ini berbanding terbalik dengan spesimen C3 yang memiliki nilai terendah dan terpaut agak jauh dari C1 dan C2, hal ini diasumsikan bahwa spesimen C3 memiliki kerapatan core yang berbeda dari C1 dan C2. Sedangkan dari ketiga hasil percobaan memiliki hasil tertinggi 0,215 Mpa pada C1 dengan massa 40 gr
- Kesimpulan yang dapat diambil dari grafik 4.1 adalah dengan teknik Vacuum bagging pada proses pembuatan spesimen menunjukkan bahwa hasil pengujian eksperimen mempunyai hasil *Core Shear Ultimate Stress* tertinggi sebesar 0,215 Mpa pada arah serat 45^0 serta massa benda 40gr dan yang terendah pada arah serat 0^0 serta massa benda 43 gr sebesar 0,114 MPa

4.3 Analisa Makro Model Kegagalan Komposit *Sandwich*

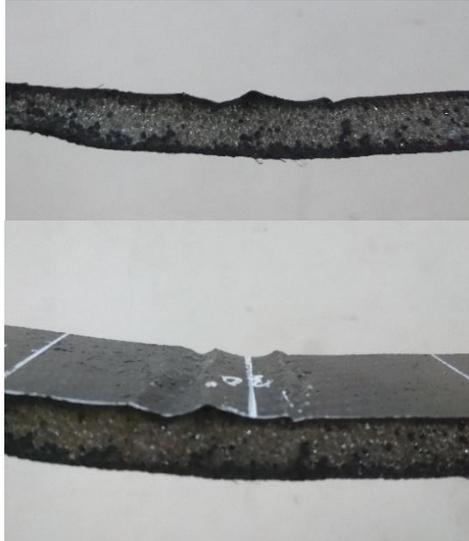
Kegagalan komposit adalah kerusakan yang terjadi pada komposit sandwich saat dikenai beban yang melampaui kekuatannya. Kegagalan pada komposit sandwich menurut tempatnya terbagi menjadi dua yaitu kegagalan di kulit dan kegagalan bagian inti (*core*). Berdasarkan hasil pengujian dari 9 Spesimen komposit Sandwich yang diuji, terdapat dua macam kegagalan komposit *sandwich* yang terjadi. Yang pertama adalah *Micro Buckling* dan *Indentation*. Berikut adalah tabel yang menyajikan data jenis gagal komposit yang terjadi :

Tabel 4.10. Data jenis kegagalan komposit *sandwich*

Jenis Spesimen	Tipe Kegagalan
A1	<i>indentation</i>
A2	<i>indentation</i>
A3	<i>indentation</i>
B1	<i>indentation</i>
B2	<i>micro buckling</i>
B3	<i>micro buckling</i>
C1	<i>indentation</i>
C2	<i>indentation</i>
C3	<i>indentation</i>

Jenis-jenis kegagalan spesimen uji bending untuk semua variasi komposit sandwich serat Karbon fiber dengan core polyurethan rigid foam dapat dilihat pada gambar berikut:

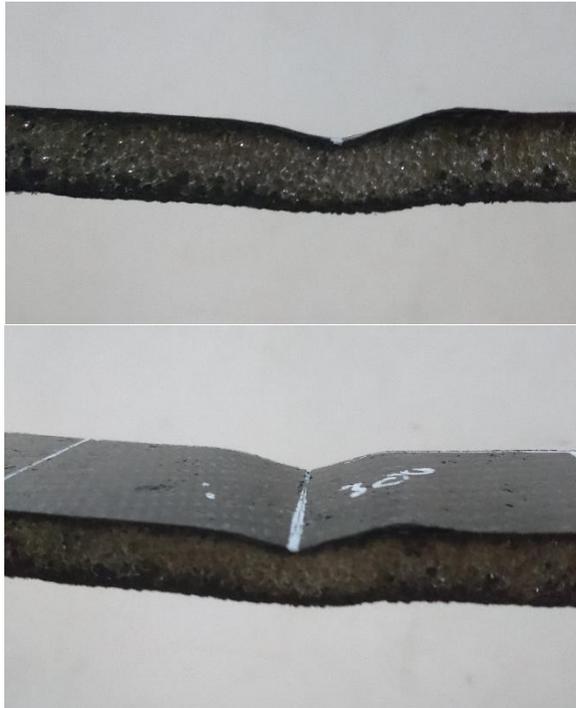
4.3.1 *Micro Buckling*



Gambar 4.6. Kegagalan tipe *Micro Buckling* pada spesimen

Micro Buckling adalah salah satu dari beberapa jenis kegagalan yang terjadi pada komposit sandwich. Kegagalan *micro buckling* biasanya terjadi pada *skin* komposit *sandwich* yang relatif tipis terhadap tebal *core*. Kegagalan ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan *bending* secara drastis.

