

**PENGARUH VARIASI KERAPATAN  
*INFILL GYROID CORE POLYLACTIC ACID (PLA) HASIL  
ADDITIVE MANUFACTURING* TERHADAP KEKAKUAN  
*BENDING* KOMPOSIT *SANDWICH SKIN* SERAT KARBON**

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh :**

**Nama : Hafiz Ramadhan**

**No. Mahasiswa : 18525093**

**NIRM : 101100041**

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

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PENGARUH VARIASI KERAPATAN  
*INFILL GYROID CORE POLYLACTIC ACID (PLA) HASIL  
ADDITIVE MANUFACTURING TERHADAP KEKAKUAN  
BENDING KOMPOSIT SANDWICH SKIN SERAT KARBON***

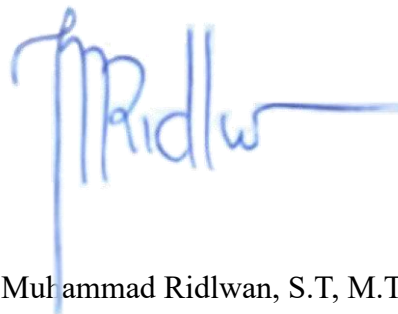
**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Hafiz Ramadhan**  
**No. Mahasiswa : 18525093**  
**NIRM : 101100041**

Yogyakarta, 30 Mei 2023

**Pembimbing I,**



Ir. Muhammad Ridwan, S.T., M.T., IPP.

# LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

## PENGARUH VARIASI KERAPATAN *INFILL GYROID CORE POLYLACTIC ACID (PLA) HASIL ADDITIVE MANUFACTURING TERHADAP KEKAKUAN BENDING KOMPOSIT SANDWICH SKIN SERAT KARBON*

### TUGAS AKHIR

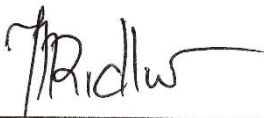
#### Disusun Oleh :

Nama : Hafiz Ramadhan  
No. Mahasiswa : 18525093  
NIRM : 101100041

#### Disusun Oleh :

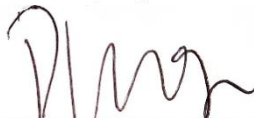
Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP

Ketua

  
Tanggal: 03/07/2023

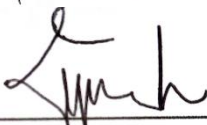
Purtojo, S.T., M.Sc.

Anggota I

  
Tanggal: 26-06-2023

Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

Anggota II

  
Tanggal: 4-7/2023

Mengetahui,

Dekan Jurusan Teknik Mesin





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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya yang bertanda tangan di bawah ini, Hafiz Ramadhan selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Kerapatan *Infill Gyroid Core Polylactic Acid* (PLA) Hasil *Addictive Manufacturing* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Karbon” menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari karya tulis yang dibuat oleh orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustaka nya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan yang saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku

Yogyakarta, 15 Mei 2023



Hafiz Ramadhan

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

Orang tua saya,

Bapak Agus Hardianto S.T dan Ibu Endah Wijayannti S.E yang telah memberikan motivasi serta doa dengan tulus kepada saya untuk mengerjakan dan menyelesaikan penulisan tugas akhir ini hingga selesai.

## **HALAMAN MOTTO**

Hidup Pada Dasarnya Hanyalah Serangkaian Masalah Yang Tak Ada Habisnya.

Solusi Untuk Satu Masalah Hanyalah Masalah Lain.

(Mark Ronson)

*“Man Jadda Wa Jadda”*

(QS Al-Baqarah 2:286)

Apabila sesuatu yang kau senangi tidak terjadi,

maka senangilah apa yang terjadi

(Ali Bin Abi Thalib)

## KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Alhamdulillah rabbil‘alamin segala puji dan syukur atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta’ala yang telah melimpahkan rahmat dan inayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, serta pengikutnya hingga akhir zaman. Dalam kesempatan ini penulis banyak mendapat ilmu, bimbingan, saran, dorongan, bantuan serta semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala hari perkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan iman dan islam kepada penulis dan Nabi paling mulia Muhammad SAW juga atas segenap keluarga, para sahabat serta para pengikutnya hingga akhir zaman.
2. Bapak Agus Hardianto S.T dan Ibu Endah Wijayanti S.E yang telah memberikan semangat dan motivasi.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., MT selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan waktu luangnya untuk membimbing penulis. Terimakasih atas saran, masukan dan nasihat yang membangun penyempurnaan tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang diberikan selama masa perkuliahan.
6. Ibu Umi dan Bapak Sukirno selaku *Front Office* Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia yang telah banyak membantu.

7. Teman Seperjuangan tugas akhir Asty, Geofinda, Zuhair, Farhan, Ali Mahasiswa bimbingan bapak Muhammad Ridlwan, S.T., MT atas dukungan dan bantuan dalam mengerjakan proses tugas akhir saya
8. Gufran Rahardi Muchlis S.T, Raihan Rato S.T, Agie Fadillah, Ahmad Farhans yang telah membantu selama proses pengerjaan penelitian ini.
9. Teman-teman seperjuangan semasa kuliah, Luqman Makarim, Indra Wahyudi, Thurfa Syafiq, Fahzidan Wibowo, Alif Rahman, Rafli Daffa, Fawwaz Sunin, Atillah Sidqi, Muhammad Rafli, Anggi Nugraha, Arif Rahman, Rio Ari, Reezcky Noer, Alfaarisi Maulana, David Yade.

