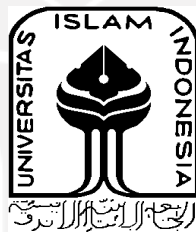


**STUDI PENGARUH ORIENTASI DAN JUMLAH LAPISAN
CARBON FIBER TERHADAP KEKUATAN *BENDING*
KOMPOSIT *SANDWICH* MENGGUNAKAN METODE
*VACUUM INFUSION***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Dimas Faruk Askha

No. Mahasiswa : 17525098

NIRM : 2017023635

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**STUDI PENGARUH ORIENTASI DAN JUMLAH LAPISAN
CARBON FIBER TERHADAP KEKUATAN *BENDING*
KOMPOSIT *SANDWICH* MENGGUNAKAN METODE
*VACUUM INFUSION***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Dimas Faruk Askha
No. Mahasiswa : 17525098
NIRM : 2017023635

Yogyakarta, 19 November 2022

Pembimbing



Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

STUDI PENGARUH ORIENTASI DAN JUMLAH LAPISAN *CARBON FIBER* TERHADAP KEKUATAN *BENDING* KOMPOSIT *SANDWICH* MENGGUNAKAN METODE *VACUUM INFUSION*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Dimas Faruk Askha
No. Mahasiswa : 17525098
NIRM : 2017023635

Tim Penguji

Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP

Ketua

Tanggal: 5 Des 2022

Irfan Aditya Dharma, S.T., M.Eng., Ph.D.

Anggota I

Tanggal: 08-12-2022

Rahmat Riza, S.T., M.Sc. ME

Anggota II

Tanggal: 5/12/2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dimas Faruk Askha
NIM : 17525098
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Judul Tugas Akhir : STUDI PENGARUH ORIENTASI DAN JUMLAH LAPISAN *CARBON FIBER* TERHADAP KEKUATAN *BENDING* KOMPOSIT *SANDWICH* MENGGUNAKAN METODE *VACUUM INFUSION*

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan Tugas Akhir ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari penulisan tugas akhir ini merupakan hasil plagiasi atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan serta tata tertib yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak dipaksakan.

Yogyakarta, 8 Desember 2022



Dimas Faruk Askha

HALAMAN PERSEMBAHAN



Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

Kedua orang tua saya bapak Sugiarto dan ibu Siti Maisaroh. Keduanya lah yang membuat segalanya menjadi mungkin sehingga saya bisa sampai pada tahap dimana tugas akhir ini akhirnya selesai. Terima kasih atas segala pengorbanan, nasihat dan doa baik yang tidak pernah berhenti kalian berikan kepadaku.

Dan adek saya Devita Buana Tanjung yang sudah memberikan dukungan dan doa.



HALAMAN MOTTO

“Orang yang hebat adalah orang yang memiliki kemampuan menyembunyikan kesusahan, sehingga orang lain mengira bahwa ia selalu senang”

(Imam Syafi’i)

“Jangan terlalu ambil hati dengan ucapan seseorang, kadang manusia punya mulut tapi belum tentu punya pikiran”

(Albert Einstein)

“Gagal hanya terjadi jika kita menyerah”

(Bacharudin Jusuf Habibie)

“Kuliah jangan terlalu pintar, cukup lulus aja, namun jangan terlalu bodoh juga nanti susah lulusnya”

(Unknown)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur atas ke hadirat Allah SWT, dengan segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir. Sholawat serta salam semoga tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, serta pengikutnya hingga akhir zaman. Dalam kesempatan ini penulis banyak mendapatkan saran, dorongan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala hati perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada:

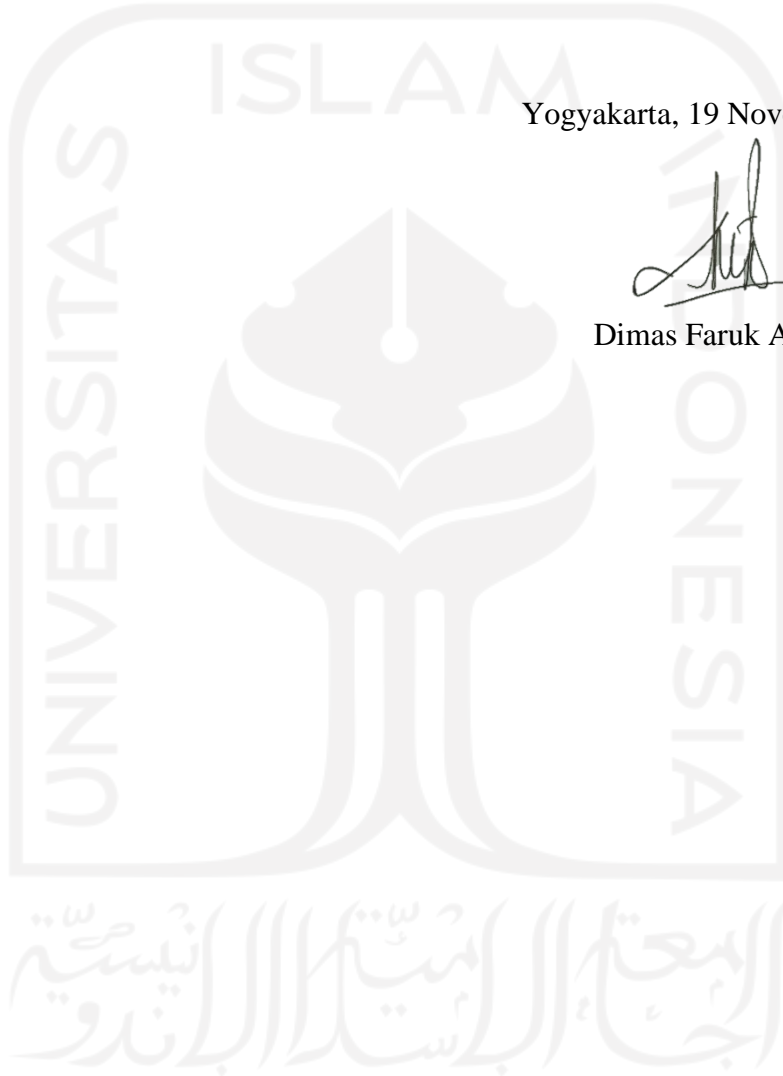
1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP selaku dosen pembimbing di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan dukungan dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Kedua orang tua, ibu dan bapak terima kasih banyak atas doa yang tidak pernah berhenti mengiringi setiap langkah, semangat, motivasi, dukungan baik secara moral dan material.
5. Seluruh Dosen Pogram Studi Teknik Mesin yang telah mendidik, mengajarkan banyak ilmu pengetahuan tentang Teknik Mesin.
6. Teman-teman Teknik Mesin 2017, dan semua pihak yang membantu dalam penyusunan ini.
7. Teman seperjuangan bimbingan Hendra Gunawan “mang Gentolet”, Rafki Azhari “mang mulet”, Ari Asyahid “Om Ari”, Johan Pahlevi “mang Jo dan Rifki Surya “mang julak” yang sudah membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir.
8. Teman-teman kos Pakde Mudi atas semangatnya selama perkuliahan berlangsung.

9. Untuk teman terdekat saya Ana Ainun Na'imah yang telah memberi semangat saya dalam Tugas Akhir ini.
10. Teruntuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terima kasih atas suka duka yang telah diberikan selama penulis berkuliah, semoga kebaikannya dibalas oleh Allah SWT.

Yogyakarta, 19 November 2022



Dimas Faruk Askha



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh orientasi dan jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich*. Spesimen uji dicetak sesuai dengan standar ASTM C393 menggunakan filamen ABS. Spesimen uji divariasikan pada orientasi *carbon fiber* tipe *twill*, *unidirectional* dan acak. Sedangkan jumlah lapisan divariasikan pada 1, 2, 3 lapisan. Pengujian *bending* dilakukan menggunakan metode *three point bending*. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data bahwa tegangan *bending* sebesar 12,58 MPa, kekakuan *bending* 1.024.583,85 Nmm² diperoleh pada *carbon fiber unidirectional*. Namun pada modulus elastisitas dan kekakuan spesifik diperoleh pada *carbon twill* dengan modulus elastisitas 240,38 MPa, kekakuan spesifik 66.259,83 Nmm²/gr. Untuk jumlah lapisan sebanyak 1, 2 dan 3 diperoleh tegangan *bending* sebesar 14,60 MPa, kekakuan *bending* 1.280.850,54 Nmm² diperoleh pada jumlah 3 lapisan *carbon fiber*. Namun pada modulus elastisitas dan kekakuan spesifik diperoleh pada 1 lapisan *carbon fiber* dengan modulus elastisitas sebesar 232,11 MPa dan kekakuan spesifik 60.634,88 Nmm²/gr.

Kata kunci: Komposit *sandwich*, filamen ABS, kekuatan *bending*.

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of the orientation and number of carbon fiber layers on the bending strength of sandwich composites. The test specimen is printed according to ASTM C393 standard using ABS filaments. The test specimens were varied at twill-type, unidirectional and random carbon fiber orientations. While the number of layers is varied on 1, 2, 3 layers. Bending testing is carried out using the three-point bending method. Based on the results of tests that have been carried out, data were obtained that the bending voltage of 12.58 MPa, the bending stiffness of 1,024,583.85 Nmm² was obtained on unidirectional carbon fiber. However, the specific modulus of elasticity and stiffness was obtained at carbon twill with a modulus of elasticity of 240.38 MPa, the specific stiffness was 66,259.83 Nmm²/gr. For the number of layers as much as 1, 2 and 3, a bending voltage of 14.60 MPa was obtained, a bending stiffness of 1,280,850.54 Nmm² was obtained in the amount of 3 layers of carbon fiber. However, the specific modulus of elasticity and stiffness was obtained in 1 layer of carbon fiber with a modulus of elasticity of 232.11 MPa and a specific stiffness of 60,634.88 Nmm²/gr.

Keywords: Sandwich composite, ABS filament, bending strength.



DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Lembar Pernyataan Keaslian	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak	ix
Abstract	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar	xv
Daftar Notasi	xvii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
Bab 2 Tinjauan Pustaka	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Komposit	7
2.2.2 Matriks	8
2.2.3 Komposit Sandwich	9
2.2.4 Core	10
2.2.5 Skin (Carbon Fiber)	10
2.2.6 Adhesive	11
2.2.7 3D printing	11

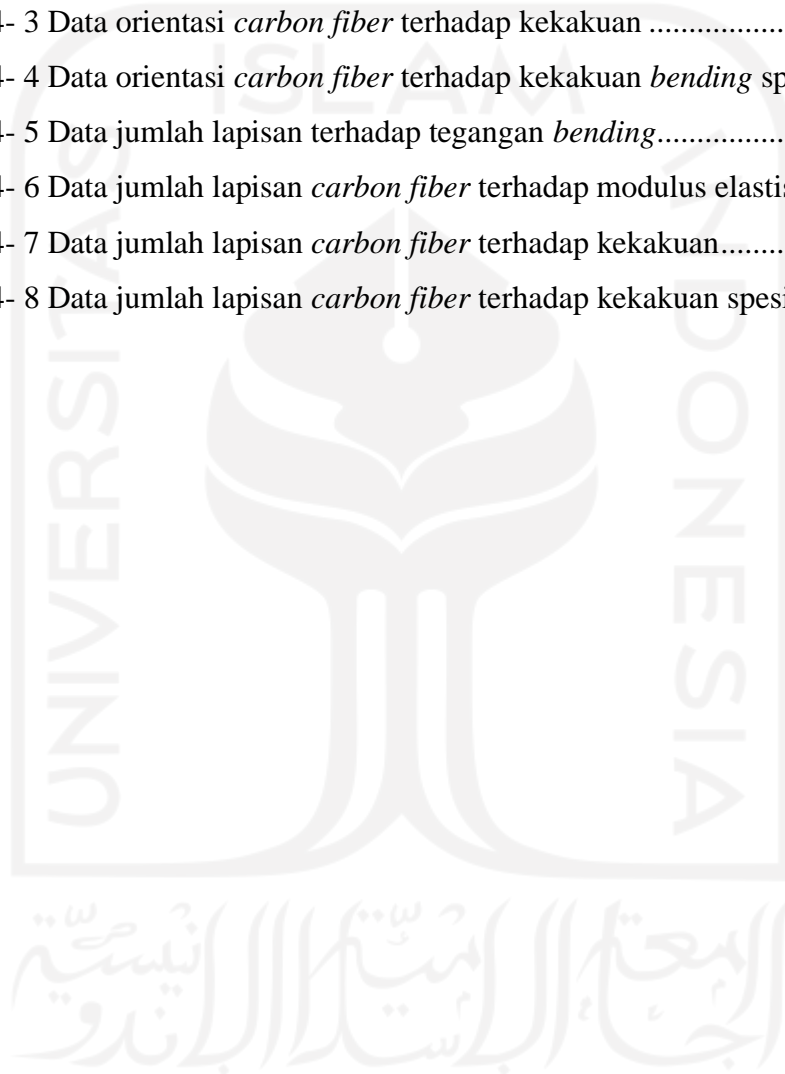
2.2.8	<i>Vacuum Infusion</i>	12
2.2.9	Pengujian Kekuatan (Uji <i>bending</i>).....	13
2.2.10	Modus Kegagalan Uji <i>Bending</i> Komposit <i>Sandwich</i>	15
Bab 3 Metode Penelitian		17
3.1	Alur Penelitian	17
3.2	Parameter Penelitian	19
3.2.1	Parameter Orientasi <i>Carbon Fiber</i>	19
3.2.2	Parameter Jumlah Lapisan <i>Carbon Fiber</i>	20
3.3	Peralatan dan Bahan.....	20
3.4	Dimensi Spesimen <i>Bending</i>	29
3.5	Komposisi Komposit <i>Sandwich</i>	29
3.6	Proses Pengerjaan	30
3.6.1	Pembuatan <i>Core</i> Dengan Mesin 3D <i>Printing</i>	30
3.6.2	Proses <i>Vacuum Infusion</i>	31
3.6.3	Hasil Spesimen Setelah <i>Vacuum Infusion</i>	35
3.7	Proses Pengujian <i>Bending</i>	36
Bab 4 Hasil dan Pembahasan		38
4.1	Pengaruh Orientasi <i>Carbon Fiber</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Kekakuan Spesifik.....	38
4.1.1	Pengaruh Orientasi <i>Carbon Fiber</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> ...	38
4.1.2	Pengaruh Orientasi <i>Carbon Fiber</i> Terhadap Modulus Elastisitas..	42
4.1.3	Pengaruh Orientasi <i>Carbon Fiber</i> Terhadap Kekakuan	44
4.1.4	Pengaruh Orientasi <i>Carbon Fiber</i> Terhadap Kekakuan Spesifik...	46
4.2	Pengaruh Jumlah Lapisan <i>Carbon Fiber</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Kekakuan Spesifik	47
4.2.1	Pengaruh Jumlah Lapisan <i>Carbon Fiber</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i>	48
4.2.2	Pengaruh Jumlah Lapisan <i>Carbon Fiber</i> Terhadap Modulus Elastisitas.....	52
4.2.3	Pengaruh Jumlah Lapisan <i>Carbon Fiber</i> Terhadap Kekakuan	53
4.2.4	Pengaruh Jumlah Lapisan <i>Carbon Fiber</i> Terhadap Kekakuan Spesifik.....	55

Bab 5 Penutup.....	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	57
Daftar Pustaka	59
LAMPIRAN 1	61
LAMPIRAN 2	64
LAMPIRAN 3	66
LAMPIRAN 4	67
LAMPIRAN 5	68
LAMPIRAN 6	69



DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Parameter tetap dan variasi orientasi <i>carbon fiber</i>	19
Tabel 3-2 Parameter tetap dan variasi jumlah lapisan <i>carbon fiber</i>	20
Tabel 4- 1 Data orientasi <i>carbon fiber</i> terhadap tegangan <i>bending</i>	38
Tabel 4- 2 Data orientasi <i>carbon fiber</i> terhadap modulus elastisitas	42
Tabel 4- 3 Data orientasi <i>carbon fiber</i> terhadap kekakuan	44
Tabel 4- 4 Data orientasi <i>carbon fiber</i> terhadap kekakuan <i>bending</i> spesifik	46
Tabel 4- 5 Data jumlah lapisan terhadap tegangan <i>bending</i>	48
Tabel 4- 6 Data jumlah lapisan <i>carbon fiber</i> terhadap modulus elastisitas.....	52
Tabel 4- 7 Data jumlah lapisan <i>carbon fiber</i> terhadap kekakuan.....	53
Tabel 4- 8 Data jumlah lapisan <i>carbon fiber</i> terhadap kekakuan spesifik	55



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Klasifikasi jenis komposit	1
Gambar 1-2 Struktur komposit <i>sandwich</i>	2
Gambar 1-3 Orientasi arah serat.....	3
Gambar 2-1 Susunan komposit	8
Gambar 2-2 Penyusun komposit	9
Gambar 2-3 Komposisi komposit <i>sandwich</i>	9
Gambar 2-4 Jenis <i>core</i> 3D <i>print</i>	10
Gambar 2-5 Orientasi <i>carbon fiber</i>	11
Gambar 2-6 <i>Adhesive epoxy</i>	11
Gambar 2-7 Mesin 3D <i>printing</i>	12
Gambar 2-8 Proses <i>vacuum infusion</i>	13
Gambar 2-9 Alat uji <i>bending</i> JTM-UTC220	14
Gambar 2-10 Pembebanan lentur <i>three point bending</i>	14
Gambar 2-11 Jenis-jenis kegagalan pada komposit <i>sandwich</i>	16
Gambar 2-12 Jenis-jenis Kegagalan pada <i>core</i> komposit <i>sandwich</i>	16
Gambar 3-1 Alur penelitian.....	18
Gambar 3-2 <i>Vacuum pump</i>	20
Gambar 3-3 <i>Vacuum catch trap</i>	21
Gambar 3-4 Timbangan.....	21
Gambar 3-5 ABS	22
Gambar 3-6 Resin dan <i>hardener</i>	22
Gambar 3-7 Katup <i>vacuum</i>	23
Gambar 3-8 Serat <i>carbon fiber unidirectional</i>	23
Gambar 3-9 Serat <i>carbon fiber twill</i>	24
Gambar 3-10 Plastik <i>vacuum</i>	24
Gambar 3-11 Kain strimin.....	25
Gambar 3-12 <i>Peel ply</i>	25
Gambar 3-13 Selang <i>spiral</i>	26
Gambar 3-14 Selang pneumatik	26
Gambar 3-15 <i>Sealant tape</i>	27