4.3.2 Indentation



Gambar 4.7. Kegagalan tipe *Indentation* pada spesimen

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.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian eksperimen dengan metode *three point bending* dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi arah serat pada komposit *sandwich* serat karbon fiber dengan *core polyurethan rigid foam* menghasilkan kekuatan *bending* sebesar 4,709 MPa, momen *bending* 8446 Nmm, dan modulus elastisitas 4,5 MPa tertinggi yang terdapat pada arah serat 45⁰.
2. Variasi arah serat pada komposit *sandwich* serat karbon fiber dengan *core polyurethan rigid foam* yang menghasilkan *facing bending stress* 11,297 MPa, *core shear ultimate stress* 0,207 MPa, dimana tertinggi terdapat pada arah serat 45⁰.
3. Model kegagalan komposit *sandwich* serat Karbon Fiber dengan *core polyurethan* akibat pengujian *bending (three point bending)* berupa *Micro Buckling* dan kegagalan *Indentation*.

5.2 Saran

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

1. Dapat dikembangkan dengan variasi-variasi core lain seperti *diviny cell*, *3d Core*, *Lantor Soric*, *Coremat yang memiliki massa jenis lebih ringan dari polyurethane*.
2. Melapisi core Polyurethane dengan lapisan putty (dempul) tipis pada permukaan core, hal ini dikarenakan jika core polyurethane bersentuhan langsung dengan resin akan mengakibatkan beberapa titik yang lunak akan terdegradasi sehingga menyebabkan permukaan yang tidak rata.
3. Dengan adanya pelemahan pada bagian inti terhadap kulitnya, maka untuk penelitian lebih lanjut diperlukan bahan perekat yang lebih baik dan jenis material inti yang perlu di sempurnakan.
4. Dapat dikembangkan menggunakan teknik manufacture yang lebih maju lagi seperti *Vacuum resin infusion*, *prepreg autoclave vacuum*

DAFTAR PUSTAKA

ASTM C393-9, *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Construction*, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, United States.

Diharjo K. 2011. Kekuatan *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Gelas dengan *Core Divinycell-PVC H-60* (Pengaruh Orientasi Serat, Jumlah Laminat dan Tebal *Core* terhadap Kekuatan *Bending*). Surakarta: Teknik Mesin FT UNS.

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

http://www.composites.ugent.be/home_made_composites/documentat ion/FibreGlast_Vacuum_infusion_process.pdf

Mattews, F.L, dan Rowlings, R.D. 1994. *Composite Material Engineering and science*. London: Chapman and Hall.

Wang S. X., Wu L. Z. dan Ma L., 2010, “*Indentation Study of Foam Sandwich Structures Reinforced by Fiber Columns*”, *J. Sandwich Struct. and Matr.*, 12: 621-646.

Anonim, 2002, *Composite Material Handbook*, Volume 3: Polymer Matrix Composite, material usage, design and analysis, Departemen of defense, USA.

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.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