## **ABSTRACT**

*Composites are materials composed of a combination of two materials with different mechanical properties. Composite is composed of matrix and binder in the middle of the composite there is the core and the outer shell. In this study, cores were used as a result of additive manufacturing using polyactic acid material with a gyroid structure and for skin using carbon fiber, the composite manufacturing process used the vacuum infusion method. Vacuum Infusion is a technique for making composite materials by flowing and spreading resin using a vacuum pump in a mold. This study aims to make a composite sandwich with PLA core material made using an additive manufacturing process with a gyroid filling pattern to determine the effect of skin coating and the effect of filler density on the bending comfort value of composite carbon fiber sandwiches. Based on the results obtained that the effect of infill density has an effect on increasing the value of bending stiffness, it can be seen in the results of the softness of bending, the denser the infill increases the value of bending stiffness. the highest stiffness value on the specimen with 50%GWS infill has the highest stiffness value of 31,250,000 Nmm<sup>2</sup>. Non-skin specimens have a lower stiffness value than skin specimens. The highest stiffness value of the 50%GNS nonskin specimen was 8,768,459.92 Nmm<sup>2</sup>. nonlinearity in the values of bending stiffness and specific stiffness to weight due to the failure modulus in the interface failure specimens that occurred.*

**Keywords:** *Composite Sandwich, Carbonfibers, Vacuum Infusion, Density Variation, Gyroid, Bending Test.*

## ABSTRAK

Komposit adalah material yang tersusun dari gabungan dua material dengan sifat mekanik yang berbeda. Komposit tersusun atas matriks dan pengikatnya pada bagian tengah komposit terdapat *core* dan bagian luar *skin*. Pada penelitian ini menggunakan *core* hasil dari *additive manufacturing* menggunakan material *polyactic acid* dengan struktur *gyroid* dan untuk *skin* menggunakan serat karbon proses pembuatan komposit menggunakan metode *vacuum infusion*. *Vacuum Infusion* adalah teknik pembuatan material komposit dengan cara mengalirkan dan menyebarkan resin menggunakan pompa *vacuum* pada cetakan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat komposit *sandwich* dengan material PLA *core* yang dibuat menggunakan proses *additive manufacturing* dengan *fill pattern gyroid* untuk mengetahui pengaruh pelapisan *skin* dan pengaruh kerapatan *infill* terhadap nilai kekakuan *bending* komposit *sandwich carbonfibers*. Berdasarkan hasil diperoleh didapatkan bahwa pengaruh kerapatan *infill* berpengaruh terhadap peningkatan nilai kekakuan *bending* dapat dilihat pada hasil kekakuan *bending* menunjukkan semakin rapat *infill* meningkatkan nilai kekakuan *bending*. nilai kekakuan tertinggi pada spesimen dengan *infill* 50%GWS mempunyai nilai kekakuan tertinggi sebesar 31.250.000 Nmm<sup>2</sup>. Pada spesimen *non skin* mempunyai nilai kekakuan lebih rendah dengan spesimen *skin*. Nilai kekakuan tertinggi spesimen *nonskin* 50%GNS sebesar 8.768.459,92 Nmm<sup>2</sup> ketidaklinear pada nilai kekakuan *bending* dan kekakuan spesifik terhadap berat dikarenakan modulus kegagalan pada spesimen terjadi kegagalan *interface*.

**Kata Kunci:** Komposit *Sandwich*, *Carbon Fiber*, *Vacuum Infussion*, Variasi Kerapatan *Core*, *Gyroid*, Pengujian *Bending*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
HALAMAN MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
ABSTRAK .....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR NOTASI .....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	2
1.3    Batasan Masalah .....	2
1.4    Tujuan Penelitian atau Perancangan .....	2
1.5    Manfaat Penelitian atau Perancangan .....	3
1.6    Sistematika Penulisan .....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1    Kajian Pustaka .....	4
2.2    Dasar Teori .....	6
2.2.1    Komposit .....	6

2.2.2	Komposit <i>Sandwich</i> .....	7
2.2.2.1	<i>Core</i> .....	8
2.2.2.2	<i>Skin</i> .....	8
2.2.2.3	<i>Matriks</i> .....	9
2.2.3	<i>3D Print</i> .....	9
2.2.4	<i>Vacuum Infusion</i> .....	10
2.2.5	Pengujian <i>Bending</i> .....	11
2.3	Modus Kegagalan Pengujian <i>Bending</i> .....	13
BAB 3 METODE PENELITIAN .....		15
3.1	Alur Penelitian .....	15
3.2	Peralatan dan Bahan.....	16
3.3	Dimensi Spesimen <i>Bending</i> .....	24
3.4	Susunan Lapisan Komposit <i>Sandwich</i> .....	25
3.5	Proses Pengerjaan .....	26
3.5.1	Pembuatan <i>Core</i> Menggunakan Mesin <i>3D Printing</i> .....	26
3.5.2	Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	27
3.5.3	Proses <i>Finishing</i> .....	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....		32
4.1	Pengujian <i>Bending</i> .....	32
4.2	Hasil Pengujian .....	33
4.3	Analisis dan Pembahasan.....	36
4.3.1	Analisis Kegagalan Pada Spesimen Non <i>SKIN</i> .....	37
4.3.2	Modus Kegagalan Pada Spesimen <i>Infill 10% Skin</i> .....	38
4.3.3	Modus Kegagalan Pada Spesimen <i>Infill 20% Skin</i> .....	38
4.3.4	Modus Kegagalan Pada Spesimen <i>Infill 30% Skin</i> .....	39
4.3.5	Modus Kegagalan Pada Spesimen <i>Infill 40% Skin</i> .....	40

4.3.6	Modus Kegagalan Pada Spesimen <i>Infill 50% Skin</i> .....	40
4.4	Perhitungan .....	41
4.5	Pembahasan.....	43
4.5.1	Tegangan Maksimal <i>Bending</i> .....	43
4.5.2	Kekakuan <i>Bending</i> .....	44
4.5.3	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik.....	45
4.6	Perbandingan Tegangan Terhadap Defleksi .....	47
4.6.1	Grafik Tegangan Terhadap Defleksi Spesimen <i>Infill 10% Skin</i> ...	48
4.6.2	Grafik Tegangan Terhadap Defleksi Spesimen <i>Infill 20% Skin</i> ...	48
4.6.3	Grafik Tegangan Terhadap Defleksi Spesimen <i>Infill 30% Skin</i> ...	49
4.6.4	Grafik Tegangan Terhadap Defleksi Spesimen <i>Infill 40% Skin</i> ...	50
4.6.5	Grafik Tegangan Terhadap Defleksi Spesimen <i>Infill 50% Skin</i> ...	51
BAB 5 PENUTUP .....		53
5.1	Kesimpulan .....	53
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya .....	54
DAFTAR PUSTAKA .....		55
LAMPIRAN .....		57

## DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Parameter <i>Proses Printing</i> .....	26
Tabel 4-1 Tabel Perbandingan Spesimen Setelah Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	34
Tabel 4-2 Tabel Hasil Dari Pengujian <i>Bending Komposit Sandwich</i> .....	35
Tabel 4-3 Tabel Hasil Pengujian <i>Bending Non Skin</i> .....	36
Tabel 4-4 Tabel Hasil Perhitungan Kekakuan Bending.....	42
Tabel 4-5 Tabel Hasil Perbandingan Tegangan Maksimal Spesimen <i>Skin</i> dan non <i>skin</i> .....	43
Tabel 4-6 Tabel Hasil Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> antara Spesimen <i>skin</i> dan non <i>skin</i> .....	44
Tabel 4-7 Tabel Hasil Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik antara spesimen <i>skin</i> dan non <i>skin</i> .....	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Struktur Komposit <i>Sandwich</i> .....	7
Gambar 2-2 Serat Karbon.....	9
Gambar 2-3 <i>3D Printing Machine</i> .....	10
Gambar 2-4 Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	11
Gambar 2-5 <i>Universal Testing Machine</i> .....	11
Gambar 2-6 Skema Pembebanan <i>Three Point Bending</i> .....	12
Gambar 2-7 Jenis Kegagalan pada Komposit <i>Sandwich</i> .....	13
Gambar 2-8 Jenis Kegagalan pada <i>Core</i> .....	13
Gambar 3-1 Alur Penelitian.....	15
Gambar 3-2 Pompa <i>Vacuum</i> .....	16
Gambar 3-3 Tabung <i>Reservoir</i> .....	16
Gambar 3-4 Timbangan.....	17
Gambar 3-5 Katup Bensin .....	17
Gambar 3-6 <i>Vacuum Bag</i> .....	18
Gambar 3-7 <i>Infusion Mesh</i> .....	18
Gambar 3-8 <i>Peel Ply</i> .....	19
Gambar 3-9 Selang .....	19
Gambar 3-10 Selang Spiral.....	20
Gambar 3-11 <i>Epoxy</i> .....	20
Gambar 3-12 <i>Hardener</i> .....	21
Gambar 3-13 <i>Butyl Tape</i> .....	21
Gambar 3-14 Lem Dextone .....	22
Gambar 3-15 Serat Karbon.....	22
Gambar 3-16 <i>Polyactic Acid</i> .....	23

Gambar 3-17 Gelas Plastik .....	23
Gambar 3-18 Stik Es Krim Kayu .....	24
Gambar 3-19 Dimensi Spesimen Uji Standar ASTM C393 .....	24
Gambar 3-20 Struktur Lapisan Komposit Sandwich.....	25
Gambar 3-21 Proses <i>3D Printing</i> .....	26
Gambar 3-22 Penyusunan Bahan Sebelum <i>Vacuum</i> .....	27
Gambar 3-23 Pemasangan Selang .....	27
Gambar 3-24 Pencampuran Lem Dextone Dan <i>Hardener</i> .....	28
Gambar 3-25 Proses <i>Dextone</i> .....	28
Gambar 3-26 Penyusunan Bahan .....	29
Gambar 3-27 Proses Pencampuran <i>Epoxy</i> dan <i>Hardener</i> .....	29
Gambar 3-28 Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	30
Gambar 3-29 Proses <i>Finishing</i> .....	31
Gambar 3-30 Hasil <i>Vacuum</i> .....	31
Gambar 4-1 Proses Pengujian <i>Three Point Bending</i> .....	32
Gambar 4-2 Hasil Pengujian <i>Bending</i> .....	33
Gambar 4-3 Spesimen <i>Core Gyroid Non Skin</i> .....	37
Gambar 4-4 Spesimen Komposit <i>Sandwich Non Skin</i> .....	38
Gambar 4-5 Spesimen Komposit <i>Sandwich Infill 20%</i> .....	38
Gambar 4-6 Spesimen Komposit <i>Sandwich Infill 30%</i> .....	39
Gambar 4-7 Spesimen Komposit <i>Sandwich 40%</i> .....	40
Gambar 4-8 Spesimen Komposit <i>Sandwich 50%</i> .....	40
Gambar 4-9 Grafik Tegangan Maksimal .....	43
Gambar 4-10 Grafik Kekakuan <i>Bending</i> .....	45
Gambar 4-11 Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik .....	46
Gambar 4-12 Grafik Tegangan Defleksi.....	47

Gambar 4-13 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi <i>Infill</i> 10%.....	48
Gambar 4-14 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi <i>Infill</i> 20%.....	49
Gambar 4-15 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi <i>Infill</i> 30%.....	50
Gambar 4-16 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi <i>Infill</i> 40%.....	51
Gambar 4-17 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi <i>Infill</i> 50%.....	52

## DAFTAR NOTASI

- $\sigma$  = Tegangan bending maksimal (*MPa*)
- $D$  = Kekakuan *Bending* ( $Nmm^2$ )
- $P$  = Beban yang diberikan (*N*)
- $L$  = jarak point (*mm*)
- $b$  = lebar benda uji (*mm*)
- $h$  = ketebalan benda uji (*mm*)
- $\delta$  = Defleksi (*mm*)
- $I$  = Momen Inersia (*kgm*)
- $A$  = Luas Penampang (*mm*)
- $D$  = Kekakuan Bending ( $Nmm^2/gr$ )

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada umumnya material yang sering ditemui merupakan material yang hanya unggul dalam satu bidang saja, seperti yang sering kita temui banyak material yang mempunyai sifat kuat, tahan terhadap panas tetapi material tersebut berat, susah untuk dibentuk, contohnya besi, baja, aluminium. Disisi lain juga terdapat material yang lentur mudah dibentuk, ringan, tetapi sifat dari material tersebut mudah terbakar, mudah patah maupun rusak, contohnya *rubber* atau plastik.