Gambar 3-16 <i>Release wax</i>	27
Gambar 3-17 Perekat resin dan <i>hardener</i>	28
Gambar 3-18 Selotip kertas	28
Gambar 3-19 Dimensi spesimen	29
Gambar 3- 20 Komposisi komposit <i>sandwich</i>	30
Gambar 3-21 Proses pembuatan <i>core</i>	30
Gambar 3-22 Pemasangan <i>sealant tape</i>	31
Gambar 3-23 Pemasangan kain strimin.....	31
Gambar 3-24 Pemasangan <i>peel ply</i>	32
Gambar 3-25 Pemasangan selang T <i>input</i> dan <i>output</i>	32
Gambar 3-26 Peletakan spesimen	33
Gambar 3-27 Memasukan bahan kedalam <i>vacuum bag</i>	33
Gambar 3-28 Pencampuran resin dan <i>hardener</i>	34
Gambar 3-29 Pencampuran resin dan <i>hardener</i>	34
Gambar 3-30 Hasil spesimen variasi orientasi <i>carbon fiber</i>	35
Gambar 3-31 Hasil spesimen variasi jumlah lapisan <i>carbon fiber</i>	36
Gambar 3-32 Jarak tumpuan <i>bending</i>	37
Gambar 3-33 Proses pengujian <i>bending</i> spesimen.....	37
Gambar 4-1 Pengaruh orientasi <i>carbon fiber</i> terhadap tegangan <i>bending</i>	39
Gambar 4-2 Kegagalan spesimen <i>carbon</i> motif <i>twill</i>	40
Gambar 4-3 Kegagalan spesimen <i>carbon</i> motif	41
Gambar 4-4 Kegagalan spesimen <i>carbon</i> motif acak.....	41
Gambar 4-5 Pengaruh orientasi <i>carbon fiber</i> terhadap modulus elastisitas	43
Gambar 4-6 Pengaruh orientasi <i>carbon fiber</i> terhadap kekakuan	45
Gambar 4-7 Pengaruh orientasi <i>carbon fiber</i> terhadap kekakuan spesifik.....	47
Gambar 4-8 Pengaruh jumlah lapisan <i>carbon fiber</i> terhadap tegangan <i>bending</i> .	49
Gambar 4-9 Kegagalan spesimen jumlah 1 lapisan <i>carbon fiber</i>	50
Gambar 4-10 Kegagalan spesimen jumlah 2 lapisan <i>carbon fiber</i>	50
Gambar 4-11 Kegagalan spesimen jumlah 3 lapisan <i>carbon fiber</i>	51
Gambar 4-12 Pengaruh jumlah lapisan <i>carbon fiber</i> terhadap modulus elastisitas	52
Gambar 4-13 Pengaruh jumlah lapisan <i>carbon fiber</i> terhadap kekakuan	54
Gambar 4-14 Pengaruh jumlah lapisan <i>carbon fiber</i> terhadap kekakuan spesifik	55

DAFTAR NOTASI

σ_b	= Tegangan <i>Bending</i> Maksimal (<i>MPa</i>)
E_b	= Modulus Elastisitas (<i>MPa</i>)
P	= Beban Yang Diberikan (<i>N</i>)
D	= Kekakuan <i>Bending</i> (<i>Nmm²</i>)
L	= Jarak Antara Titik Tumpuan (<i>mm</i>)
b	= Lebar spesimen (<i>mm</i>)
h	= Tebal Spesimen (<i>mm</i>)
I	= Momen Inersia (<i>mm⁴</i>)
δ	= Defleksi (<i>mm</i>)
W	= Massa (<i>gram</i>)
D_{spe}	= Kekakuan spesifik (<i>Nmm²/gr</i>)

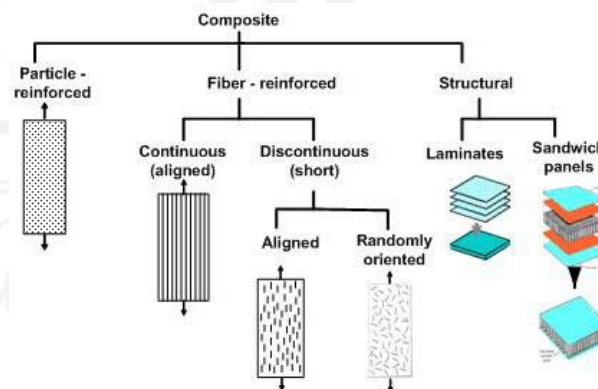
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan yang sangat pesat pada saat ini memunculkan sebuah penemuan di berbagai macam bidang, tanpa terkecuali pada bidang material Prayoga et al.,(2018). Pada bidang material maka diperlukannya aspek yang berkaitan dengan struktur, sifat serta karakteristik suatu material. Berdasarkan aspek tersebut maka diperlukannya suatu material dengan struktur yang mempunyai sifat kuat tetapi ringan. Untuk memenuhi aspek tersebut maka material komposit menjadi salah satu alternatif solusinya.

Komposit merupakan material yang terbuat dari dua atau lebih material dimana sifat masing-masing material berbeda satu sama yang lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya tetap terpisah dalam hasil akhir material tersebut. Produk dari komposit memiliki keunggulan yaitu kuat, ringan dan sifat mekanis yang lebih baik. Berdasarkan tipe struktur komposit seperti pada Gambar 1-1 dibagi menjadi dua yaitu struktur laminar dan struktur *sandwich*. Kelebihan dari komposit *sandwich* dibandingkan dengan laminar adalah terdapatnya *core* sebagai pengisi dan *skin* sebagai penguat (Prayoga et al., 2018).

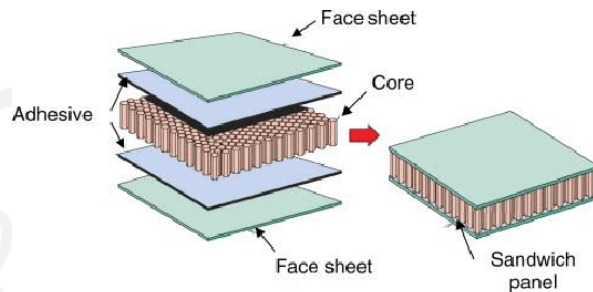


Gambar 1-1 Klasifikasi jenis komposit

Sumber : (Serikat & Av-, 1985)

Komposit *sandwich* adalah material yang tersusun dari 3 material atau lebih yang terdiri dari *flat composite* sebagai *skin* serta material inti (*core*) dibagian tengahnya dan perekat untuk merekatkan kedua material tersebut. Material perekat

tersebut yaitu resin sebagai (*matriks*) untuk menggabungkan antara *skin* dan *core* ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 1-2. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal namun mempunyai kekakuan serta kekuatan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua *skin* dipasang *core* (Diharjo, 2011).



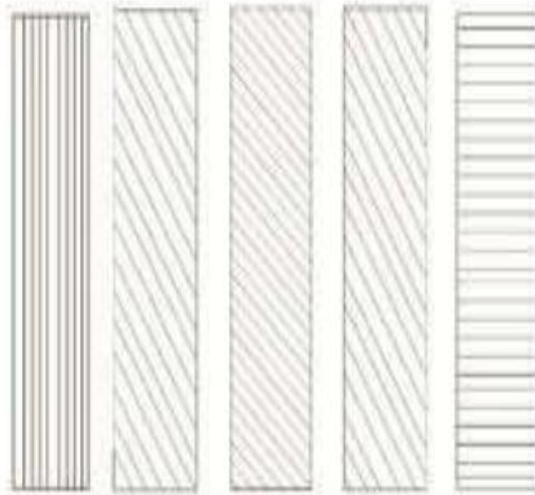
Gambar 1-2 Struktur komposit *sandwich*

Sumber : (Diharjo, 2011)

Dengan *core* yang digunakan sebagai inti dari komposit *sandwich* maka diperlukannya *core* yang kuat, kaku dan ringan. *Core* dibuat dengan menggunakan 3D *printing* untuk mencetaknya karena dengan menggunakan 3D *printing* proses pembuatan produksinya lebih cepat, mudah dan detail sehingga hasilnya lebih optimal. (Kumara et al., 2018).

Pada komposit *sandwich* material *core* yang digunakan adalah hasil dari 3D *printing*. Terdapat sebuah penelitian terkait variasi pola *square*, *triangle* dan *honeycomb* dengan variasi ketebalan *core* 10, 15 dan 20 dengan material *filament* ABS terhadap kekuatan *bending*. Maka didapatkan hasil tegangan *bending* terbaik dengan *core* pola *square* dan ketebalan 10mm. berdasarkan penelitian tersebut maka penelitian ini menggunakan *core* 3D *printing* dengan pola *square* dan tebal 10mm. Sedangkan material *skin* yang digunakan yaitu serat *carbon fiber* karena memiliki karakteristik yang ringan, kekuatan dan kekakuan yang sangat tinggi.

Pada penelitian Robiansyah, (2021) meneliti terkait tentang pengaruh orientasi arah serat terhadap kekuatan tarik dan kekuatan *bending* komposit berpenguat serat karbon dengan arah orientasi serat 0°, 45° dan 90° seperti pada Gambar 1-3. Berdasarkan penelitian tersebut hanya meneliti 1 motif *carbon* saja. Oleh karena itu penelitian ini membahas terkait orientasi motif *carbon fiber twill*, *unidirectional* dan acak terhadap kekuatan *bending*.



Gambar 1-3 Orientasi arah serat

Sumber : (Robiansyah, 2021)

Pada proses komposit memiliki beberapa jenis pembuatan, yaitu ada proses *hand lay-up*, *spray-up*, *vacuum bag* dan *vacuum infusion*. jika dibandingkan dengan metode yang lain. Metode *vacuum infusion* memiliki kelebihan yaitu adalah lebih kecilnya kemungkinan udara untuk terperangkap dalam lapisan komposit dan penyebaran resin yang merata.

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis melakukan penelitian terkait komposit *sandwich* untuk menghasilkan produk yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi dengan menggunakan metode *vacuum infusion*. Parameter yang diteliti adalah orientasi *carbon fiber* motif (*twill*, *unidirectional*, acak) dan jumlah lapisan *skin* pada spesimen uji sebanyak 1, 2 dan 3 lapisan untuk mengetahui kekuatan dan kekakuan terhadap pengujian *bending*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh orientasi *carbon fiber* terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan dan kekakuan spesifik komposit *sandwich*?
2. Bagaimana pengaruh jumlah lapisan *skin carbon fiber* (1,2, dan 3 lapis) terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan dan kekakuan spesifik komposit *sandwich*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan *core* menggunakan mesin 3D *Printing* dengan material ABS merk eSUN.
2. Orientasi *skin carbon fiber* yang digunakan adalah motif *Twill*, *Unidirectional* dan Acak.
3. Jumlah lapisan *skin carbon fiber* yang digunakan adalah sebanyak 1,2 dan 3 lapisan.
4. Pengujian *bending* dilakukan menggunakan metode *Three Point Bending*.
5. Spesimen komposit *sandwich* dibuat mengacu pada standar ASTM C393.
6. Perekat yang digunakan adalah *epoxy adhesive*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. mengetahui pengaruh orientasi *carbon fiber* motif *twill*, *unidirectional* dan acak terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan dan kekakuan spesifik komposit *sandwich* menggunakan metode *vacuum infusion*.
2. mengetahui pengaruh jumlah 1, 2, 3 lapisan *skin carbon fiber* terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan dan kekakuan spesifik komposit *sandwich* menggunakan metode *vacuum infusion*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat setelah melakukan pengujian ini, yaitu:

1. Mengetahui bagaimana proses pembuatan komposit sandwich menggunakan metode *vacuum infusion*.
2. Mengetahui pengaruh jenis orientasi *carbon fiber* motif *twill*, *unidirectional* dan acak serta jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap kekuatan spesimen.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian atau perancangan, manfaat penelitian atau perancangan, dan sistematika penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan tinjauan pustaka mengenai dasar teori yang melandasi pembuatan skripsi.

BAB III Metode Penelitian

Pada bab ini berisikan diagram alir penelitian, alat dan bahan, prosedur penelitian, dan pengujian spesimen.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisikan analisa data, hasil pengujian *bending*, dan penampilan grafik dan tabel.

BAB V Penutup

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam penelitian yang berjudul *3D printing of composite sandwich structures using continuous carbon fiber and fiber tension* oleh Sugiyama et al., (2018) menyampaikan tentang komposit *sandwich* dengan *core 3D printing* berbahan ABS dengan menggunakan mesin *3D printing* tipe FDM. Dalam komposit *sandwich* tersebut *core* dilapisi dengan *carbon fiber* dan diresapi oleh resin dan didapatkan bahwa sifat mekanik komposit sangat bergantung pada bentuk inti.

Pada proses komposit *sandwich* terdapat beberapa metode yang digunakan antara lain, *hand lay-up*, *vacuum infusion* dan *vacuum bagging*. Oleh karena itu Abdurrohman et al., (2018) meneliti tentang perbandingan kekuatan dari komposit dengan metode *hand lay-up*, *vacuum infusion* dan *vacuum bagging* yang berjudul “*A comparison process between hand lay-up, vacuum infusion and vacuum bagging method toward e-glass EW 185/lycal composites*”. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil metode *vacuum infusion* lebih tinggi dibanding dengan metode *hand lay-up*. Selain karena metode *vacuum infusion* lebih tinggi nilai kekuatan dan modulus, dinilai pembuatan dengan metode *vacuum infusion* lebih efektif dibanding metode *hand lay-up* karena resin yang berlebih akan dihisap ke *filter vacuum*.

Pada penelitian oleh Robiansyah, (2021) meneliti terkait tentang pengaruh orientasi arah serat terhadap kekuatan tarik dan kekuatan *bending* komposit berpenguat serat karbon dengan arah orientasi serat 0°, 45° dan 90°. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil kekuatan *bending* komposit dengan resin *epoxy* berpenguat serat *carbon* adalah arah serat sudut 0° sebesar 609,17 MPa. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut terkait orientasi *carbon fiber* dengan motif *twill*, *unidirectional* dan acak untuk mengetahui nilai kekuatan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending* dan kekakuan spesifik.

Selain parameter orientasi *carbon fiber* terdapat parameter penting lainnya yaitu pengaruh jumlah lapisan *carbon fiber* pada komposit *sandwich* terhadap kekuatan *bending*. Hal ini didukung pada penelitian Muhammad, (2022) yang berjudul “Pengaruh Jumlah *Layer* Terhadap Karakteristik Mekanik Komposit *Sandwich Carbon Fiber WR 3K Tow-Divynycell H Foam Core*”. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan hasil komposit *sandwich* mengalami kenaikan tegangan *bending* seiring penambahan jumlah lapisan pada variasi 4 lapisan dengan nilai tegangan 55 MPa.

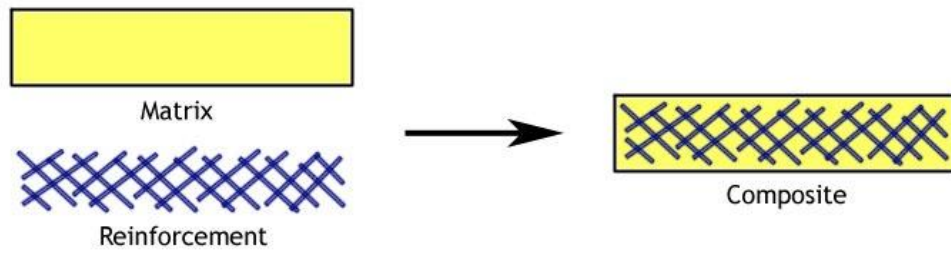
Berdasarkan dari runtutan kajian pustaka yang telah dikutip maka pada penelitian ini membahas tentang orientasi *carbon fiber twill, unidirectional* dan acak serta jumlah lapisan (1, 2, dan 3 lapis) *carbon fiber* terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan dan kekakuan spesifik komposit *sandwich* dengan menggunakan metode *vacuum infusion*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Kata komposit sebenarnya memiliki banyak sekali definisi tergantung dari situasi dan perkembangan bahan itu sendiri. Secara umum dapat didefinisikan komposit merupakan satu atau lebih jenis bahan rekayasa yang digabungkan dimana sifat masing masing bahan berbeda satu sama lainnya baik sifat kimia ataupun fisiknya dan tetap terpisah masing masing hasil akhirnya seperti pada Gambar 2-1.

Komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya lebih ringan, lebih murah, kekuatan dan kekakuan lebih tinggi, tahan korosi dan memiliki biaya perakitan yang lebih murah dibandingkan dengan material konvensional yang sering kita temui.



Gambar 2-1 Susunan komposit

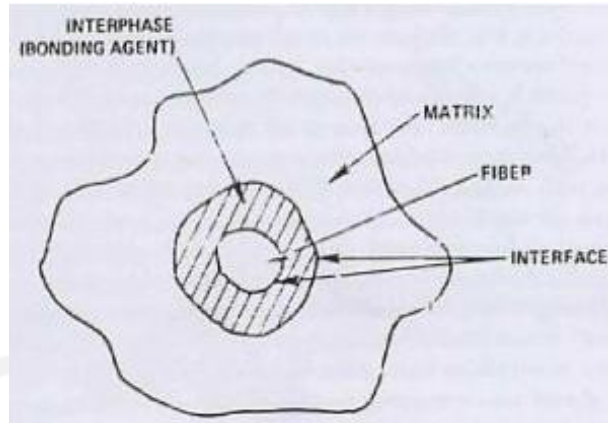
Sumber : (Idris et al., 2018)

2.2.2 Matriks

Matriks pada struktur komposit berasal dari bahan polimer atau logam. Syarat utama matriks yang digunakan pada komposit ialah matriks harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matriks serta kompatibel antara serat dan matriks. Matriks dalam susunan komposit dapat dilihat pada Gambar 2-2 berguna untuk melindungi serta mengikat serat supaya dapat bekerja dengan baik. Selain itu, matriks juga berfungsi menjadi pelapis serat (Nayiroh, 2013).

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Adapun fungsi matriks sebagai berikut:

1. Mentransfer tegangan ke serat.
2. Membentuk ikatan koheren permukaan matriks/serat.
3. Melindungi serat.
4. Memisahkan serat.
5. Melepas ikatan.
6. Tetap stabil proses manufaktur.