**Foto Spesimen Uji A (arah sudut 0^0)
Sebelum Pengujian**



Setelah Pengujian

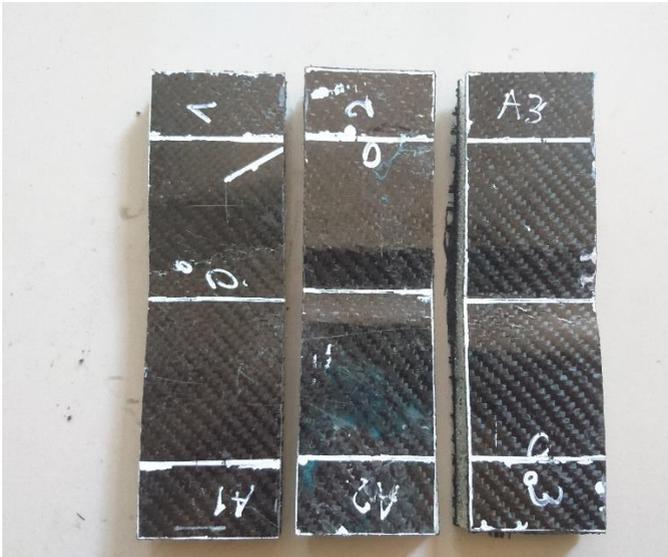
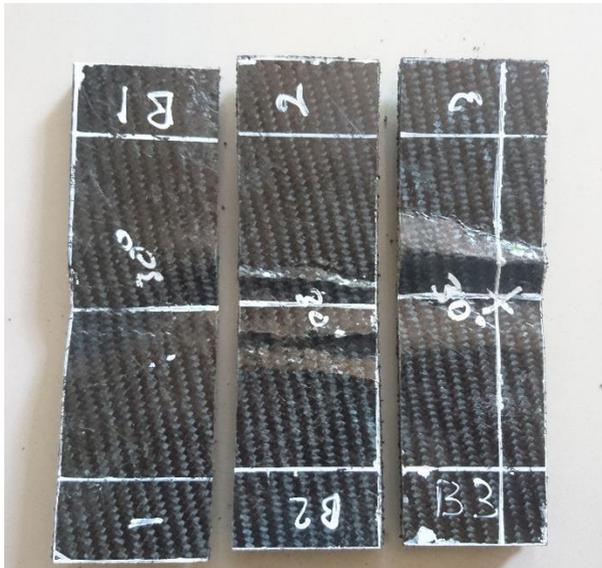


Foto Spesimen Uji B (arah sudut 30°)
Sebelum Pengujian



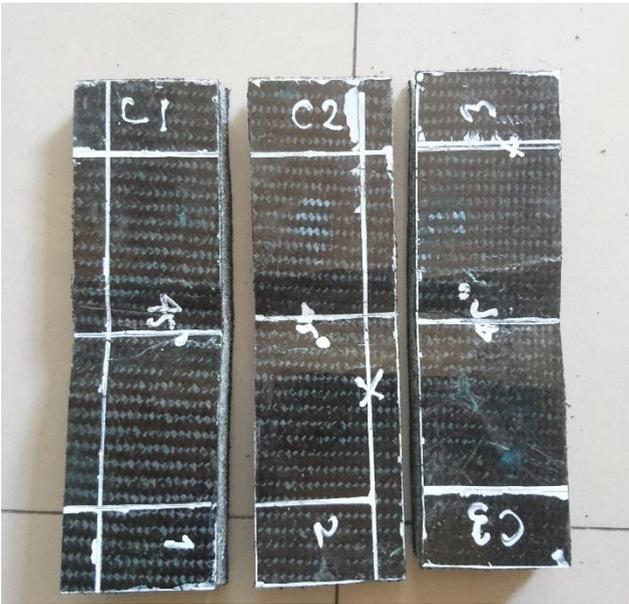
Sesudah Pengujian



Spesimen Uji A (arah sudut 45°)
Sebelum Pengujian



Sesudah Pengujian



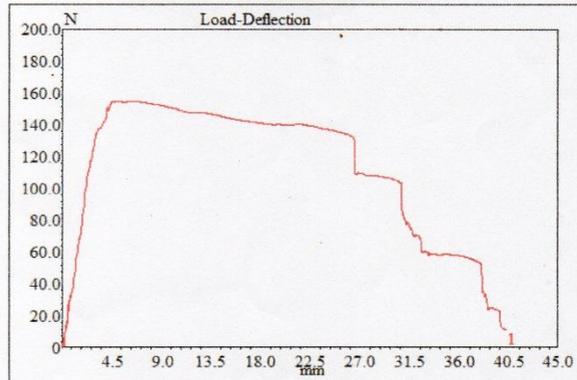
Grafik hasil pengujian spesimen A2 arah serat 0°



Laboratorium Metalurgi
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
 Fakultas Teknologi Industri
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex. Strength MPa
A-2	50.00	15.00	120	155.0	2.5
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

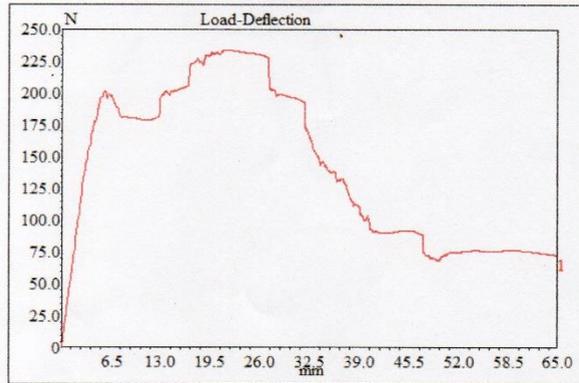
Grafik hasil pengujian spesimen A3 arah serat 0°