Penginovasian material baru dengan tujuan menghasilkan material yang mempunyai lebih dari satu keunggulan sifat mekanik. Proses tersebut dilakukan penggabungan dari dua material yang digabungkan menjadi satu komponen, yang akan membentuk struktur material baru untuk memenuhi kebutuhan material dengan sifat kuat, ringan, diperlukan perancangan material yang tepat dengan memperhatikan geometri dan karakteristik material.

Pada penelitian sebelumnya penelitian dilakukan menggunakan dua variable menggunakan material yang berbeda yaitu *fiberglass* dan menggunakan metode *handlay-up* (Yudha Izma, 2021). Pada penelitian ini peneliti ingin mengembangkan variable dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan material yang berbeda dan metode produksi yang berbeda. Dari penelitian ini diharapkan mampu memenuhi kebutuhan-kebutuhan di industri, dan teknologi yang telah berkembang, khususnya pada bidang material.

*Vacuum infusion* merupakan sebuah teknik pembuatan material komposit dengan cara mengalirkan dan menyebarkan resin menggunakan pompa *vacuum* pada cetakan maka dari itu proses *vacuum infusion* lebih efisien, dari segi hasil. *Vacuum infusion* bisa meningkatkan kualitas material komposit karena pada prosesnya yang menggunakan tekanan negatif yang bisa memperkuat penjalinan antara serat dan matriks, karena resin lebih terdistribusi dengan baik untuk mengikat antar serat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka permasalahan dapat diidentifikasi adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi kerapatan *core gyroid* terhadap kekakuan *bending*.
2. Bagaimana analisis kegagalan pada spesimen setelah proses pengujian kekakuan *bending*.
3. Bagaimana proses melakukan *vacuum infusion* pada spesimen uji.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan dan menghindari luasnya permasalahan yang ada maka dalam penelitian ini diberikan Batasan masalah sebagai berikut :

1. Pembuatan spesimen menggunakan 3D *printing* dengan variasi *infill* 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dengan *fill pattern gyroid*
2. Proses *Vacuum Infusion* hanya menggunakan peralatan yang berada di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Uii
3. Spesimen di uji menggunakan alat uji *three point bending*
4. Jenis material *core* pada penelitian ini adalah *Polyactic Acid* (PLA) dengan *skin carbonfiber* menggunakan metode *vacuum infusion*.
5. Penelitian ini hanya sampai pembuatan spesimen uji dan pengujian *bending* saja.

## 1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh kerapatan *infill core polyactic acid* (PLA) terhadap nilai kekakuan *bending* komposit *sandwich carbonfiber*. Membuat komposit *sandwich carbonfiber* menggunakan material *core polyactic acid infill gyroid* dengan metode *vacuum infusion*.

## **1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian atau perancangan ini sangat beragam dan memiliki dampak yang signifikan. Beberapa manfaat penting yang dapat diungkapkan melalui penelitian atau perancangan ini meliputi:

1. Mengetahui proses metode *vacuum infusion*
2. Memperkirakan nilai kekakuan penambahan *skin carbonfiber* terhadap kekakuan pada produk komposit *sandwich*.
3. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan rancangan pembuatan produk komposit *sandwich*
4. Mengetahui nilai kerapatan spesimen komposit *sandwich* yang optimum pada material komposit *sandwich*

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Urut-urutan dan sistematika penulisan pada skripsi ini terdiri dari lima bab diantaranya:

1. BAB 1. Pendahuluan, terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika penulisan.
2. BAB 2. Kajian pustaka dan teori teori yang digunakan pada penelitian ini.
3. BAB 3. Metodologi penelitian, berisikan alur penelitian, alat dan bahan, tahapan proses pembuatan untuk diuji.
4. BAB 4. Hasil dan pembahasan, berisi mengenai proses pembuatan produk, pembahasan proses pembuatan produk.
5. BAB 5. Penutup, berisi kesimpulan penelitian serta saran yang didapat dari penelitian ini

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Penelitian terkait pengujian bending terhadap komposit telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, yang pertama yaitu penelitian yang bertujuan membandingkan variasi terbaik spesimen, untuk variasi yang digunakan adalah 3DP + *Fiberglass* 1 lapis, 3DP + *Fiberglass* 2 lapis, 3DP + *Fiberglass* 3 lapis, 3DP + *Lantor Soric*. pada penelitian ini digunakan variasi kerapatan *infill* pada *core infill* 3DP 10%, dan *infill* 3DP 20%. Didapatkan pada variasi komposit *sandwich* dengan *infill* 20% 3 lapis *fiberglass* pada variasi tersebut dapat menahan tegangan *bending* lebih besar dari pada variasi lainnya dengan nilai tegangan *bending* 27,48 MPa nilai tersebut merupakan nilai tertinggi daripada variasi komposit *sandwich* lainnya pada penelitian (Izma Adriansyah, 2021).