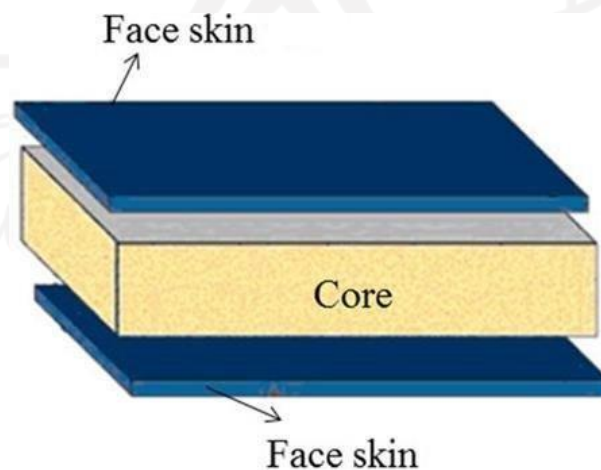


Gambar 2-2 Penyusun komposit
sumber : (Nayiroh, 2013)

Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya: Matrik (penyusun dengan fraksi *volume* terbesar), Penguat (penahan beban utama), *Interphase* (pelekat antar dua penyusun), *interface* (permukaan *phase* yang berbatasan dengan *phase* lain).

2.2.3 Komposit Sandwich

Ada berbagai macam jenis komposit dan salah satunya adalah komposit *sandwich* yang merupakan salah satu dari jenis komposit yang komponennya tersusun dari tiga material atau lebih yang terdiri dari *flat composite* sebagai *skin* dan *core* dibagian tengahnya seperti pada Gambar 2-3 (Steeves & Fleck, 2004).



Gambar 2-3 Komposisi komposit *sandwich*

Sumber : (A Typical Sandwich Composite / Download Scientific Diagram, n.d.)

2.2.4 Core

Core adalah bagian inti dari komposit *sandwich* dapat dilihat pada Gambar 2-4, bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Dengan kekakuannya, *core* mampu menahan beban geser agar tidak *slide* antar permukaan. *Core* harus menggunakan bahan dengan kekakuan yang tidak rendah supaya kekakuan pada komposit *sandwich* tidak berkurang. (Hidayat et al., 2016).

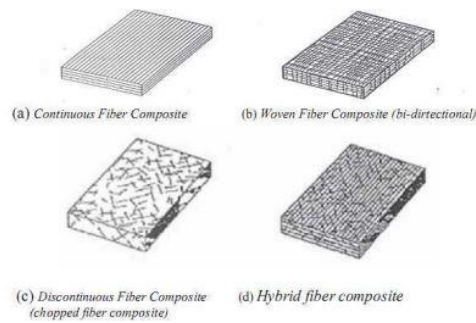


Gambar 2-4 Jenis *core* 3D print

Sumber : (Kolusz & Rydz, 2019)

2.2.5 Skin (Carbon Fiber)

Skin merupakan struktur *sandwich* yang berfungsi untuk pelapis *core* pada saat melakukan proses komposit *sandwich*. Untuk melakukan metode ini *skin* harus direkatkan secara rapat ke *core* dengan menggunakan resin dan *hardener* sebagai perekatnya. Fungsi utama *skin*/serat *carbon fiber* adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat bergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit awalnya diterima oleh matrik dan akan diteruskan pada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum yang diterimanya. Oleh sebab itu serat harus memiliki tegangan tarik dan modulus elastisitas yang tinggi daripada matrik penyusunnya Nayiroh, (2013). Terdapat beberapa motif anyaman serat *carbon fiber* yang dapat dilihat pada Gambar 2-5 yaitu serat lurus, *woven* dan acak.



Gambar 2-5 Orientasi *carbon fiber*

Sumber : (Nayiroh, 2013)

2.2.6 Adhesive

Untuk menciptakan suatu komposit *sandwich* dengan sifat mekanik yang baik, selain dibutuhkan *skin* yang kuat dan *core* yang kuat, juga dibutuhkan suatu *adhesive* yang tepat sehingga bisa membentuk ikatan yang kuat antara *skin* dan *core*. Pada Gambar 2-6 menunjukkan gambar *adhesive* yang digunakan pada penelitian ini. *Adhesive* berfungsi untuk mengikat antara partikel-partikel dari serat penguat karena *adhesive* harus mampu mentransfer gaya geser antara *core* dan *skin* supaya kekuatan komposit *sandwich* tetap terjaga (Canyurt et al., 2008).



Gambar 2-6 Adhesive epoxy

Sumber : (Canyurt et al., 2008)

2.2.7 3D printing

Printer 3D dimensi merupakan *printer* yang menampilkan data dalam bentuk cetakan. Dengan teknologi 3D *printing* dapat membuat *prototype* tanpa harus menghabiskan bahan baku ataupun material. Desain produk 3D dapat dibuat

dengan bantuan computer atau *scanner* 3D, proses ini menganalisa dan mengumpulkan data dari objek nyata untuk kemudian bentuk dan penampilannya dibuat *digital* sebagai model tiga dimensi. 3D *printing* seperti pada Gambar 2-7 memiliki banyak kelebihan salah satunya verifikasi yang cepat dan bagian *volume* produksi yang rendah, namun 3D *printing* juga memiliki kelemahan salah satunya ialah ketidakmampuan untuk menghasilkan bagian dengan sifat material yang setara dengan yang dibuat subtraktif atau teknik formatif.



Gambar 2-7 Mesin 3D *printing*

Sumber : (<https://www.flashforge.com/product-detail/flashforge-creator-pro-3d-printer>)

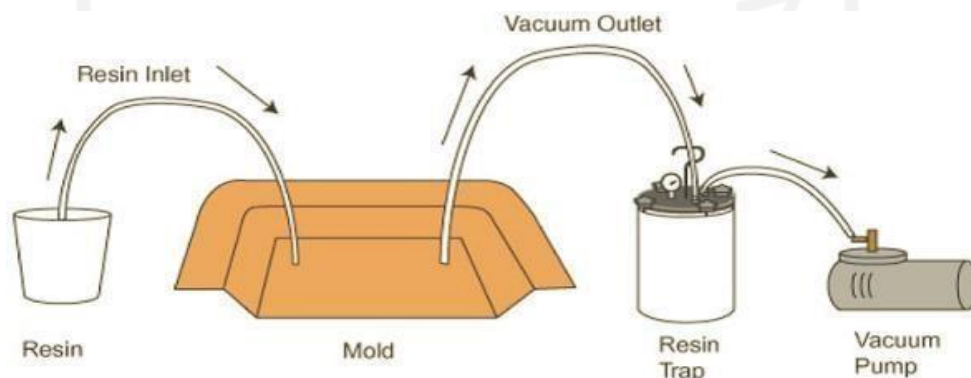
2.2.8 Vacuum Infusion

Vacuum infusion adalah salah satu metode pembuatan komposit modern yang dapat menggantikan metode *hand lay-up* dan *spray up* pada pembuatan komposit, dengan menggunakan metode *vacuum infusion* dapat meminimalisir udara yang terperangkap pada saat proses komposit. Metode *vacuum infusion* dapat digunakan secara berulang-ulang dengan kualitas yang sangat bagus dibandingkan dengan metode lainnya. (Yuhazri et al., 2010).

Metode *vacuum infusion* dapat dilihat pada Gambar 2-8 dilakukan dengan memasukkan resin kedalam cetakan yang sudah dibuat sebelumnya yang dibantu dengan pompa vakum. Metode ini memiliki kelebihan dapat mendistribusikan resin kedalam cetakan secara menyeluruh akibat daya tarik yang disebabkan oleh pompa

vakum sehingga terjadi kevakuman yang maksimal pada cetakan yang menyebabkan peningkatan sifat mekanik pada hasil komposit tersebut.

Metode pembuatan komposit konvensional seperti *spray up* dan *hand lay-up* lebih mudah dilakukan, akan tetapi hasil daripada metode tersebut cenderung memiliki rongga dikarenakan udara yang terperangkap pada proses komposit. Metode *vacuum infusion* memiliki beberapa kelemahan salah satunya ketika proses vakum, resin dialirkan melalui selang menuju cetakan. Ketika proses resin dialirkan durasi waktu menjadi sangat penting. Apabila proses terlalu lama maka resin akan cepat mengeras sebelum mengalir menyeluruh ke dalam cetakan. (Saputra & Setyarso, 2016).



Gambar 2-8 Proses *vacuum infusion*

Sumber : (Fathoni, 2019)

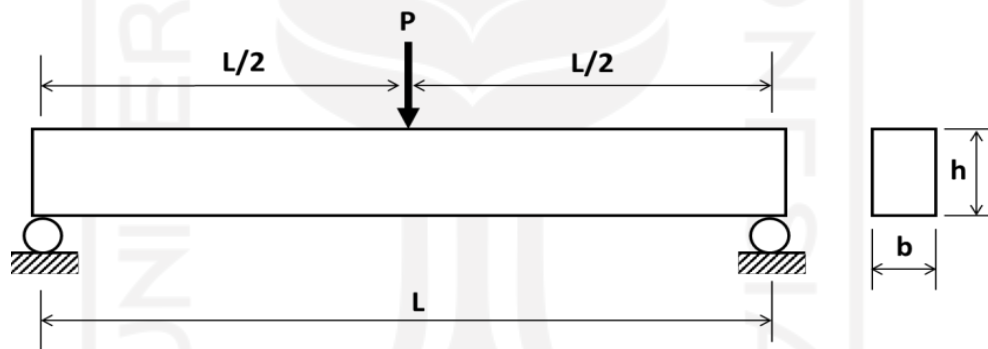
2.2.9 Pengujian Kekuatan (Uji *bending*)

Untuk mengetahui kekuatan *bending* suatu material bisa dilakukan dengan pengujian *bending* terhadap material komposit tersebut. Kekuatan *bending* atau kekuatan lengkung adalah tegangan *bending* terbesar yang bisa diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar ataupun kegagalan. Besar kekuatan *bending* bergantung pada tipe material serta pembebanan. Akibat pengujian *bending*, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sementara itu bagian dasar akan mengalami tegangan tarik Herlina Sari, (2011). Pada pengujian *bending* ini mengacu pada standar ASTM C393 dengan metode *three point bending*. Pada pengujian ini dapat dilakukan untuk menentukan kekakuan lentur *sandwich*, kekuatan geser inti dan kekuatan tekan dan tarik permukaan Drews, (2008). Pada

penelitian ini menggunakan mesin uji *bending* J.T.M. TECHNOLOGY CO., LTD model JTM-UTC220.



Gambar 2-9 Alat uji *bending* JTM-UTC220



Gambar 2-10 Pembebanan lentur *three point bending*

Rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan *bending* sebagai berikut:

- Kekuatan Tegangan *Bending*

$$\sigma b = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

- Momen Inersia *Sandwich*

$$I = \frac{1}{12} bh^3 \dots\dots\dots (2.2)$$

- Modulus Elastisitas

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bh^3} \times \frac{P}{\delta} \dots\dots\dots (2.3)$$

- Kekakuan *Bending*

$$D = Eb \times l \dots\dots\dots (2.4)$$

- Kekakuan Spesifik

$$D \text{ spesifik} = \frac{D}{W} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

σ_b = Tegangan *Bending* Maksimal (MPa)

E_b = Modulus Elastisitas (MPa)

P = Beban Yang Diberikan (N)

D = Kekakuan *Bending* (Nmm²)

L = Jarak Antara Titik Tumpuan (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

h = Tebal Spesimen (mm)

I = Momen Inersia (mm⁴)

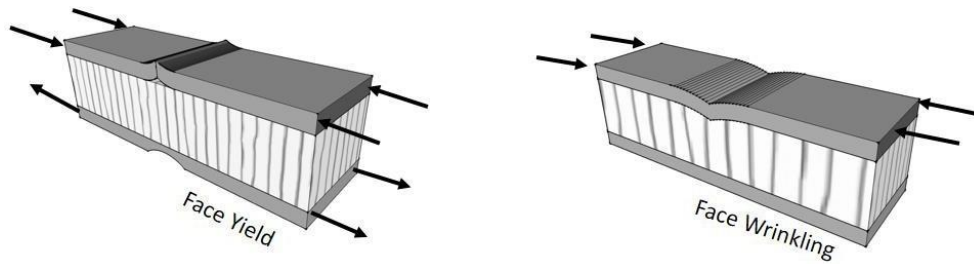
δ = Defleksi (mm)

W = Massa (gr)

$D \text{ spe}$ = Kekakuan spesifik (Nmm²/gr)

2.2.10 Modus Kegagalan Uji *Bending* Komposit *Sandwich*

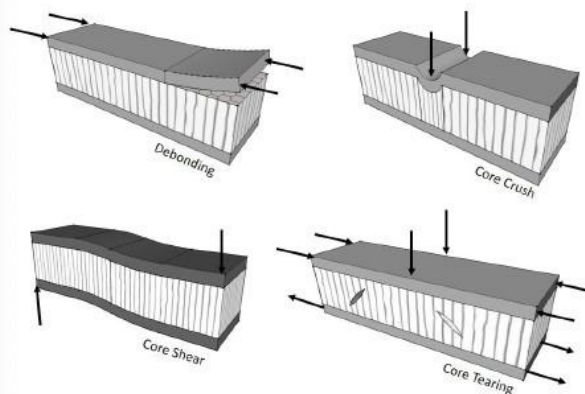
Dalam aplikasinya pada bidang rekayasa, komposit *sandwich* mengalami beragam beban mekanik, seperti beban tekan, tarik, geser, punter, dan lentur. Terkadang, dalam pengaplikasiannya tidak sedikit juga beban yang dialami oleh material ini melebihi beban pada awal perancangan sehingga menyebabkan terbentuknya kegagalan pada material ini. Menurut (Petras, 1998) pada Gambar 2-11 dan Gambar 2-12 dapat dilihat jenis kegagalan pada komposit *sandwich*:



Gambar 2-11 Jenis-jenis kegagalan pada komposit *sandwich*

Sumber :(Petras, 1998)

Pada kegagalan *skin* komposit *sandwich* pertama adalah *face yield* dimana bisa terjadi pada saat tegangan normal melebihi tegangan luluh material *skin*. Bila material *skin* bersifat getas, sehingga kegagalan *face yield* kemungkinan besar terjadi pada *skin* bagian atas karena lebih kritis terhadap tegangan tekan. Kemudian kegagalan *face wrinkling* ialah fenomena *buckling* yang terjadi pada *skin* atas akibat tegangan tekan serta minimnya *support* dari *core* karena dimensi dari struktur *core* yang sangat besar (densitas rendah).



Gambar 2-12 Jenis-jenis Kegagalan pada *core* komposit *sandwich*

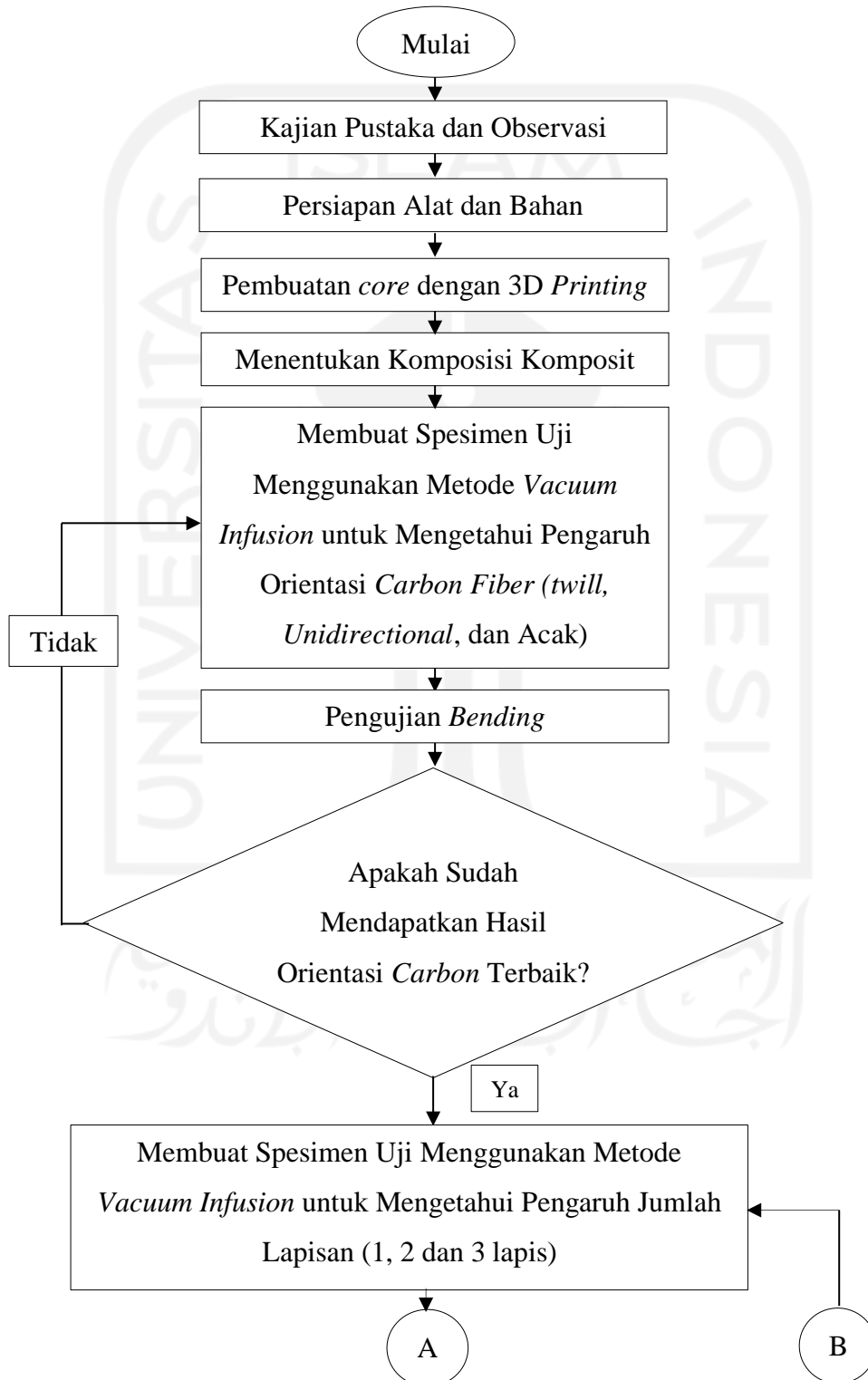
Sumber :(Petras, 1998)