Laboratorium Metalurgi
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
 Fakultas Teknologi Industri
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex. Strength MPa
A-3	50.00	15.00	120	234.3	3.7
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

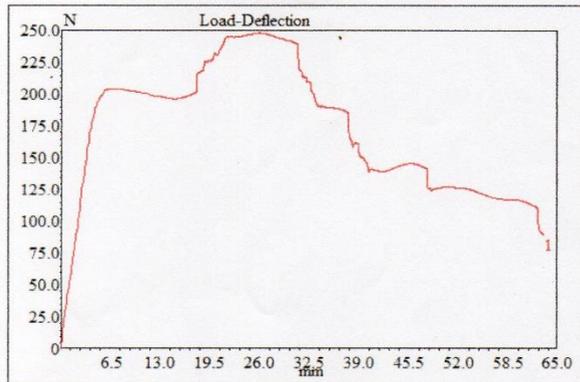
Grafik hasil pengujian spesimen B1 arah serat 30°



Laboratorium Metalurgi
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
 Fakultas Teknologi Industri
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex. Strength MPa
B-1	50.00	15.00	120	248.2	4.0
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

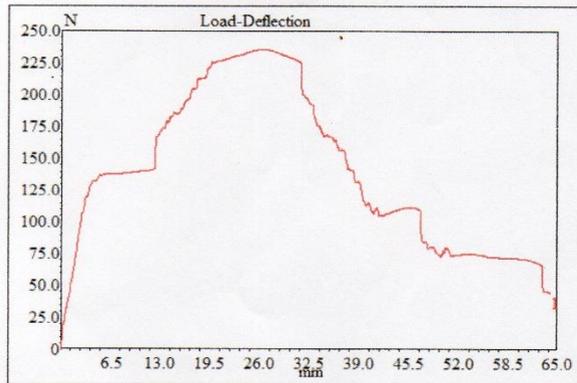
Grafik hasil pengujian spesimen B2 arah serat 30⁰



Laboratorium Metalurgi
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
 Fakultas Teknologi Industri
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

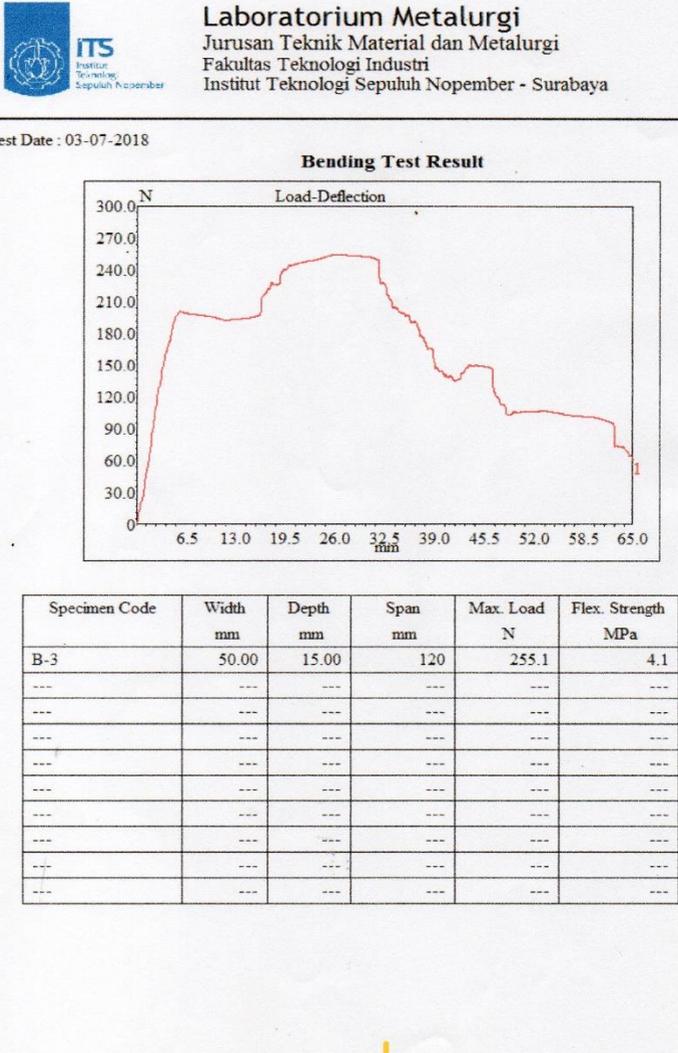
Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result