Selanjutnya penelitian yang bertujuan meneliti tentang pengaruh ketebalan *core* komposit *sandwich* terhadap kekakuan *bending* menggunakan metode *vacuum infusion*. Penelitian tersebut menggunakan variasi dari ketebalan *core* 5mm, 10mm, dan 15mm *core* menggunakan bahan PLA dengan *infill* 20% dan fill pattern honeycomb, menggunakan standar ASTM D790. Berdasarkan hasil penelitian nilai kekakuan tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan tebal *core* 15mm dengan nilai 5.7 GPa. Terdapat pertambahan berat, lebar, dan tebal setelah dilakukan komposit *sandwich*. Untuk perbandingan spesimen yang dilapisi komposit *sandwich* memiliki nilai yang lebih tinggi dalam hal beban maksimal, luas penampang, momen inersia, tegangan lentur, modulus elastisitas, dan kekakuan dibandingkan dengan spesimen yang tidak dilapisi dengan komposit. (Ashfan Roihan, 2021).

Selanjutnya penelitian yang bertujuan meneliti tentang pengaruh jenis *3d printed core* yang berbahan ABS dan Nylon yang digabungkan dengan komposit *sandwich carbonfiber* dengan metode *vacuum infusion* untuk mengetahui perbandingan nilai kekakuan masing-masing spesimen menggunakan uji *bending*. Pada penelitian ini menggunakan variasi ketebalan *core* yang berbahan ABS

dengan ketebalan 5mm dan 10mm dan *core nylon* dengan ketebalan 5mm dan 10mm menggunakan standar ASTM C393 *fill pattern honeycomb infill 20%*. Berdasarkan hasil penelitian nilai kekakuan tertinggi dimiliki oleh spesimen *core* 10mm berbahan Nylon dengan nilai sebesar 10.069.021,81 N.mm<sup>2</sup>. Untuk nilai tegangan bending tertinggi dimiliki oleh spesimen *core* 5mm berbahan ABS sebesar 99,57 Mpa. Untuk perbandingan spesimen yang dilapisi komposit pada spesimen ABS + Komposit *Sandwich core* 5mm lebih tinggi 15,09x dibandingkan dengan *core* 5mm tanpa komposit sandwich, spesimen ABS 10 mm dengan komposit *sandwich* lebih tinggi 4,2 x dibanding tanpa komposit. Perbandingan spesimen berbahan nylon *core* 10mm dengan komposit *sandwich* lebih tinggi 2,51 x dibandingkan dengan tanpa komposit *sandwich*. untuk spesimen Nylon 5mm dengan komposit *sandwich* lebih tinggi 5,19 x dibanding tanpa komposit. (Abdi Haritz, 2021).

Selanjutnya penelitian yang bertujuan meneliti tentang perbandingan pengaruh penambahan tekstur permukaan *core gyroid* antara spesimen standar ASTM D790 dan ASTM C393 terhadap kekakuan bending komposit *sandwich* dengan metode *vacuum infusion*. Variasi pada penelitian ini menggunakan perbedaan permukaan tekstur *core* yang digunakan yaitu *knurled bump* dan *tread plate* menggunakan *core* dari *3D Printing* dengan bahan PLA, *fill pattern gyroid 20%*. Berdasarkan hasil penelitian nilai kekakuan tertinggi adalah *core 3D Printing* dengan tekstur *tread plate* sebesar 32.902.582,2 Nmm<sup>2</sup>. nilai tegangan *bending* tertinggi pada spesimen 3DP + *Tread plate* (ASTM C393) lebih tinggi 1,7x dibandingkan *core* 10mm (ASTM D790). Hasil kekakuan *bending spesifik* 3 lapis *skin* menunjukkan (ASTM C393) Lebih tinggi 2,28 x dibandingkan 3 lapis *skin* (ASTM D790).

Selanjutnya penelitian yang bertujuan membandingkan orientasi sudut *proses printing* 0° dan 90° material PLA serta membuat komposit *sandwich vacuum infusion* untuk mengetahui perbandingan nilai kekakuan masing-masing spesimen. *Core* dibuat menggunakan mesin *3d Printing* material PLA *fill pattern hexagonal* dan *gyroid* dengan *infill 20%*. Berdasarkan pengujian *bending* yang telah dilakukan didapatkan nilai kekakuan tertinggi pada spesimen *core gyroid* orientasi sudut 0° sebesar 11.791.955 Nmm<sup>2</sup>. Untuk nilai tegangan *bending*

tertinggi pada spesimen *core gyroid* dengan orientasi sudut *printing*  $0^\circ$  sebesar 47,23 Mpa. Untuk perbandingan kekakuan *bending* spesimen *gyroid* dan *hexagonal* dengan orientasi sudut *printing*  $0^\circ$  dan  $90^\circ$  lebih tinggi kekakuan *bending* spesimen yang menggunakan komposit *sandwich* dibandingkan *core* tanpa komposit *sandwich*. spesimen *core hexagonal* komposit *sandwich* dengan orientasi  $90^\circ$  lebih tinggi kekakuan *bendingnya* dibandingkan dengan *core hexagonal* komposit *sandwich* orientasi  $0^\circ$ .

Selanjutnya Penelitian yang bertujuan untuk membandingkan nilai kekakuan *bending* antara *core gyroid* dengan *skin carbonfiber* menggunakan metode *vacuum infusion* dengan variasi derajat *printing*  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $60^\circ$  dan mengetahui pengaruh proses *printing core* pada setiap spesimen terhadap kekakuan *bending*. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan bahwa nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi pada spesimen yang dilapisi *skin* pada orientasi  $45^\circ$  sebesar  $398.237,94 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$  dan untuk kekakuan *bending* spesifik tertinggi spesimen yang tidak dilapisi *skin* pada spesimen dengan orientasi *printing*  $45^\circ$  sebesar  $111.015,56 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$

Perbedaan pada penelitian ini dilakukan analisa pengaruh kerapatan *infill core* terhadap kekakuan *bending*. Dengan menggunakan variasi *infill* 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan *fill pattern core gyroid*. Metode yang digunakan, yaitu *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI). Spesimen mengacu pada standar ASTM C393 untuk pengujian *bending*.