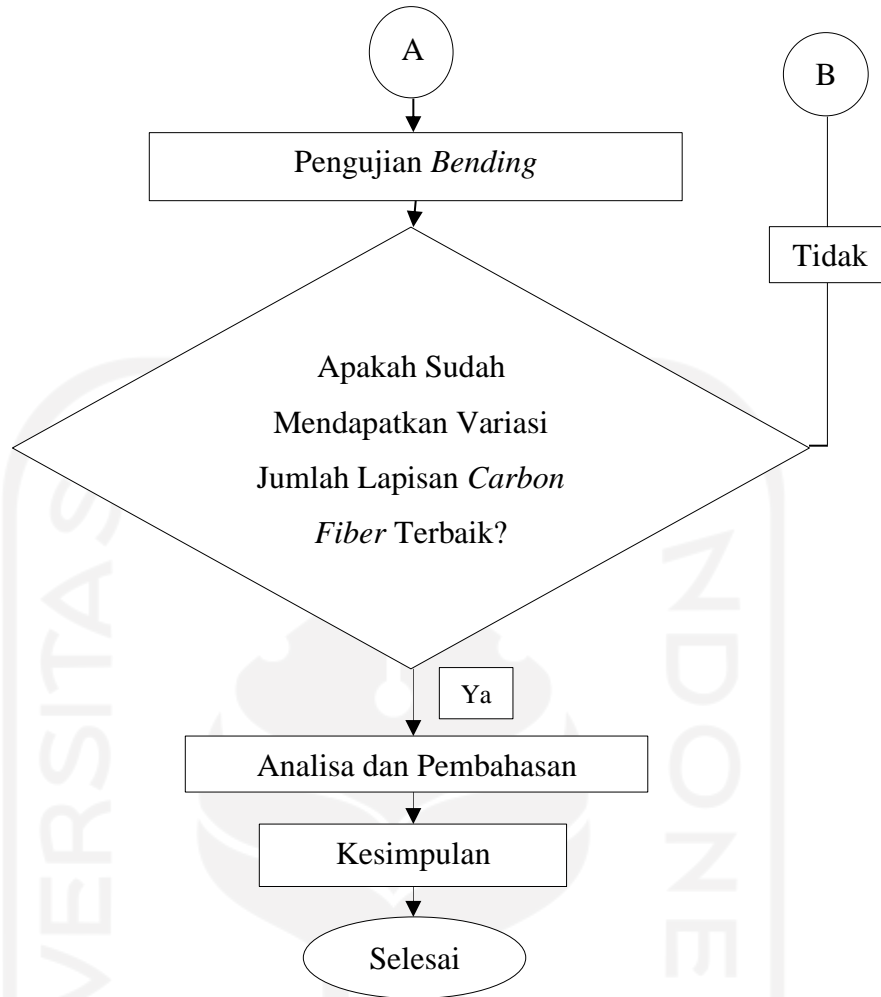
Pada kegagalan *core* terdapat 4 jenis kegagalan, dimana pada kegagalan *debonding* kegagalan yang terjadi ialah susunan *skin* terlepas dari bagian *core* spesimen. Untuk *core crush* kegagalan yang terjadi ialah perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen. Untuk *core shear* kegagalan yang terjadi adalah spesimen berubah bentuk akibat pembebanan yang diberikan. Sementara itu untuk kegagalan *core tearing* jenis kegagalan yang terjadi ialah pecahnya atau terlepasnya bagian *core* spesimen akibat gaya gesek pada bagian tengah spesimen.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian





Gambar 3-1 Alur penelitian

3.2 Parameter Penelitian

Pada penelitian ini digunakan beberapa parameter penelitian tetap dan variasi.

3.2.1 Parameter Orientasi *Carbon Fiber*

Parameter tetap dan variasi pada orientasi *carbon fiber* dapat dilihat pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Parameter tetap dan variasi orientasi *carbon fiber*

No	Parameter Tetap			Parameter Variasi
	Rasio Resin dan Hardener	Perekat	Tekanan Vacuum	Orientasi <i>Carbon Fiber</i>
1	60:40	<i>Epoxy Adhesive</i>	-14 Psi	Orientasi <i>Carbon Twill</i>
2	60:40	<i>Epoxy Adhesive</i>	-14 Psi	Orientasi <i>Carbon Unidirectional</i>
3	60:40	<i>Epoxy Adhesive</i>	-14 Psi	Orientasi <i>Carbon Acak</i>

Pada variasi orientasi *carbon fiber* dilakukan pengujian *bending* antara *carbon twill*, *unidirectional* dan acak. Setelah didapatkan variasi terbaik berdasarkan nilai tegangan *bending* tertinggi antara *carbon twill*, *unidirectional* dan acak, maka selanjutnya orientasi *carbon fiber* yang terbaik akan digunakan untuk variasi jumlah 1, 2 dan 3 lapisan *carbon fiber*.

3.2.2 Parameter Jumlah Lapisan *Carbon Fiber*

Parameter tetap dan variasi pada jumlah lapisan *carbon fiber* dapat dilihat pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Parameter tetap dan variasi jumlah lapisan *carbon fiber*

No	Parameter Tetap			Parameter Variasi
	Rasio Resin dan <i>Hardener</i>	Perekat	Tekanan <i>Vacuum</i>	Orientasi Jumlah Lapisan <i>Carbon fiber</i>
1	60:40	<i>Epoxy Adhesive</i>	-14 Psi	Jumlah 1 Lapisan <i>Carbon fiber</i>
2	60:40	<i>Epoxy Adhesive</i>	-14 Psi	Jumlah 2 Lapisan <i>Carbon fiber</i>
3	60:40	<i>Epoxy Adhesive</i>	-14 Psi	Jumlah 3 Lapisan <i>Carbon fiber</i>

3.3 Peralatan dan Bahan

1. *Vacuum Pump*

Vacuum pump yang bermerk krisbow dengan tenaga sebesar ½ HP yang berfungsi sebagai penghisap udara pada saat proses *vacuum infusion* yang dapat dilihat pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2 *Vacuum pump*

2. *Vacuum Catch Trap*

Pada Gambar 3-3 menunjukkan *vacuum catch trap* yang berfungsi sebagai penyerap resin agar tidak masuk kedalam *vacuum pump* dan juga sebagai pengontrol terhadap tekanan *vacuum*.



Gambar 3-3 *Vacuum catch trap*

3. Timbangan

Pada Gambar 3-4 menunjukkan timbangan yang berfungsi untuk mengukur berat spesimen sebelum dan sesudah dilakukan proses *vacuum infusion* dan juga digunakan untuk mengukur rasio berat resin dan *hardener*.



Gambar 3-4 Timbangan

4. ABS

Pada Gambar 3-5 menunjukkan Acrylonitrile Butane Styrene (ABS) yang merupakan bahan dasar pembuatan *3D printing*. filament ABS ini digunakan untuk pembuatan *core* untuk membuat produk komposit *sandwich*.



Gambar 3-5 ABS

5. Resin dan Hardener

Resin dan *hardener* seperti pada Gambar 3-6 adalah senyawa kimiawi yang berguna sebagai pengikat antara inti *3D printing* dan *carbon fiber*. Resin membutuhkan *hardener* agar mempercepat terjadinya reaksi pengerasan pada resin. Resin dan *hardener* yang digunakan dalam penelitian ini bermerk *justus eposchon*.



Gambar 3-6 Resin dan *hardener*

6. Katup *Vacuum*

Katup *vacuum* pada Gambar 3-7 yang berfungsi untuk mengatur udara dari *vacuum pump* dan saluran udara *input* resin.



Gambar 3-7 Katup *vacuum*

7. Serat *Carbon Fiber Unidirectional*

Serat *carbon fiber* seperti pada Gambar 3-8 yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi sebagai bahan pengikat dalam sebuah produk komposit, sehingga resin dan serat fiber dapat saling berikatan. Serat fiber yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *carbon fiber unidirectional* (searah) grade A 12k 300 gsm.



Gambar 3-8 Serat *carbon fiber unidirectional*

8. Serat *Carbon Fiber Twill*

Serat *fiber* yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada Gambar 3-9 yaitu *carbon fiber* jenis *twill grade A 3K 200* *gsm*.



Gambar 3-9 Serat *carbon fiber twill*

9. Plastik *Vacuum*

Pada Gambar 3-10 menunjukkan plastik *vacuum* yang berfungsi untuk menjaga perbedaan tekanan di dalam dan diluar cetakan.



Gambar 3-10 Plastik *vacuum*

10. Kain Strimin

Pada Gambar 3-11 dibawah ini menunjukkan kain strimin yang berfungsi sebagai media agar plastik tidak merekat secara permanen pada permukaan produk.



Gambar 3-11 Kain strimin

11. Kain *Peel Ply*

Kain peel ply yang ditunjukkan pada Gambar 3-12 berfungsi sebagai pemisah antara kain strimin dengan serat *carbon fiber* agar pada saat proses pelepasan produk tidak terdapat garis-garis yang disebabkan oleh kain strimin.



Gambar 3-12 *Peel ply*

12. Selang Spiral

Selang spiral pada Gambar 3-13 yang berongga ini berfungsi untuk menyalurkan aliran tekanan dari *vacuum pump* dan tempat mengalirnya resin.



Gambar 3-13 Selang *spiral*

13. Selang Pneumatik

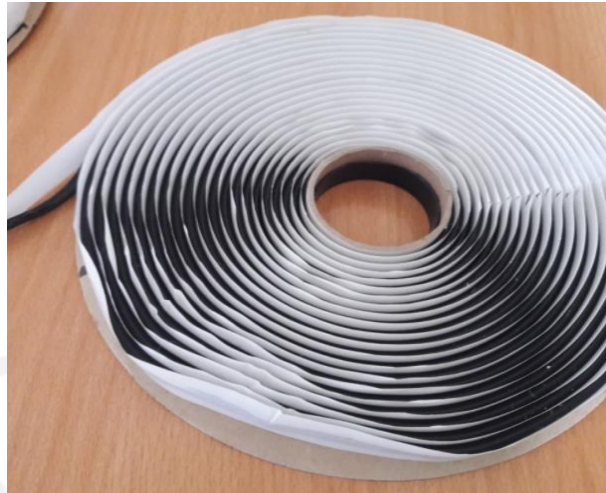
Pada Gambar 3-14 yaitu selang pneumatik yang berfungsi sebagai penyalur aliran tekanan udara dari *vacuum pump* dan sebagai saluran infus pada resin saat proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-14 Selang pneumatik

14. Sealent Tape

Pada gambar Gambar 3-15 menunjukkan sealant tape yang berfungsi untuk merekatkan *vacuum bag* di setiap sisi supaya tidak terjadi kebocoran udara.



Gambar 3-15 Sealant tape

15. Release Wax

Pada Gambar 3-16 dibawah menunjukkan *realase wax*, yang berfungsi untuk melapisi media supaya mudah dilepas.



Gambar 3-16 Realase wax

16. Perekat Resin Dan Hardener

Pada Gambar 3-17 menunjukkan perekat resin dan *hardener*, yang berfungsi untuk merekatkan *carbon fiber* ke spesimen uji.



Gambar 3-17 Perekat resin dan *hardener*

17. Selotip Kertas

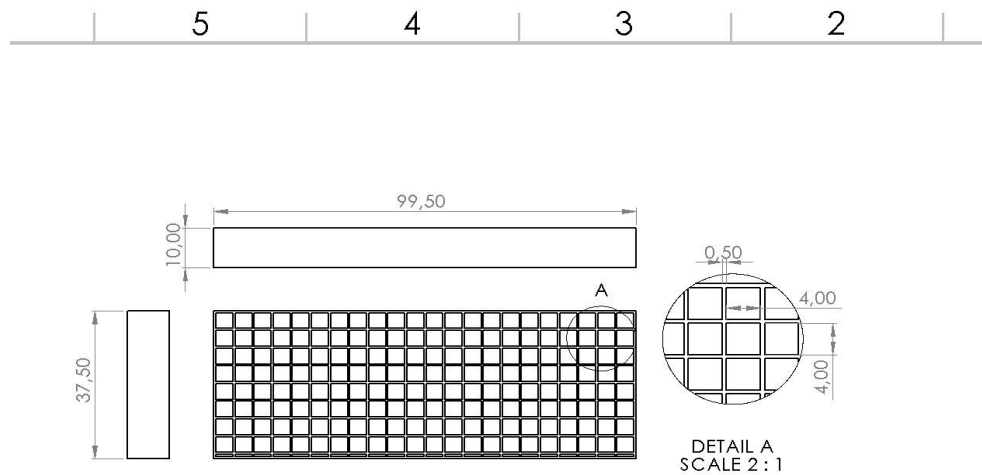
Pada Gambar 3-18 menunjukkan selotip kertas berfungsi untuk menutupi pola spesimen supaya pada saat proses *vacuum* dilakukan pola pada spesimen tidak kemasukan resin ke dalam pola.



Gambar 3-18 Selotip kertas

3.4 Dimensi Spesimen *Bending*

Spesimen komposit *sandwich* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan standar ASTM C393, dengan infill 100% dan pola *square*.

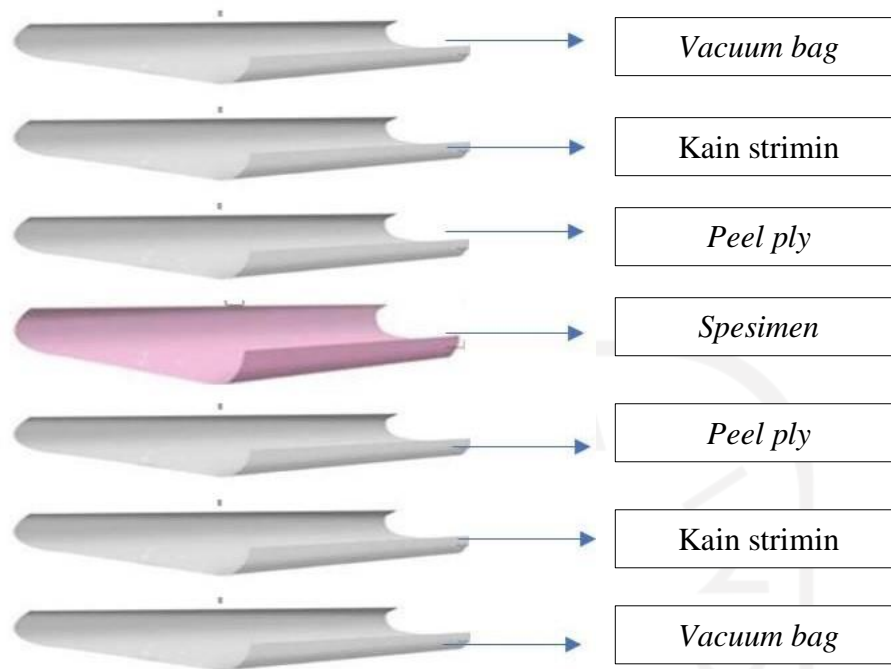


Gambar 3-19 Dimensi spesimen

Pada Gambar 3-19 menunjukkan dimensi spesimen yang akan dibuat pada penelitian ini, dengan Panjang 100mm, lebar 37,5mm dengan di skala 1:2 dari ukuran asli standar ASTM C393 dengan ketebalan divariasikan 10 mm. Untuk ukuran pola *square* pada spesimen berukuran 4mm dengan jarak tiap pola *square* 0,5mm.

3.5 Komposisi Komposit *Sandwich*

Pada Gambar 3-20 menunjukkan ilustrasi proses komposit *sandwich* yang digunakan dalam penelitian ini, dimana pada penelitian orientasi *skin* spesimen dilapisi *carbon fiber* dengan motif *twill*, *unidirectional* dan acak sebanyak satu lapis. Sedangkan dalam jumlah lapisan spesimen uji dilapisi dengan *carbon fiber* sebanyak 1,2 dan 3 lapisan dengan motif *carbon fiber* terbaik sesuai data pengujian *bending* dari motif *twill*, *unidirectional* dan acak.

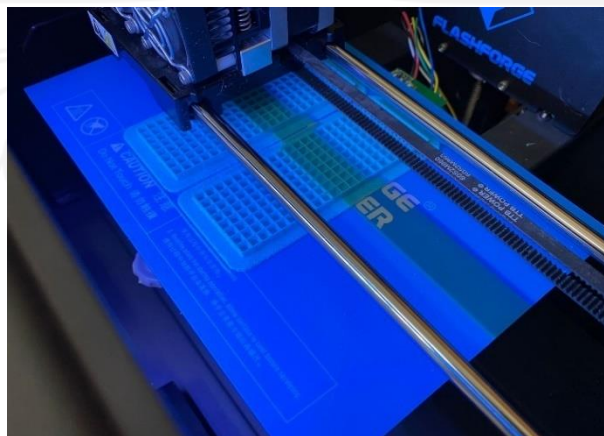


Gambar 3- 20 Komposisi komposit *sandwich*

3.6 Proses Pengerjaan

3.6.1 Pembuatan *Core* Dengan Mesin 3D *Printing*

Pada Gambar 3-21 ini menunjukkan proses pembuatan *core* yang berbentuk pola *square* dengan menggunakan 3D *printing*. spesimen uji dibuat dengan menggunakan bahan ABS (*Acrylonitrile Butane Styrene*), dengan *infill* 100%, suhu meja 105°C, suhu *nozzle* 240°C, dan *speed* 30mm/s.



Gambar 3-21 Proses pembuatan *core*

3.6.2 Proses *Vacuum Infusion*

1. Pemasangan *vacuum bag* dan *sealant tape* dapat dilihat pada Gambar 3-22.



Gambar 3-22 Pemasangan *sealant tape*

2. Pemasangan Kain Strimin

Pada Gambar 3-23 dapat dilihat kain strimin yang berfungsi sebagai pemisah antara plastik vakum dengan *peel ply* dan juga untuk mempercepat menyebarnya resin pada saat proses vakum.



Gambar 3-23 Pemasangan kain strimin

3. Pemasangan *Peel Ply*

Pada Gambar 3-24 menunjukkan *peel ply* yang berfungsi sebagai pemisah antara serat *carbon fiber* dengan kain strimin agar kain strimin tidak menyatu dengan *carbon fiber*. Kemudian pada *peel ply* dioleskan *wax gloss* untuk memudahkan spesimen dilepas pada cetakan komposit.