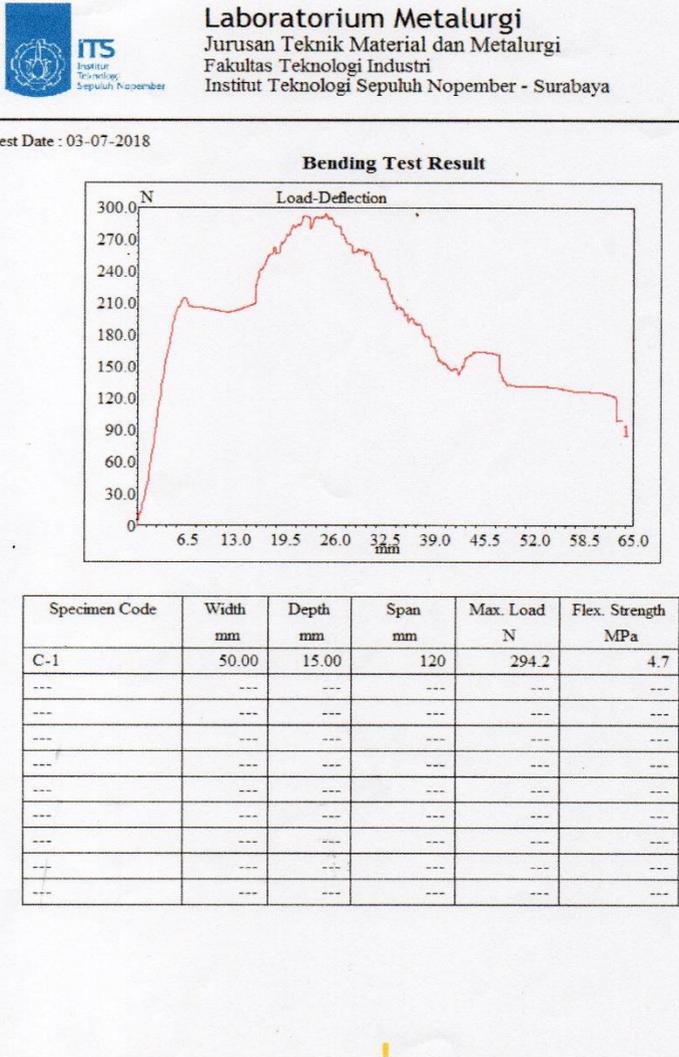


Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex. Strength MPa
B-2	50.00	15.00	120	236.0	3.8
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Grafik hasil pengujian spesimen B3 arah serat 30⁰



Grafik hasil pengujian spesimen C1 arah serat 45⁰



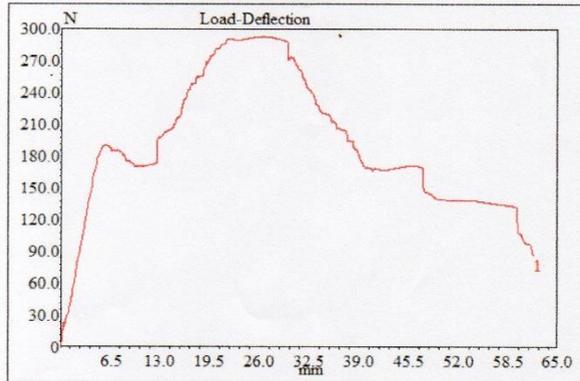
Grafik hasil pengujian spesimen C2 arah serat 45°



Laboratorium Metalurgi
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
 Fakultas Teknologi Industri
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 03-07-2018

Bending Test Result



Specimen Code	Width mm	Depth mm	Span mm	Max. Load N	Flex. Strength MPa
C-2	50.00	15.00	120	293.1	4.7
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sidoarjo, 31 Januari 1997, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, SDN Pongangan 1 Gresik, SMPN 1 Gresik, SMAN 1 Gresik. Pada tahun 2015 Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 1021150000077. Manufaktur merupakan bidang studi yang dipilih penulis.

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

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