## **2.2 Dasar Teori**

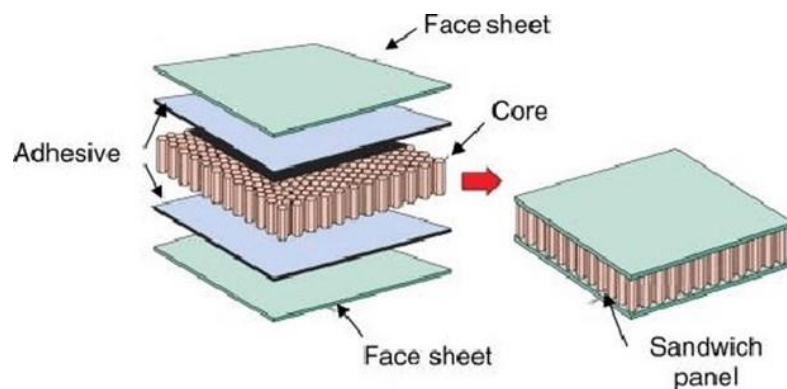
### **2.2.1 Komposit**

Komposit berasal dari kata “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabung. Jadi Secara sederhana bahan komposit berarti bahan terdiri dari dua bahan atau lebih yang mempunyai sifat berbeda. Komposit merupakan rangkaian dari dua atau lebih material yang dirangkai menjadi satu bahan dimana sifat mekanik dari masing-masing pembentuknya berbeda-beda (Mikell, 1966). Material komposit merupakan sebuah material gabungan yang terdiri dari dua unsur, yang pertama yaitu serat sebagai bahan pengisi (*carbon fiber*) dan matriks

sebagai bahan pengikat (resin *epoxy*). Gabungan dari material tersebut akan menghasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik berbeda dari material pembentuknya.

### 2.2.2 Komposit *Sandwich*

Komposit adalah rangkaian dua lembar *skin* yang tersusun pada sisi luar *core*. *Skin* berfungsi untuk menahan beban aksial sehingga struktur dari *sandwich* membutuhkan kekuatan dan kekakuan yang tinggi dengan bobot yang ringan. *Core* dan *skin* merupakan komponen dasar dari komposit *sandwich*, *core* merupakan komponen dengan bagian volume yang jauh lebih besar dari *skin*. *Core* mempunyai karakteristik yang berbeda berdasarkan jenis material penyusunnya. *Skin* juga berfungsi sebagai komponen yang memperkuat *core*. (Febriyanto, 2011). Jadi pada prinsipnya konsep struktur dari komposit *sandwich* yaitu meningkatkan kekuatan material tanpa menambah beban. Komposit *sandwich* menggunakan rangkaian *single skin* dengan tebal yang terbagi menjadi dua yang terpisah oleh lapisan inti yang ringan dan tebal, yang akan direkatkan oleh suatu bahan perekat atau matriks. Digunakan material yang ringan, dan memiliki kekuatan geser untuk lapisan inti agar bisa mengalokasikan tegangan dan mendapat kekuatan tekanan yang baik untuk menahan beban. Susunan struktur dari komposit *sandwich* dapat dilihat dari gambar 2-1 berikut:



Gambar 2-1 Struktur Komposit *Sandwich*

### **2.2.2.1 Core**

*Core* merupakan inti dari komposit *sandwich*, pada bagian *core* harus merupakan material yang kaku agar mampu menahan dari beban geser dan menghindari terjadinya *slide* antar permukaan. Selain untuk menghindari beban geser *core* harus mempunyai tingkat kekakuan yang tinggi untuk menambah kekakuan dari *sandwich* karena apabila *core* mempunyai kekakuan rendah akan terjadi berkurang atau menghilangnya kekakuan *sandwich*. *Core* mempunyai tingkat kadar air yang rendah dan umur yang panjang. (Hartono, dkk., 2016)

Pada penelitian ini, *core* yang digunakan yaitu *3D Print* dengan *infill gyroid*, sifat dari material tersebut memiliki kekuatan yang baik, ringan dan tahan lama. Berikut pada gambar dibawah ini menunjukkan gambaran *3D Print Infill Gyroid*.

### **2.2.2.2 Skin**

*Skin* merupakan struktur komposit *sandwich* terluar yang melapisi *core*, komposisi dari *core* terbentuk dari serat atau partikel. *Skin* berfungsi untuk menahan *tensile* dan *compressive stress*.

Untuk memperkuat sifat mekanis material-material konvensional seperti logam, *stainless steel*, dan baja dapat dijadikan sebagai bahan untuk *skin* untuk memperkuat. Pemilihan *skin* terhadap material juga merupakan faktor yang sangat penting sebab kekuatan mekanis dari komposit *sandwich* sangat bergantung pada material penyusunnya.

Serat karbon muncul di pasaran pada tahun 1960 dan diproduksi dari serat organik (rayon, akrilik, dll) atau dari sisa minyak bumi. Serat karbon ini adalah serat penguat paling kaku dan kuat untuk material komposit *polimer* dan serat karbon ini serat yang paling banyak digunakan setelah serat kaca (*fiber*). Kekurangan dari serat karbon ini adalah harganya yang sangat mahal dan dapat menimbulkan korosi *galvanik* saat kontak dengan logam. (Lukassen dan Meidell, 2007).



Gambar 2-2 Serat Karbon

### **2.2.2.3 Matriks**

Matriks adalah bagian yang paling dominan dari komposit. Matriks lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah. Syarat utama dari matrik untuk komposit adalah matriks harus bisa meneruskan beban, serat harus bisa kompatibel pada matrik. Matriks mempunyai ketahanan panas yang tinggi (Triyono dan Diharjo, 2000). Matriks pada komposit adalah resin yang mempunyai 3 tipe berbeda, yaitu:

1. Resin *Epoxy*

Memiliki bentuk cairan kental, tahan panas, dan mempunyai daya rekat yang kuat, mempunyai ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan *polyester*.

2. Resin *Polyester*

Memiliki ketahanan terhadap korosi tetapi kurang tahan terhadap tekanan dan tidak tahan terhadap temperature.