Gambar 3-24 Pemasangan *peel ply*

4. Pemasangan Selang Infus *Input* Dan *Output*

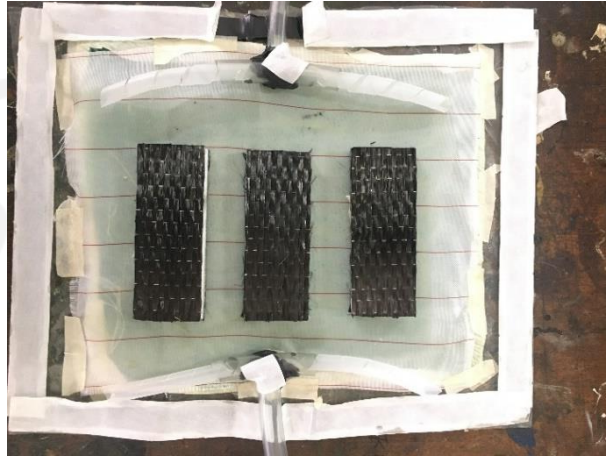
Pada Gambar 3-25 dibawah ini yaitu pemasangan Selang T akan diletakan sebagai perantara aliran resin. Terdapat 2 jalur yaitu *Inlet* yang berfungsi sebagai masuknya resin kedalam susunan komposit *sandwich* dan *Outlet* sebagai *resin trap* agar resin tidak berlebih didalam plastik *vacuum*. Alasan selang dibuat melingkar seperti huruf T agar resin dapat memenuhi semua bagian.



Gambar 3-25 Pemasangan selang T *input* dan *output*

5. Pemasangan Spesimen

Sebelum menutup bagian atas pada proses *vacuum* dipastikan tidak ada yang tertinggal dan posisi spesimen diberikan jarak sekitar 2 cm seperti pada Gambar 3-26 supaya aliran resin bisa menyebar menyeluruh dan pada saat proses *vacuum* spesimen tidak menempel satu sama yang lain.



Gambar 3-26 Peletakan spesimen

6. Menyusun Bahan Kedalam *Vacuum Bag*

Pada Gambar 3-27 dibawah ini merupakan proses menyusun semua bahan yang digunakan untuk proses *vacuum* seperti meletakkan Kembali *peel ply* diatas spesimen, kemudian pemasangan kain strimin dan ditutup dengan merekatkan plastik *vacuum* dengan *sealant tape*.



Gambar 3-27 Memasukan bahan kedalam *vacuum bag*

7. Proses Pencampuran Resin dan *Hardener*

Pada Gambar 3-28 menunjukkan proses pencampuran resin dan *hardener* jenis *epoxy* resin dengan perbandingan 60:40.



Gambar 3-28 Pencampuran resin dan *hardener*

8. Proses *Vacuum Infusion*

Pada Gambar 3-29 dapat dilihat bahwa proses *vacuum infusion* sudah berhasil karena udara yang ada didalam *vacuum bag* sudah terhisap dan resin sudah menyebar secara menyeluruh ke spesimen. Setelah itu spesimen disimpan selama semalam, agar resin dapat mengeras secara sempurna.



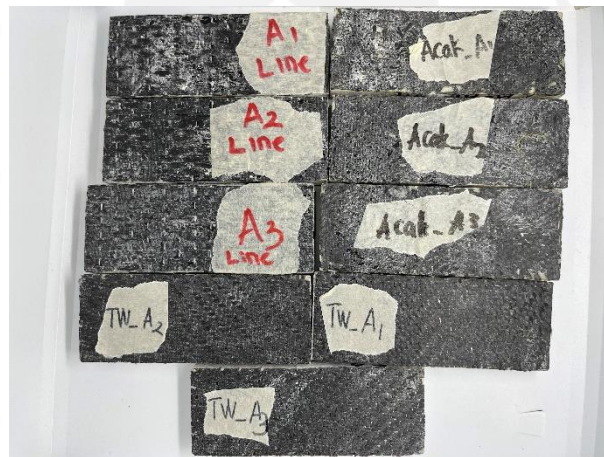
Gambar 3-29 Pencampuran resin dan *hardener*

3.6.3 Hasil Spesimen Setelah *Vacuum Infusion*

Berikut adalah hasil spesimen setelah dilakukan proses *vacuum infusion* dengan parameter orientasi *carbon fiber* motif *twill*, *unidirectional*, acak dan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 1,2 dan 3 lapisan.

1. Orientasi *Carbon Fiber*

Dari Gambar 3-30 dibawah dapat dilihat ada 9 jumlah spesimen yang sudah di *finishing* dan diberi kode pada setiap spesimen yang dibuat, tanda A1 line memiliki pengertian variasi orientasi *carbon fiber* motif *unidirectional*/searah, kemudian untuk TW_A1 memiliki pengertian variasi orientasi *carbon fiber* motif *twill*, kemudian untuk Acak A1 memiliki pengertian variasi orientasi *carbon fiber* motif acak dengan motif *twill* yang dipotong-potong dengan ukuran 1cm.



Gambar 3-30 Hasil spesimen variasi orientasi *carbon fiber*

2. Jumlah Lapisan *Carbon Fiber*

Dari Gambar 3-31 dapat dilihat hasil spesimen yang sudah di *finishing* dengan variasi jumlah lapisan dari *carbon fiber* terbaik dari hasil data *bending* dari variasi orientasi motif *carbon fiber*, didapatkan hasil motif *unidirectional*/searah dengan kode nama A1 line yang memiliki pengertian jumlah lapisannya berjumlah 1 lapis, kemudian untuk 2_A1 memiliki pengertian jumlah lapisannya berjumlah 2 lapis dan untuk 3_A1 memiliki pengertian jumlah lapisannya berjumlah 3 lapis.



Gambar 3-31 Hasil spesimen variasi jumlah lapisan *carbon fiber*

3.7 Proses Pengujian *Bending*

Proses pengujian *bending* untuk mengetahui nilai kekuatan spesimen yang telah dibuat. Pengujian *bending* ini mengacu pada pengujian *bending* standar ASTM C393 yang dilakukan di Laboratorium Logam Politenik Sanata Dharma menggunakan mesin uji *bending* J.T.M. TECHNOLOGY CO., LTD model JTM-UTC220.

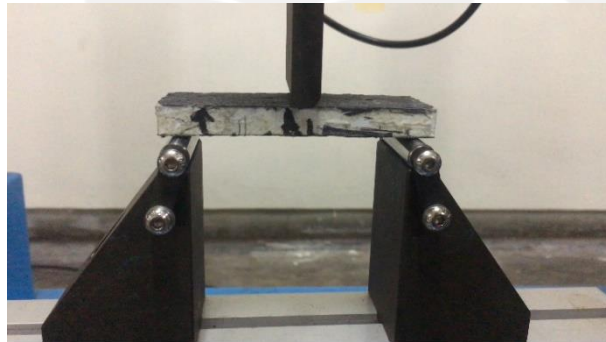
Sebelum melakukan pengujian, pastikan spesimen yang akan diuji sudah diberi tanda pada setiap bagian spesimen, agar hasil pengujian dapat disusun dengan mudah. Berikut adalah langkah-langkah pengujian yang dilakukan:

1. Menyiapkan spesimen uji *bending*.
2. Mengatur jarak tumpuan sesuai standar ASTM C393 seperti pada Gambar 3-32.



Gambar 3-32 Jarak tumpuan *bending*

3. Letakkan spesimen uji yang sudah dibuat pada alat uji *bending* sesuai ketentuan yang sudah ada.
4. Mengatur spesimen tepat pada tengah-tengah indenter seperti pada Gambar 3-33.



Gambar 3-33 Proses pengujian *bending* spesimen

5. Mesin uji *bending* akan memberikan beban maksimal secara perlahan hingga spesimen melengkung atau patah.
6. Hasil pengujian akan otomatis tercatat pada komputer mesin uji *bending*.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Orientasi *Carbon Fiber* Terhadap Tegangan *Bending*, Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Kekakuan Spesifik

Pada sub bab ini membahas beberapa pengaruh orientasi *carbon fiber* motif *twill*, *unidirectional*, dan acak terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan, dan kekakuan spesifik.

4.1.1 Pengaruh Orientasi *Carbon Fiber* Terhadap Tegangan *Bending*

Berikut data variasi orientasi *carbon fiber* terhadap tegangan *bending* yang dapat dilihat pada Tabel 4-1.

Tabel 4- 1 Data orientasi *carbon fiber* terhadap tegangan *bending*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
Twill	391,25	75	37,38	11,08
Line	527,60	75	37,50	11,23
Acak	407,64	75	37,34	11,20

Keterangan:

Twill = *carbon fiber twill*

Line = *carbon fiber unidirectional*

Acak = *carbon fiber acak*

Berikut adalah contoh perhitungan tegangan *bending* maksimal orientasi *carbon fiber twill* dengan contoh sebagai berikut:

Diketahui : P = 391,25 N L= 75 mm
 b= 37,38 mm h= 11,08 mm

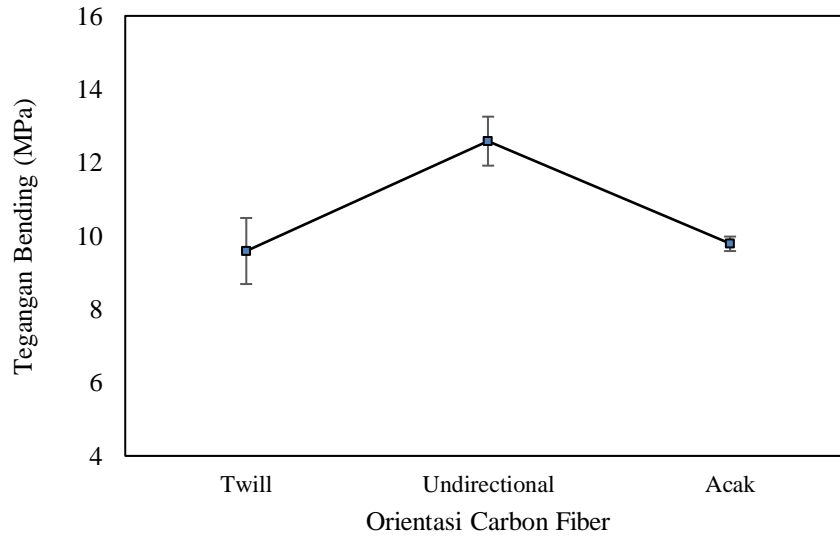
1. Tegangan *bending*

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 391,25 \times 75}{2 \times 37,38 \times 11,08^2}$$

$$\sigma_b = 9,59 \text{ MPa}$$

Pengaruh orientasi *carbon fiber* terhadap tegangan *bending* dapat dilihat pada Gambar 4-1.

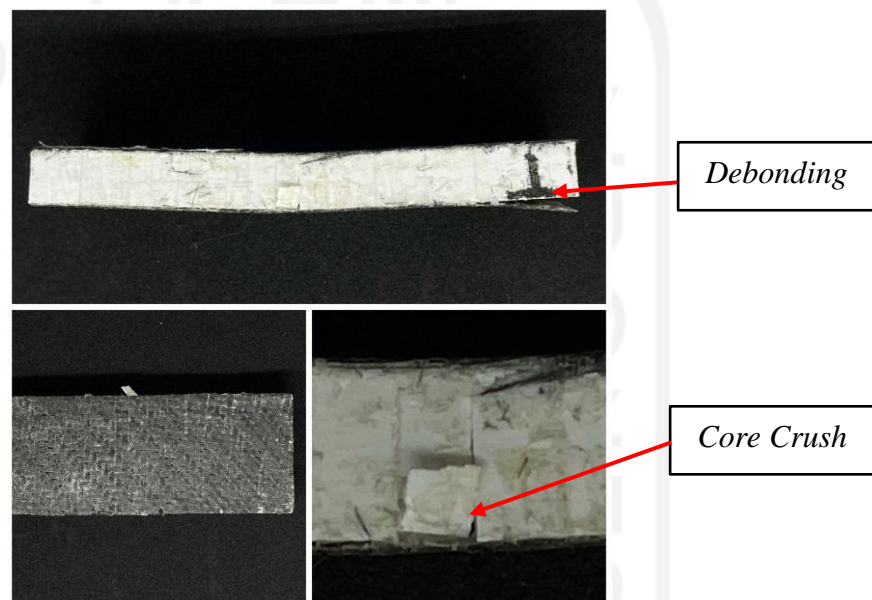


Gambar 4-1 Pengaruh orientasi *carbon fiber* terhadap tegangan *bending*

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4-1, hasil pengujian tegangan *bending* dapat diketahui bahwa masing-masing spesimen uji *bending* memiliki beberapa perbedaan berdasarkan dari rata-rata hasil pengujian tegangan *bending*. Dapat dilihat bahwa variasi orientasi *carbon fiber* yang memiliki tegangan *bending* paling tinggi yaitu terdapat pada orientasi *carbon fiber* motif *unidirectional* dengan nilai rata-rata 12,58 MPa. Sedangkan nilai tegangan *bending* paling rendah yaitu *carbon twill* dengan nilai tegangan *bending* sebesar 9,59 MPa. Hal ini disebabkan oleh jenis serat dari *carbon fiber* motif *unidirectional* memiliki serat yang panjang dan lurus sehingga mampu menyalurkan tegangan yang merata pada spesimen, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin panjang serat semakin tinggi tegangan *bending* yang dihasilkan. Pada *carbon twill* memiliki tegangan paling rendah yang disebabkan oleh jenis serat *carbon fiber twill* yang berbentuk seperti anyaman dan susunan seratnya juga mengikat antar lapisan, akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe *unidirectional* Nayiroh, (2013). Pada variasi orientasi *carbon fiber* acak memiliki tegangan *bending* rata-rata dengan nilai 9,78 MPa. Hal ini

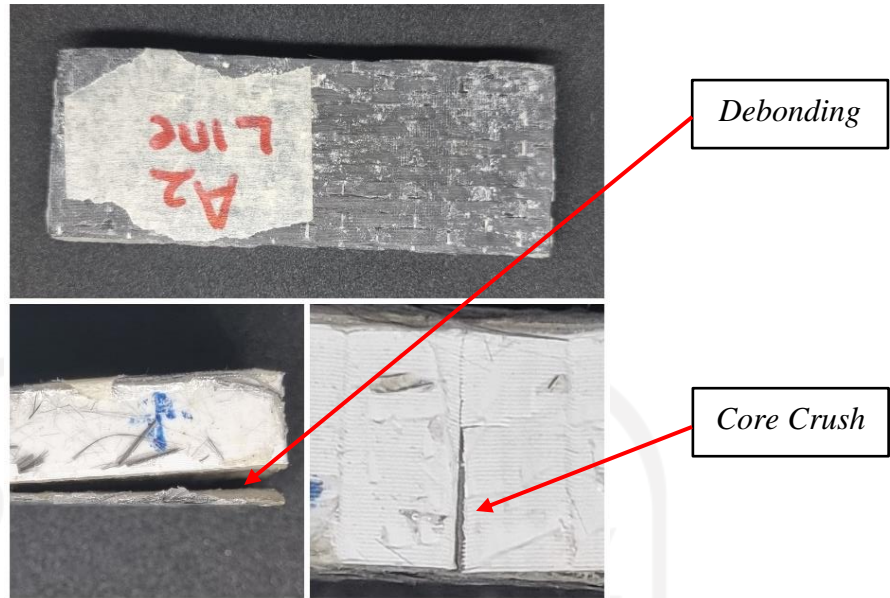
disebabkan oleh susunan *skin* sebagai penguat *core* mengalami penumpukan susunan *carbon fiber* motif acak yang disusun secara acak pada bagian *core* sehingga dapat mempengaruhi kekuatan *bending*. Sehingga pada *carbon fiber unidirectional* lebih unggul 24% dari *carbon twill* dan lebih unggul 22% dari *carbon* acak.

Dari hasil data tersebut berkaitan dengan modus kegagalan spesimen setelah dilakukan pengujian *bending* seperti dapat dilihat pada Gambar 4-2, Gambar 4-3 dan Gambar 4-4.



Gambar 4-2 Kegagalan spesimen *carbon* motif *twill*

Pada Gambar 4-2 dapat dilihat modus kegagalan spesimen orientasi *carbon* motif *twill* mengalami kegagalan *debonding* yang disebabkan susunan *skin* bagian bawah spesimen tidak mampu menahan beban geser yang diberikan oleh indentor dan diikuti dengan kegagalan *core crush* dimana pada *core* terjadi retakan yang cukup parah akan tetapi tidak sampai patah.



Gambar 4-3 Kegagalan spesimen *carbon* motif *unidirectional*

Pada Gambar 4-3 dapat dilihat modus kegagalan spesimen orientasi *carbon fiber* motif *unidirectional* mengalami kegagalan *core crush* dan *debonding* dimana kegagalan yang terjadi ialah susunan *skin* terlepas dari bagian *core* yang disebabkan oleh terputusnya ikatan antara matriks dengan *skin carbon fiber* komposit *sandwich* yang tidak mampu menahan beban maksimal yang diberikan.



Gambar 4-4 Kegagalan spesimen *carbon* motif acak

Pada Gambar 4-4 dapat dilihat bahwa spesimen uji mengalami *core crush* dan diikuti dengan *debonding* dimana ikatan antara matriks dan *skin carbon fiber* motif acak yang tidak terlalu kuat menahan beban kompresi sehingga mengalami tegangan tarik pada bagian bawah tengah spesimen.

4.1.2 Pengaruh Orientasi *Carbon Fiber* Terhadap Modulus Elastisitas

Berikut data variasi orientasi *carbon fiber* terhadap modulus elastisitas yang dapat dilihat pada Tabel 4-2.

Tabel 4- 2 Data orientasi *carbon fiber* terhadap modulus elastisitas

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	δ (mm)
<i>Twill</i>	391,25	75	37,38	11,08	3,62
<i>Line</i>	527,60	75	37,50	11,23	4,53
Acak	407,64	75	37,34	11,20	4,29

Keterangan :

Twill = *carbon fiber twill*

Line = *carbon fiber unidirectional*

Acak = *carbon fiber acak*

Berikut adalah contoh perhitungan modulus elastisitas orientasi *carbon fiber twill*.