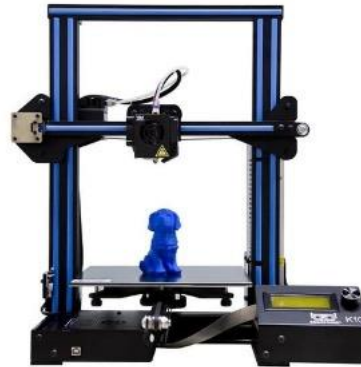
3. Resin *Bisphenolic*

Memiliki karakter tahan terhadap basa, asam, dan garam.

### **2.2.3 3D Print**

*3D Printing* merupakan teknologi yang digunakan untuk pembuatan produk yang bisa dilakukan secara mudah, cepat, dan detail. Produk produk dari *3D Print* ini bisa mencetak permodelan untuk Pendidikan, alat penunjang

kesehatan dan desain produk dalam bentuk 3 dimensi. *3D Printing* adalah salah satu dari berbagai proses dimana material dipadatkan di bawah kontrol komputer untuk membuat objek 3 dimensi yang bisa disebut *layered manufacture* yang membangun volume padat dari model CAD dengan menambahkan lapisan bahan demi lapis secara berturut-turut. (Jacobs, Paul Francis, 1992).

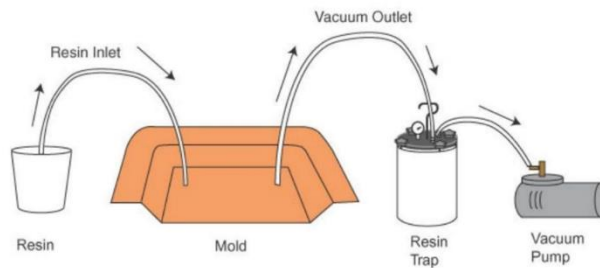


Gambar 2-3 *3D Printing Machine*

Pada gambar 2-3 menunjukkan gambar mesin *3d print* yang digunakan untuk membuat specimen uji bending dengan standar ASTM C393. Specimen dicetak menggunakan material *Polyactic acid (PLA)* dengan *fill pattern Gyroid* dengan variasi *infill* 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. PLA merupakan *biopolymer* atau polimer yang berasal dari bahan alami bersifat mudah diuraikan atau *biodegradable*. (Cassalini et al. 2019).

#### **2.2.4 *Vacuum Infusion***

Proses *vacuum infusion* merupakan teknik yang menggunakan tekanan vacuum untuk menggerakkan resin menuju ke laminasi. Material yang akan di *vacuum* material kering di dalam cetakan dan proses *vacuum* dilakukan sebelum resin dimasukkan. Tujuannya adalah untuk menjaga tekanan dalam cetakan terhindar dari udara luar, agar ketika resin masuk resin bisa langsung terhubung dan mengalir rata di dalam cetakan dengan spesimen. Metode *vacuum* merupakan penyempurnaan dari metode sebelumnya, vacuum memberikan tekanan yang kuat dan merata ke seluruh permukaan tidak peduli karakteristik atau jumlah bahan yang digunakan dalam proses laminasi. (Geugeon Brothers Inc, 2010)



Gambar 2-4 Proses *Vacuum Infusion*

### 2.2.5 Pengujian *Bending*

Pengujian Tekuk (*bending test*) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan kualitas suatu material secara visual. Selain itu uji bending digunakan untuk mengetahui kekuatan material akibat dari pembebanan. Dengan diberikannya beban secara maksimal pada material, material tersebut akan mengalami deformasi. Dari deformasi tersebut bisa dilihat hasil dari uji bending.

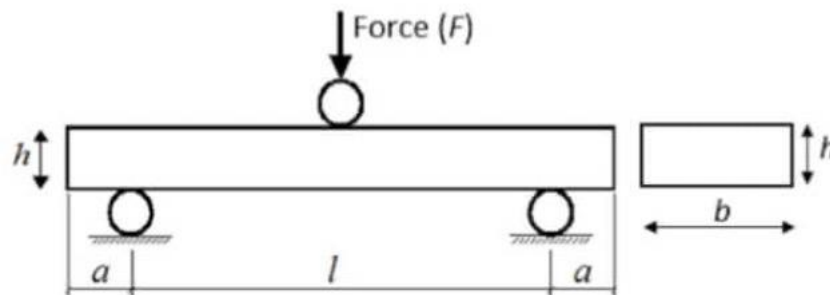
Nilai kekuatan bending berbeda-beda setiap materialnya bergantung pada jenis material. Proses pengujian bending mengakibatkan pembebanan pada spesimen bagian atas mengalami tekanan, dan bagian bawah spesimen akan mengalami tegangan tarik.



Gambar 2-5 *Universal Testing Machine*

Pada Gambar 2-5 adalah gambar alat uji *bending*. Pada umumnya alat uji *bending* memiliki beberapa bagian penting, seperti: rangka, alat tekan, *point bending* dan alat ukur. Rangka mempunyai kekuatan yang lebih besar dari kekuatan alat tekan agar tidak terjadi kerusakan pada saat pengujian karena rangka berfungsi sebagai penopang gaya balik saat proses pengujian. Alat tekan berfungsi sebagai

pemberi gaya tekan pada saat dilakukan pengujian. *Point bending* berfungsi sebagai tumpuan spesimen. Panjang pendeknya tumpuan berpengaruh pada kekuatan dan hasil pengujian. Pada proses pengujian bending terdapat 2 macam pengujian, *three point bending* dan *four point bending*.



Gambar 2-6 Skema Pembebanan *Three Point Bending*

Gambar 2-6 merupakan jenis pengujian bending yang digunakan pada penelitian ini yaitu *three point bending*, jenis pengujian ini adalah pengujian dengan menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan. Maka untuk menghitung kekuatan bending dapat dirumuskan sebagai berikut.