Diketahui : $b = 37,38 \text{ mm}$ $h = 11,08 \text{ mm}$ $\delta = 3,62 \text{ mm}$

$P = 391,25 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$

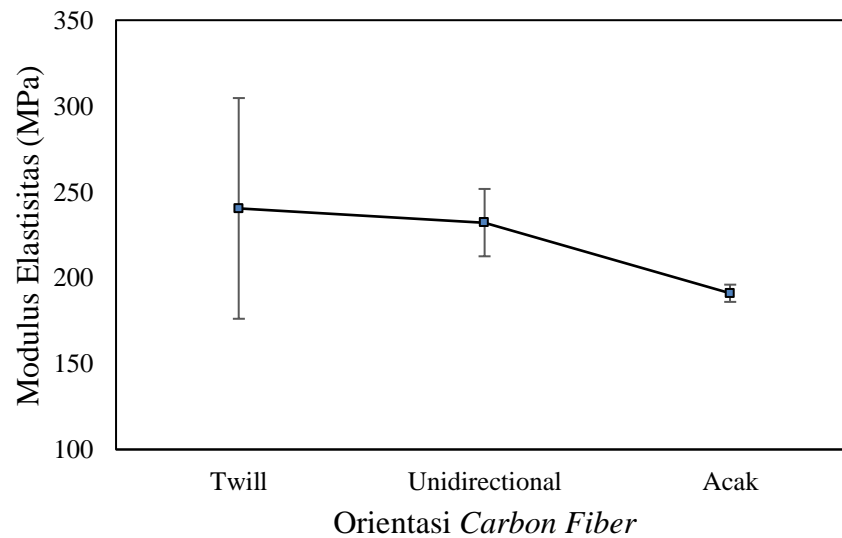
1. Modulus elastisitas

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bh^3} \times \frac{P}{\delta}$$

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{75^3}{37,38 \times 11,08^3} \times \frac{391,25}{3,62}$$

$$Eb = 240,38 \text{ MPa}$$

Pada Gambar 4-5 ditunjukkan grafik Pengaruh orientasi *carbon fiber* terhadap modulus elastisitas.



Gambar 4-5 Pengaruh orientasi *carbon fiber* terhadap modulus elastisitas

pada Gambar 4-5 dapat dilihat bahwa variasi orientasi *carbon fiber* yang memiliki modulus elastisitas paling tinggi adalah *carbon fiber* motif *twill* dengan nilai 240,38 MPa. Hal ini disebabkan karena jenis serat *twill* yang berbentuk seperti anyaman dan memiliki sifat ulet namun kuat Utomo et al (2019). Sedangkan orientasi *carbon fiber* yang memiliki nilai paling rendah adalah motif acak dengan nilai 190,97 MPa. Pada motif *unidirectional* memiliki nilai 232,11 MPa. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa *carbon fiber* motif *twill* memiliki sifat paling elastis terhadap tegangan *bending* daripada motif *unidirectional* dan acak. Sehingga nilai modulus elastisitas pada *carbon twill* 24% lebih tinggi dari *carbon acak* dan 4% lebih tinggi daripada *carbon unidirectional*.

4.1.3 Pengaruh Orientasi *Carbon Fiber* Terhadap Kekakuan

Berikut adalah data orientasi *carbon fiber* terhadap kekakuan yang dapat dilihat pada Tabel 4-3.

Tabel 4- 3 Data orientasi *carbon fiber* terhadap kekakuan

Kode Spesimen	E_b (N/mm ²)	b (mm)	h (mm)
<i>Twill</i>	240,38	37,38	11,08
<i>Line</i>	232,11	37,50	11,23
Acak	190,97	37,34	11,20

Keterangan :

Twill = *carbon fiber twill*

Line = *carbon fiber unidirectional*

Acak = *carbon fiber acak*

Berikut adalah hasil perhitungan kekakuan orientasi *carbon fiber unidirectional* dengan contoh sebagai berikut:

Diketahui : $E_b = 232,11$ N/mm² $b = 37,50$ mm $h = 11,23$ mm

1. Momen inersia

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

$$I = \frac{1}{12} 37,50 \times 11,23^3$$

$$I = 4429,51 \text{ mm}^4$$

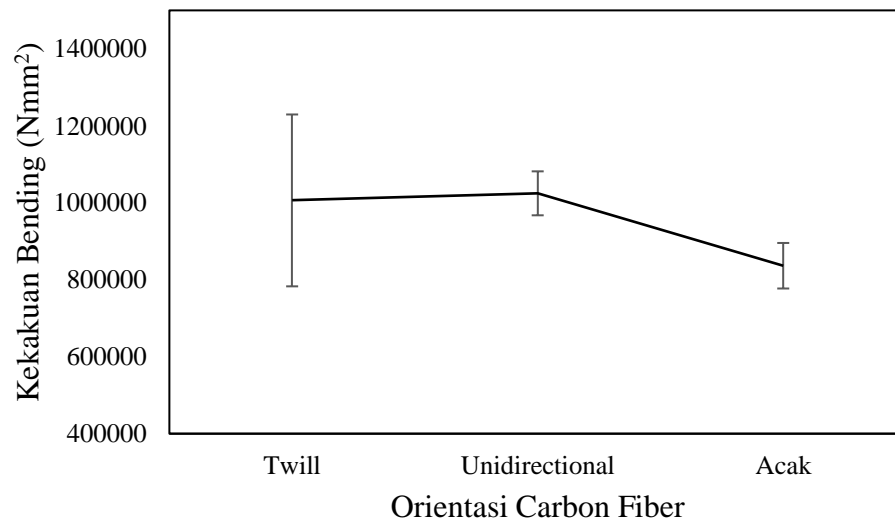
2. Kekakuan

$$D = E_b \times I$$

$$D = 232,11 \times 4429,51$$

$$D = 1.024.583,85 \text{ Nmm}^2$$

Pengaruh orientasi *carbon fiber* terhadap kekakuan dapat dilihat pada Gambar 4-6.



Gambar 4-6 Pengaruh orientasi *carbon fiber* terhadap kekakuan

Pada Gambar 4-6 dapat dilihat bahwa orientasi *carbon fiber* yang memiliki kekakuan tertinggi adalah *carbon fiber* motif *unidirectional* sebesar 1.024.583,85 Nmm². Hal ini dipengaruhi oleh variasi *carbon unidirectional* memiliki ketebalan *skin* 1,04 mm pada lapisan atas dan bawah spesimen yang menyebabkan spesimen ini memiliki kekakuan yang tinggi dibandingkan dengan variasi yang lainnya. Sedangkan orientasi *carbon fiber* yang memiliki kekakuan paling rendah adalah motif acak dengan nilai 836.407,48 Nmm². Pada *carbon twill* memiliki nilai kekakuan rata-rata 1.006.209,32 Nmm². Sehingga pada *carbon unidirectional* memiliki nilai kekakuan 18% lebih tinggi dari *carbon* acak dan 2% lebih tinggi dari *carbon fiber twill*.

4.1.4 Pengaruh Orientasi *Carbon Fiber* Terhadap Kekakuan Spesifik

Berikut adalah data orientasi *carbon fiber* terhadap kekakuan spesifik yang dapat dilihat pada Tabel 4-4.

Tabel 4- 4 Data orientasi *carbon fiber* terhadap kekakuan *bending* spesifik

Kode Spesimen	D (Nmm^2)	W (gr)
Twill	1.006.209	15,10
Line	1.024.583,85	16,94
Acak	836.407,48	15,73

Keterangan : Twill = *carbon fiber twill*

Line = *carbon fiber unidirectional*

Acak = *carbon fiber acak*

Berikut adalah hasil perhitungan kekakuan spesifik orientasi *carbon fiber twill* dengan contoh sebagai berikut:

Diketahui : $D = 1.006.209 Nmm^2$

$W = 15,10$ gram

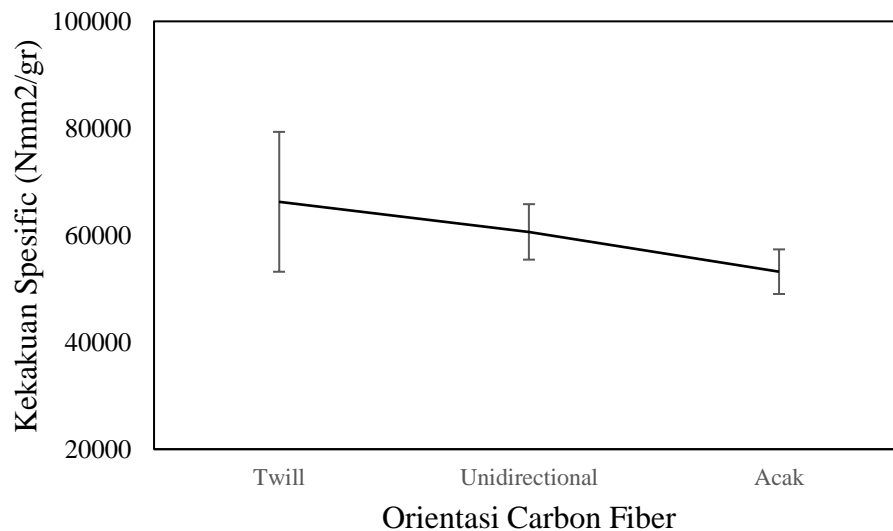
1. Kekakuan Spesifik

$$D \text{ spesifik} = \frac{D}{W}$$

$$D \text{ spesifik} = \frac{1.006.209}{15,10}$$

$$D \text{ spesifik} = 66.259,83 Nmm^2/gr$$

Pengaruh orientasi *carbon fiber* terhadap kekakuan spesifik dapat dilihat pada Gambar 4-7.



Gambar 4-7 Pengaruh orientasi *carbon fiber* terhadap kekakuan spesifik

Berdasarkan perhitungan dan analisa didapatkan hasil tertinggi pada *carbon twill* dengan nilai 66.259,83 Nmm²/gr. Sedangkan nilai kekakuan spesifik paling rendah terdapat pada *carbon acak* dengan nilai rata-ratanya 53.194,50 Nmm²/gr. Pada *carbon unidirectional* memiliki nilai kekakuan spesifik sebesar 60.634,88 Nmm²/gr. Sehingga pada *carbon twill* memiliki nilai kekakuan spesifik 20% lebih tinggi dari *carbon acak* dan 8% lebih unggul dari *carbon unidirectional*.

4.2 Pengaruh Jumlah Lapisan *Carbon Fiber* Terhadap Tegangan *Bending*, Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Kekakuan Spesifik

Pada sub bab ini membahas beberapa pengaruh jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 1, 2, dan 3 lapisan terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan, dan kekakuan spesifik.

4.2.1 Pengaruh Jumlah Lapisan *Carbon Fiber* Terhadap Tegangan *Bending*

Berikut data variabel terkait tegangan *bending* yang dapat dilihat pada tabel 4-5.

Tabel 4- 5 Data jumlah lapisan terhadap tegangan *bending*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
1 Lapis	527,60	75	37,50	11,23
2 Lapis	614,75	75	37,39	11,80
3 Lapis	746,02	75	37,32	12,22

Berikut hasil perhitungan tegangan *bending* maksimal variasi jumlah 3 lapisan *carbon fiber* dengan contoh sebagai berikut:

Diketahui : $P = 746,02 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$ $b = 37,32 \text{ mm}$
 $h = 12,22 \text{ mm}$

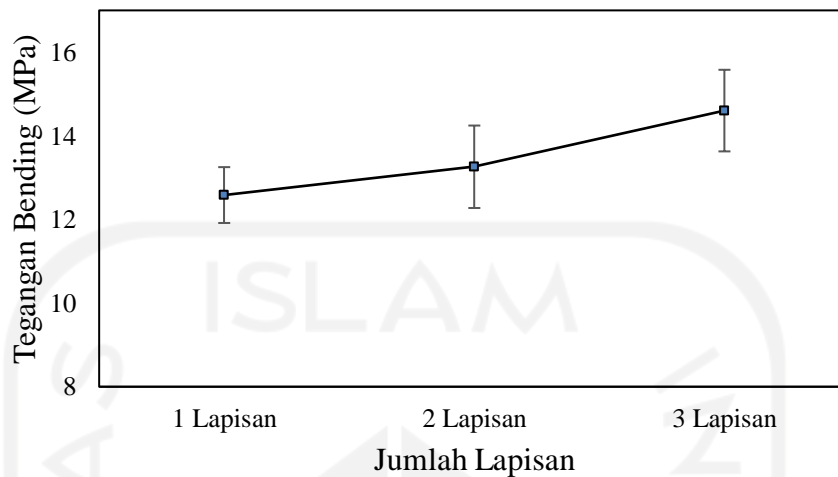
1. Tegangan *bending*

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 746,02 \times 75}{2 \times 37,32 \times 12,22^2}$$

$$\sigma_b = 14,60 \text{ MPa}$$

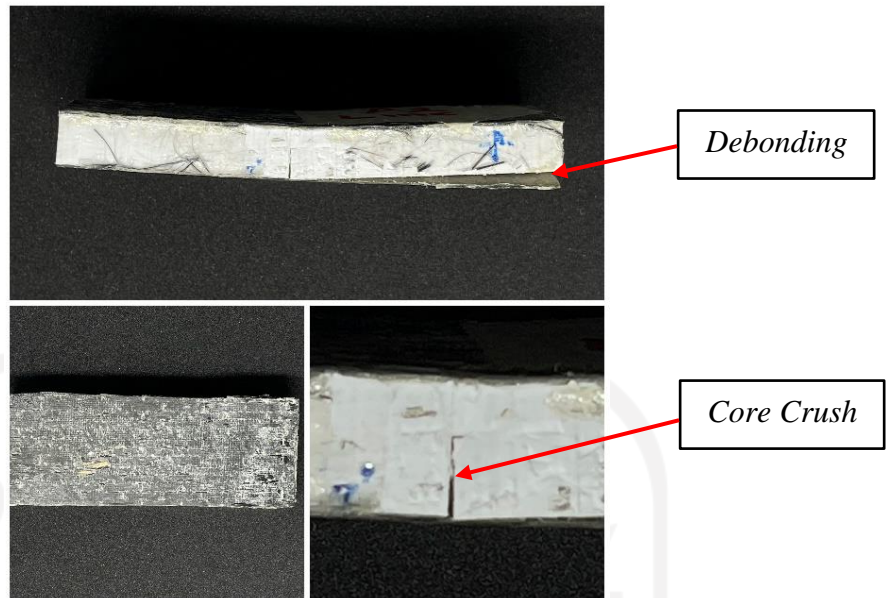
Pengaruh jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap tegangan *bending* dapat dilihat pada Gambar 4-8.



Gambar 4-8 Pengaruh jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap tegangan *bending*

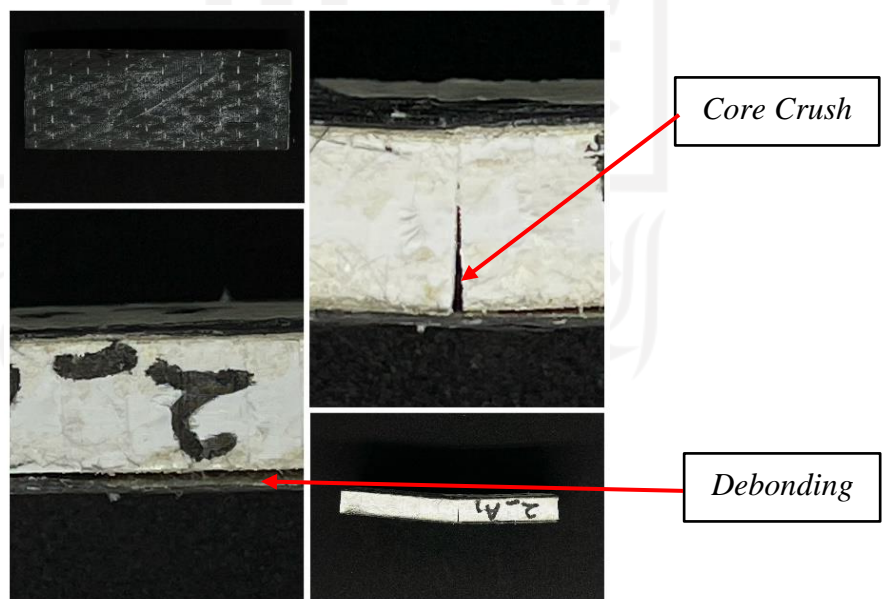
Dapat dilihat pada Gambar 4-8 bahwa variasi jumlah lapisan *carbon fiber* yang memiliki tegangan *bending* tertinggi yaitu pada variasi 3 lapisan *carbon fiber* dengan nilai 14,60 MPa. Sedangkan variasi yang memiliki tegangan *bending* paling rendah yaitu pada variasi 1 lapisan *carbon fiber* dengan rata-rata tegangan *bending* sebesar 12,58 MPa. Pada variasi 2 lapisan *carbon fiber* memiliki nilai tegangan *bending* rata-rata 13,26 MPa. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa semakin bertambah jumlah lapisan serat *carbon fiber* maka beban yang diterima setiap seratnya akan semakin kecil, sehingga beban yang dapat ditahan semakin besar. Sehingga pada jumlah 3 lapisan *carbon fiber* lebih unggul 14% dari 1 lapisan *carbon fiber* dan 9% lebih unggul daripada 2 lapisan *carbon fiber*.

Dari data hasil tersebut berkaitan dengan modus kegagalan spesimen setelah dilakukan pengujian *bending* seperti dapat dilihat pada Gambar 4-9, Gambar 4-10 dan Gambar 4-11.



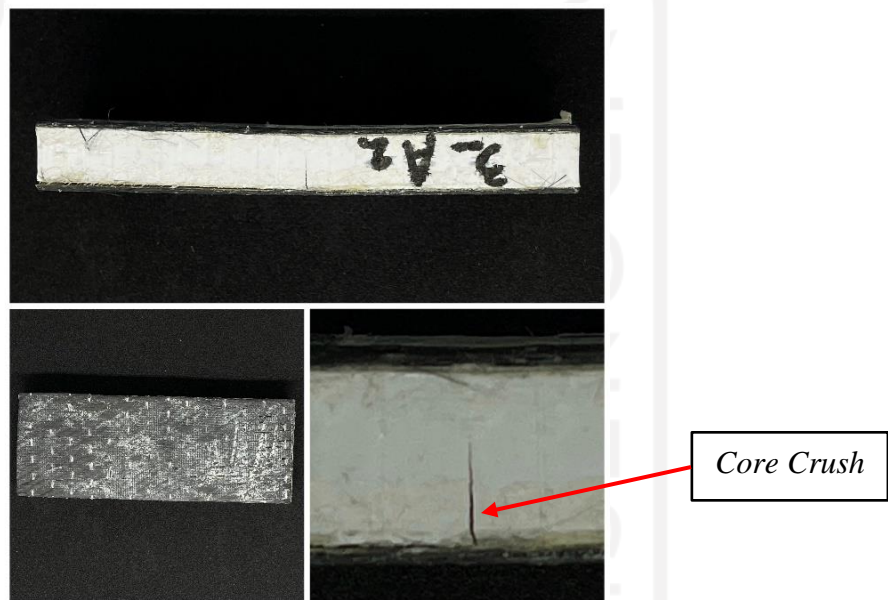
Gambar 4-9 Kegagalan spesimen jumlah 1 lapisan *carbon fiber*

Pada Gambar 4-9 menunjukkan modus kegagalan *bending* pada spesimen jumlah 1 lapisan *carbon* mengalami kegagalan *core crush* yang diikuti dengan *debonding* yang disebabkan susunan *skin* bagian bawah spesimen tidak mampu menahan beban geser yang diberikan oleh indentor.



Gambar 4-10 Kegagalan spesimen jumlah 2 lapisan *carbon fiber*

Pada Gambar 4-10 dapat dilihat modus kegagalan *bending* pada jumlah 2 lapisan *carbon* mengalami kegagalan *core crush* yang diikuti dengan *debonding* karena spesimen pada saat mendapatkan tekanan *bending*, maka spesimen mendapat gaya dari atas, pada bagian atas spesimen mengalami gaya tekan, dan pada bagian bawah mengalami gaya tarik. Akan tetapi akibat dari adanya gaya dari atas, maka serat akan bergeser atau lepas dari ikatan matriks/resin. Hal ini mengakibatkan spesimen mengalami patahan bagian bawah karena tidak mampu menahan tegangan tarik.



Gambar 4-11 Kegagalan spesimen jumlah 3 lapisan *carbon fiber*

Pada Gambar 4-11 spesimen pada variasi jumlah 3 lapisan *carbon fiber* hanya mengalami kegagalan *core crush* dikarenakan seiring ditambahkannya jumlah lapisan maka spesimen hanya mengalami perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen akibat beban *bending*.

4.2.2 Pengaruh Jumlah Lapisan *Carbon Fiber* Terhadap Modulus Elastisitas

Berikut data variasi orientasi *carbon fiber* terhadap modulus elastisitas yang dapat dilihat pada Tabel 4-6.

Tabel 4- 6 Data jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap modulus elastisitas

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	δ (mm)
1 lapis	527,60	75	37,50	11,23	4,53
2 lapis	614,75	75	37,39	11,80	5,79
3 lapis	746,02	75	37,32	12,22	5,13

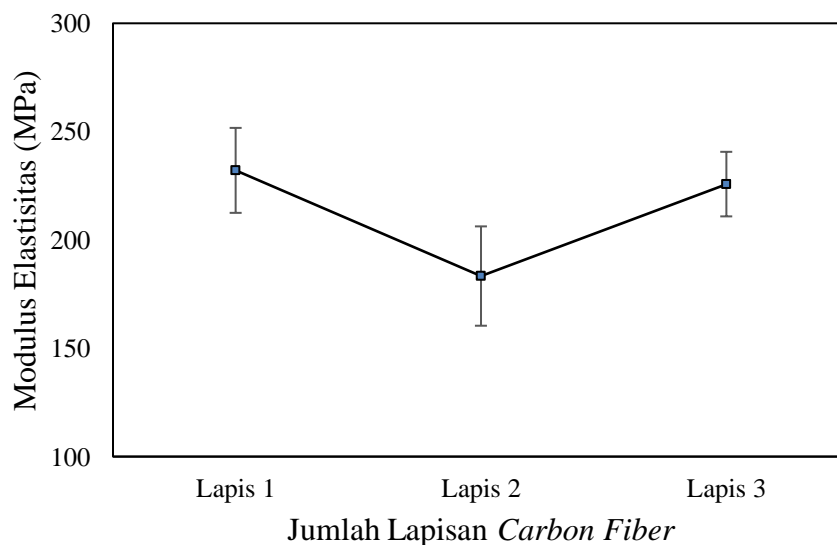
Berikut hasil perhitungan modulus elastisitas jumlah 1 lapisan *carbon fiber* terhadap modulus elastisitas sebagai berikut:

$$1. Eb = \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bh^3} \times \frac{P}{\delta}$$

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{75^3}{37,50 \times 11,23^3} \times \frac{527,60}{4,53}$$

$$Eb = 232,11$$

Pengaruh jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap modulus elastisitas dapat dilihat pada Gambar 4-12.



Gambar 4-12 Pengaruh jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap modulus elastisitas

Pada Gambar 4-12 dapat dilihat bahwa variasi jumlah lapisan *carbon fiber* yang memiliki modulus elastisitas paling tinggi yaitu terdapat pada lapis 1 *carbon fiber* dengan nilai 232,11 MPa. Sedangkan variasi yang memiliki modulus elastisitas paling rendah terdapat pada lapis 2 dengan nilai 183,33 MPa. Hal ini disebabkan karena pada saat proses pengujian *bending* spesimen dengan lapis 2 *carbon fiber* mengalami kegagalan *debonding* pada bagian bawah yang cukup parah akibat terlepasnya susunan *skin* dari *core* karena matriks tidak kuat menahan serat, sehingga gaya tekan yang diberikan langsung kepada *core*. Pada variasi lapis 3 memiliki modulus elastisitas sebesar 225,77 MPa. Sehingga pada jumlah 1 lapisan *carbon fiber* memiliki nilai modulus elastisitas 27% lebih unggul dari 2 lapis *carbon fiber* dan 3% lebih unggul dari 3 lapis *carbon fiber*.

4.2.3 Pengaruh Jumlah Lapisan *Carbon Fiber* Terhadap Kekakuan

Berikut data variasi orientasi *carbon fiber* terhadap kekakuan yang dapat dilihat pada Tabel 4-7.

Tabel 4- 7 Data jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap kekakuan

Kode Spesimen	Eb (N/mm ²)	b (mm)	h (mm)
1 lapis	232,11	37,50	11,23
2 lapis	183,33	37,39	11,80
3 lapis	225,77	37,32	12,22

Berikut adalah hasil perhitungan kekakuan jumlah 3 lapisan *carbon fiber* dengan contoh sebagai berikut:

Diketahui : $Eb = 225,77 \text{ N/mm}^2$ $b = 37,32 \text{ mm}$ $h = 12,22 \text{ mm}$

1. Momen inersia

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

$$I = \frac{1}{12} 37,32 \times 12,22^3$$

$$I = 5675,22 \text{ mm}^4$$

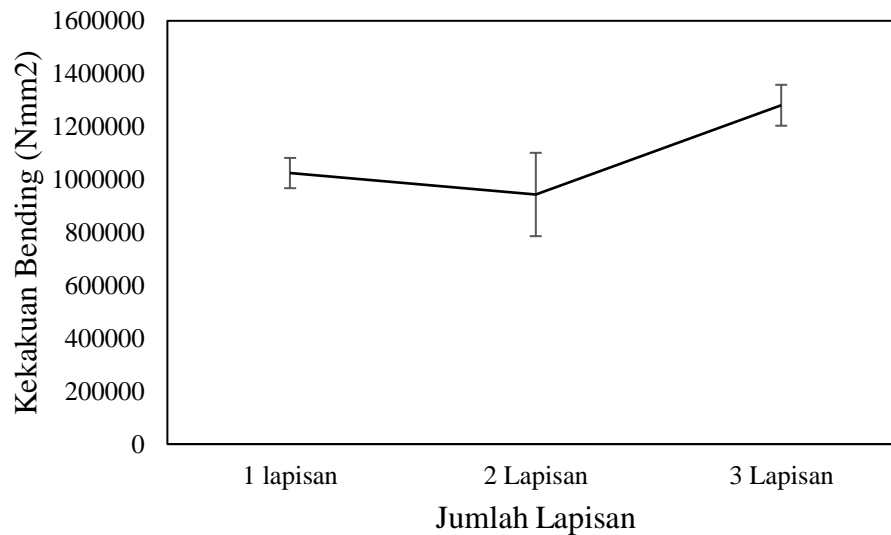
2. Kekakuan

$$D = Eb \times I$$

$$D = 225,77 \times 5675,22$$

$$D = 1.258.161 \text{ Nmm}^2$$

Pengaruh jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap kekakuan dapat dilihat pada Gambar 4-13.



Gambar 4-13 Pengaruh jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap kekakuan

Pada Gambar 4-13 dapat dilihat bahwa variasi jumlah lapisan *carbon fiber* yang memiliki kekakuan paling tinggi terdapat pada 3 lapisan *carbon fiber* dengan rata-rata 1.280.850,54 Nmm². Sedangkan nilai kekakuan paling rendah terdapat pada 2 lapisan dengan nilai rata-ratanya 943.564,17 Nmm². Pada variasi 1 lapisan didapatkan hasil kekakuan *bending* dengan nilai 1.024.583,85 Nmm². Sehingga semakin banyak lapisan yang disusun maka semakin tinggi pula kekakuan *bending* tersebut. Pada 2 lapisan *carbon fiber* lebih rendah dibandingkan dengan 1 lapisan *carbon fiber* hal ini disebabkan oleh susunan *skin* pada lapisan 2 *carbon fiber* mengalami kegagalan *debonding* yang hampir semua susunan *skin* terlepas dari *core* yang disebabkan oleh kurang kuatnya ikatan *interphase* antara serat dengan resin Ardiyanto, (2014). Dapat dilihat pada Gambar 4-10. Sehingga pada jumlah 3 lapisan *carbon fiber* memiliki nilai kekakuan 36% lebih unggul dari 2 lapisan *carbon fiber* dan 25% lebih unggul dari 1 lapisan *carbon fiber*.

4.2.4 Pengaruh Jumlah Lapisan *Carbon Fiber* Terhadap Kekakuan Spesifik

Berikut adalah data orientasi *carbon fiber* terhadap kekakuan spesifik yang dapat dilihat pada Tabel 4-8.

Tabel 4- 8 Data jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap kekakuan spesifik

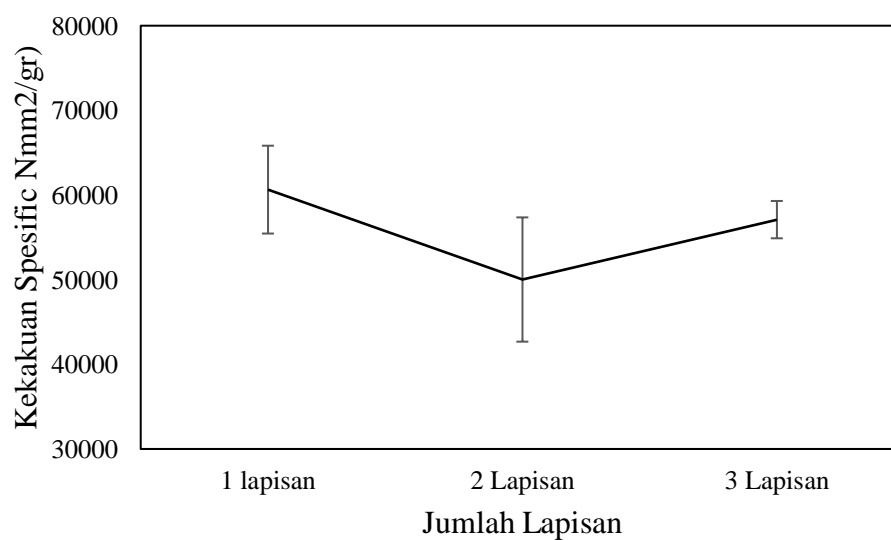
Kode Spesimen	D (Nmm ²)	W (gr)
1 lapis	1.024.584	16,94
2 lapis	943.554	18,86
3 lapis	1.280.851	22,42

Berikut adalah hasil perhitungan kekakuan spesifik jumlah 1 lapisan *carbon fiber* dengan contoh sebagai berikut:

Diketahui : $D = 60.634,88$ Nmm² $W = 16,94$ gram

1. D spesifik = $\frac{D}{W}$
2. D spesifik = $\frac{1.024.584}{16,94}$
3. D spesifik = $60.634,88$ Nmm²

Pengaruh jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap kekakuan dapat dilihat pada Gambar 4-14.



Gambar 4-14 Pengaruh jumlah lapisan *carbon fiber* terhadap kekakuan spesifik

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-14 dapat dilihat bahwa kekakuan spesifik didapatkan hasil rata-rata paling tinggi pada 1 lapisan *carbon fiber* dengan nilai 60.634,88 Nmm²/gr. Sedangkan kekakuan spesifik paling rendah terdapat pada 2 lapisan *carbon fiber* dengan nilai rata-ratanya 50.015,84 Nmm²/gr. Pada kekakuan spesifik 3 lapisan memiliki nilai rata-ratanya 57.089,34 Nmm²/gr. Sehingga pada jumlah 1 lapisan *carbon fiber* memiliki nilai kekakuan spesifik 18% lebih unggul dari 2 lapis *carbon fiber* dan 6% lebih unggul dari 3 lapis *carbon fiber*.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Orientasi *carbon fiber* berpengaruh terhadap nilai kekuatan *bending* maksimal. Nilai rata-rata tegangan *bending* dan kekakuan *bending* maksimal tertinggi ada pada orientasi *carbon fiber unidirectional* dengan nilai tegangan *bending* 12,58 MPa. Kekakuan *bending* 1.024.583,85 Nmm². Sedangkan modulus elastisitas dan kekakuan spesifik terdapat pada orientasi *carbon twill* dengan nilai modulus elastisitas 240,38 MPa. Kekakuan spesifik 66.259,83 Nmm²/gr.
2. Penambahan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 1, 2, 3 lapisan pada spesimen komposit *sandwich* berpengaruh terhadap nilai kekuatan *bending* seiring bertambahnya jumlah lapisan. Nilai rata-rata tegangan *bending*, kekakuan *bending*, maksimal tertinggi ada pada 3 lapisan *carbon fiber* dengan nilai tegangan *bending* 14,60 MPa. Kekakuan *bending* 1.280.850,54 Nmm². Sedangkan nilai modulus elastisitas dan kekakuan spesifik ada pada 1 lapisan dengan nilai modulus elastisitas 232,11 MPa. Kekakuan spesifik 60.634,88 Nmm²/gr.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Dalam proses pembuatan material komposit diusahakan hindari terjadinya rongga udara atau *void* karena dapat mempengaruhi kekuatan material komposit.
2. Dalam pembuatan atau pencampuran resin dan *hardener* sebaiknya dihilangkan dahulu gelembung udara yang terperangkap sebelum digabungkan dengan produk/spesimen.

3. Sebelum melakukan proses *vacuum infusion* sebelumnya melihat media terlebih dahulu apakah ada kebocoran dengan melihat pada *vacuum catch trap*.



DAFTAR PUSTAKA

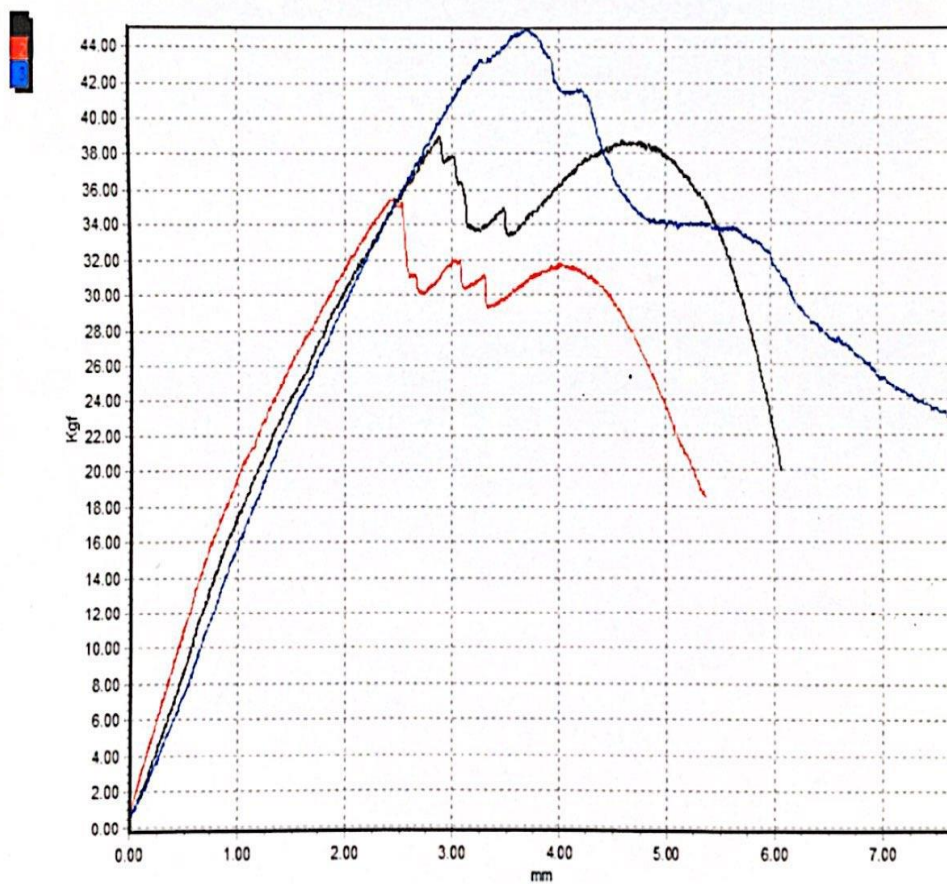
- A Typical Sandwich Composite* / *Download Scientific Diagram*. (n.d.). Retrieved November 10, 2022, from https://www.researchgate.net/figure/A-Typical-Sandwich-Composite_fig1_322373749
- Abdurohman, K., Satrio, T., Muzayadah, N. L., & Teten. (2018). A Comparison Process Between Hand Lay-Up, Vacuum Infusion and Vacuum Bagging Method Toward E-Glass EW 185/Lycal Composites. *Journal of Physics: Conference Series*, 1130(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1130/1/012018>
- Ardiyanto, P. (2014). Analisa Pengaruh Ketebalan Inti (Core) Polyurethane Terhadap Karakteristik Thickness Effect of Polyurethane Foam Core on the Flexural Behaviour of Composite Sandwich Materials. *Skripsi Teknik Mesin ITS*, 1–82.
- Canyurt, O. E., Meran, C., & Uslu, M. (2008). The Effect of Design on Adhesive Joints of Thick Composite Sandwich Structures. *Manufacturing Engineering*, 31(2), 301–305.
- 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). In *MEKANIKA* (Vol. 9).
- Drews, A. (2008). Standard Test Method for. *Manual on Hydrocarbon Analysis, 6th Edition*, 545-545–3. <https://doi.org/10.1520/mnl10913m>
- Fathoni, A. (2019). Pemanfaatan Limbah Bulu Ayam Untuk Pembuatan Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Infusion. *Akhir, Tugas*.
- Idris, Mangalla, L. K., & Sudia, B. (2018). Pengaruh Variasi Komposisi Komposit Berbahan Gypsum, Serat Ijuk Pohon Aren Dan Resin Polyester Terhadap Kemampuan Meredam Suara. *Enthalphy-Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin PENGARUH*, 3(2), 1–11.
- Kolusz, A., & Rydz, Z. (2019). Optimization of Composite Materials Using 3D Printed Cores. *8Th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (Eucass)*, 1–10. <https://doi.org/10.13009/EUCASS2019-792>

- Kumara, S., Putra, S., Ds, M. A., Sari, R., & Ds, S. (2018). *Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi 2018 SENSITEK 2018 STMIK Pontianak* (Vol. 12). <http://www.insinyoer.com/wp->
- Muhammad, F. (2022, March 31). *Pengaruh Jumlah Layer Terhadap Karakteristik Mekanik Komposit Sandwich Carbon Fiber WR 3K Tow-Divinycell H Foam Core*. *Current*. <https://doi.org/10.1520/C0365>
- Nayiroh, N. (2013). *Teknologi Material Komposit*.
- Petras, A. (1998). *Design of Sandwich Structures*.
- Prayoga, A., Eryawanto, B., & Hadi, Q. (2018). *Pengaruh Ketebalan Skin Terhadap Kekuatan Bending Dan Tarik Komposit Sandwich Dengan Honeycomb Polypropylene Sebagai Core* (Vol. 18, Issue 1).
- Robiansyah, K. & M. A. I. (2021). Pengaruh Orientasi Arah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Bending Komposit Berpenguat Serat Karbon Dengan Matrik Epoxy. *Jtm*, 9(3), 47–52.
- Serikat, M. A., & Av-, P. (1985). *Komposit Arti komposit : gabungan; campuran*.
- Utomo, F. D., Widodo, R. D., & Yudiono, H. (2019). Pengaruh Variasi Anyaman Material Komposit Epoxy Berpenguat Bilahan Bambu Terhadap Kekuatan Bending. *Jurnal Inovasi Mesin*, 1(2), 23–26. <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jim/article/view/40243>

LAMPIRAN 1

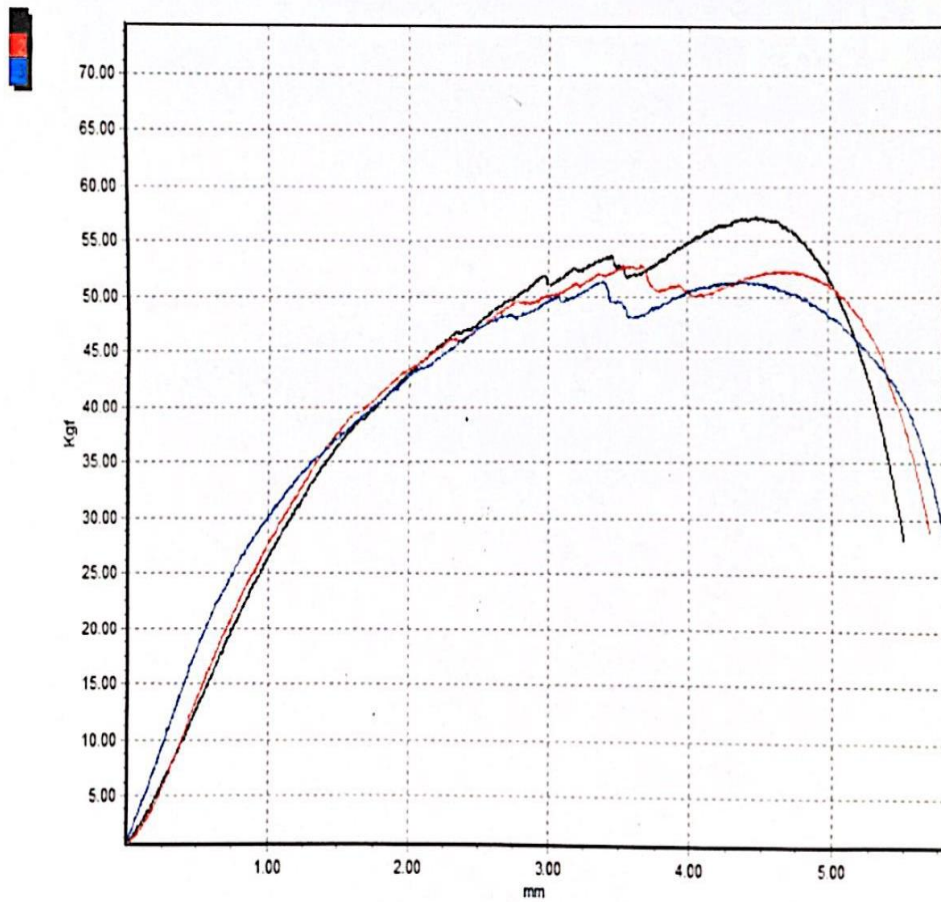
Hasil pengujian Spesimen Orientasi *Carbon Fiber Twill* Terhadap Tegangan *Bending*

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	39.03	1.33
2	35.57	1.21
3	45.09	1.53



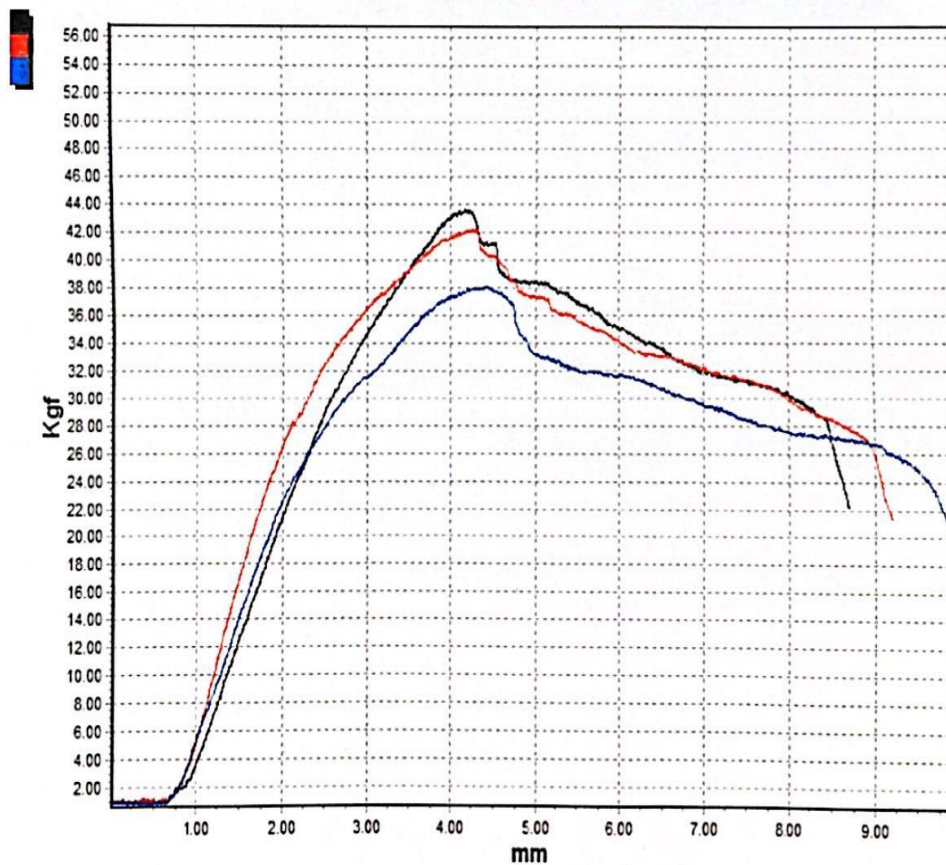
Hasil pengujian Spesimen Orientasi *Carbon Fiber Unidirectional* Terhadap Tegangan *Bending*

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	57.16	1.94
2	52.80	1.80
3	51.44	1.75



Hasil Pengujian Spesimen Orientasi *Carbon Fiber* Acak Terhadap Tegangan *bending*

	Maximum Force (Kg)	Bending strength (Kg/mm ²)
1	43.66	1.48
2	42.30	1.44
3	38.13	1.30

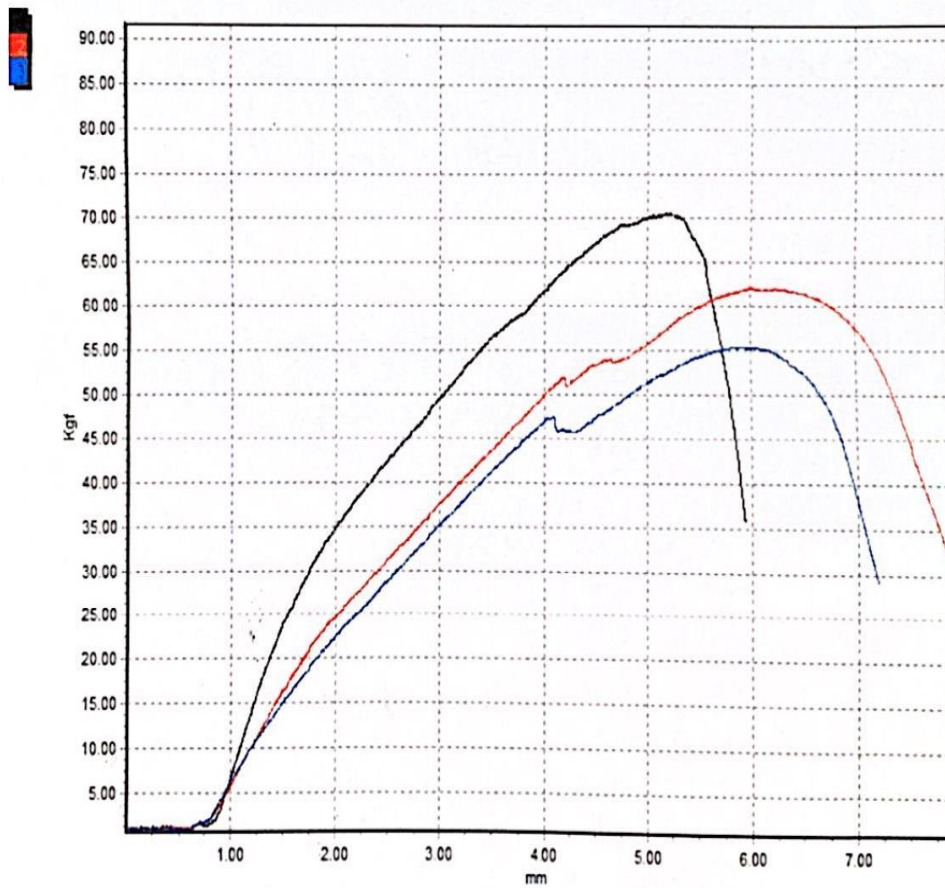


الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

LAMPIRAN 2

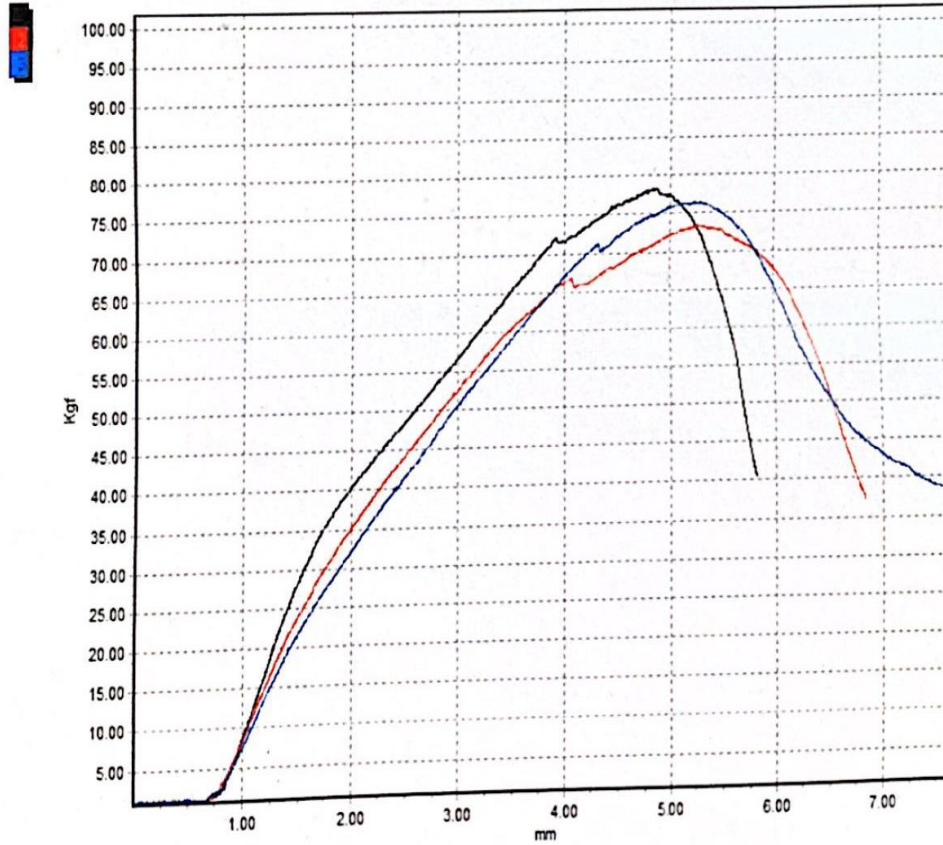
Hasil Pengujian Spesimen Jumlah 2 Lapisan *Carbon Fiber*

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	70.51	2.40
2	62.16	2.11
3	55.39	1.88



Hasil Pengujian Spesimen Jumlah 3 Lapisan *Carbon Fiber*

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	78.25	2.66
2	73.48	2.50
3	76.49	2.60



الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

LAMPIRAN 3

**TABEL ORIENTASI *CARBON FIBER* TERHADAP
TEGANGAN *BENDING***

Kode Spesimen	Panjang (mm)	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Berat (gram)	P (N)	Defleksi (mm)	Teg <i>Bending</i> (Mpa)
Tw_A1	99,34	11,33	37,31	14,40	382,75	4,73	8,99
Tw_A2	99,04	10,86	37,36	15,40	348,82	2,45	8,91
Tw_A3	99,01	11,06	37,46	15,50	442,18	3,68	10,86
Line_A1	99,50	11,21	37,33	16,22	560,55	4,47	13,44
Line_A2	99,30	11,47	37,49	17,10	517,79	4,71	11,81
Line_A3	99,01	11,01	37,45	17,50	504,45	4,41	12,50
Acak_A1	99,05	11,37	37,38	15,60	428,16	4,17	9,97
Acak_A2	99,20	11,26	37,31	15,70	414,82	4,30	9,87
Acak_A3	99,47	10,97	37,33	15,90	379,93	4,40	9,51

Keterangan:

Tw = Orientasi *carbon fiber* motif *twill*

Line = Orientasi *carbon fiber* motif *unidirectional*

Acak = Orientasi *carbon fiber* motif acak

LAMPIRAN 4

JUMLAH LAPISAN *CARBON FIBER* TERHADAP TEGANGAN *BENDING*

Kode Spesimen	Panjang (mm)	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Berat (gram)	P (N)	Defleksi (mm)	Teg Bending (Mpa)
1_A1	99,50	11,21	37,33	16,22	560,55	4,47	13,44
1_A2	99,30	11,47	37,49	17,10	517,79	4,71	11,81
1_A3	99,01	11,01	37,45	17,50	504,45	4,41	12,50
2_A1	99,02	12,03	37,27	19,70	691,47	5,22	14,42
2_A2	99,01	11,68	37,66	17,26	609,58	6,23	13,35
2_A3	99,09	11,69	37,23	19,61	543,19	5,92	12,01
3_A1	99,20	12,20	37,16	23,24	767,37	4,87	15,79
3_A2	99,20	12,22	37,32	22,12	720,59	5,28	13,40
3_A3	99,27	12,24	37,48	21,90	750,11	5,24	14,62

Keterangan :

1_ = Variasi jumlah 1 lapisan *carbon fiber*

2_ = Variasi jumlah 2 lapisan *carbon fiber*

3_ = Variasi jumlah 3 lapisan *carbon fiber*

LAMPIRAN 5
DIMENSI SEBELUM DAN SESUDAH KOMPOSIT
SANDWICH

Spesimen	Tebal (mm)		Berat (gr)	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir
Tw_A1	10,60	11,33	12,16	14,40
Tw_A2	10,20	10,86	12,26	15,40
Tw_A3	10,33	11,06	12,14	15,50
Line_A1	10,80	11,21	12,70	16,22
Line_A2	10,96	11,47	13,68	17,10
Line_A3	10,60	11,01	13,36	17,50
Acak_A1	10,33	11,37	14,52	15,60
Acak_A2	10,60	11,26	14,67	15,70
Acak_A3	10,36	10,97	14,90	15,90
1_A1	10,80	11,21	12,70	16,22
1_A2	10,96	11,47	13,68	17,10
1_A3	10,60	11,01	13,36	17,50
2_A1	11,38	12,03	15,78	19,70
2_A2	11,03	11,68	15,50	17,26
2_A3	11,04	11,69	15,50	19,61
3_A1	11,65	12,20	19,58	23,24
3_A2	11,47	12,22	19,08	22,12
3_A3	11,59	12,24	18,22	21,90

Keterangan :

Tw = Orientasi *carbon fiber* motif *twill*

Line = Orientasi *carbon fiber* motif *unidirectional*

Acak = Orientasi *carbon fiber* motif acak

1_ = Variasi jumlah 1 lapisan *carbon fiber*

2_ = Variasi jumlah 2 lapisan *carbon fiber*

3_ = Variasi jumlah 3 lapisan *carbon fiber*

LAMPIRAN 6

VARIASI ORIENTASI DAN JUMLAH LAPISAN CARBON FIBER TERHADAP KEKUATAN BENDING

Kategori	Beban Maks (N)	Inersia (mm ⁴)	Teg Bending (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Kekakuan (Nmm ²)	Kekakuan Spesifik (Nmm ² /gr)
<i>Twill</i>	391,25	4244,32	9,58	240,38	1.006.209	66.259,83
<i>Unidirectional</i>	527,60	4420,59	12,58	232,61	1.024.583,85	60.634,88
Acak	407,64	4374,71	9,78	190,97	836.407,48	53.194,50
1 lapisan CF	527,60	4420,59	12,58	232,61	1.024.583,85	60.634,88
2 Lapisan CF	614,75	5121,39	13,26	183,33	943.554	50.015,84
3 Lapisan CF	746,02	5970,67	14,60	216,10	1.280.851	57.089,34