Perhitungan pada komposit *sandwich* berbeda dengan perhitungan spesimen benda pejal. Spesimen yang terdapat pada bagian *infill core* komposit *sandwich* tidak berbentuk pejal tetapi berbentuk rongga pada penelitian ini *infill* pada *core* berbentuk *Gyroid*.

1. Tegangan Maksimal

$$\sigma = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (2.1)$$

2. Kekakuan *Bending*

$$D = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \delta} \quad (2.2)$$

3. Kekuatan *Bending Spesifik*

$$D. \text{Spesifik} = \frac{D}{W} \quad (2.3)$$

Keterangan rumus:

$P$  = Beban yang diberikan (N)

$L$  = Jarak Point (mm)

$\delta$  = Defleksi (mm)

$D$  = Kekakuan *Bending* ( $Nmm^2$ )

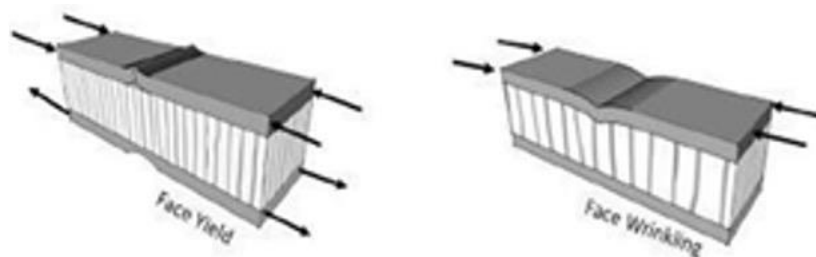
$b$  = Lebar Spesimen Uji (mm)

$h$  = Ketebalan Spesimen Uji (mm)

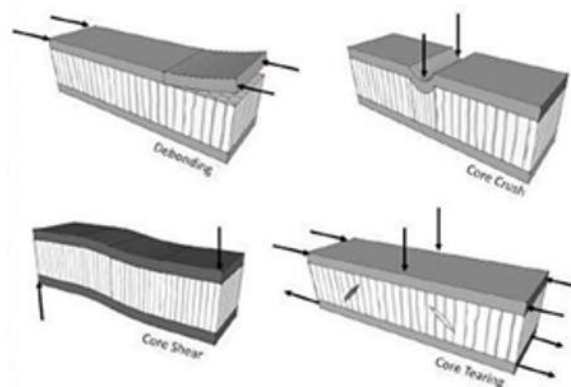
$W$  = Berat Spesimen Uji (gr)

### 2.3 Modus Kegagalan Pengujian *Bending*

Dalam pengaplikasiannya pada bidang rekayasa, komposit *sandwich* mengalami berbagai macam beban mekanik, seperti misalnya beban tekan, tarik, lentur, geser dan puntir. Terkadang, dalam aplikasinya tidak jarang juga beban yang dialami oleh material ini melebihi beban pada awal perancangan sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan pada material ini. Menurut (Petras, n.d.) berikut kegagalan yang terjadi pada komposit sandwich:



Gambar 2-7 Jenis Kegagalan pada Komposit *Sandwich*



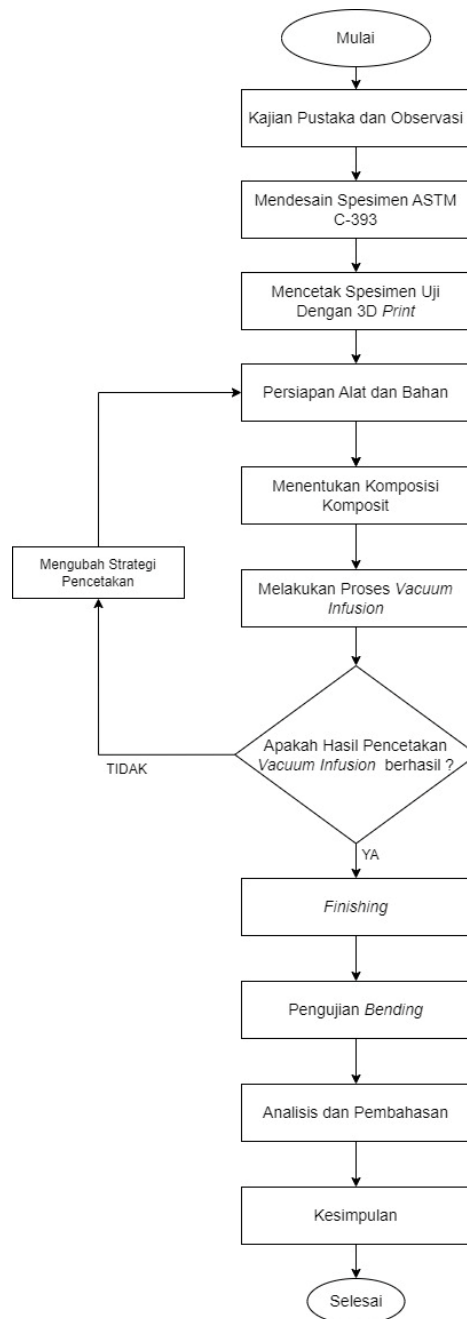
Gambar 2-8 Jenis Kegagalan pada *Core*

Kegagalan *skin* komposit *sandwich* yang pertama yaitu *face yield* terjadi ketika tegangan normal melebihi tegangan luluh material *skin*. Jika material *skin* bersifat getas, maka kegagalan *face yield* kemungkinan besar terjadi pada *skin* bagian atas karena lebih kritis terhadap tegangan tekan. Kemudian kegagalan *face wrinkling* yaitu fenomena *buckling* yang terjadi pada *skin* atas akibat tegangan tekan dan kurangnya *support* dari *core* karena dimensi struktur *core* yang terlalu besar (densitas rendah).

Pada kegagalan *core* terdapat 4 jenis kegagalan, dimana pada kegagalan *debonding* kegagalan yang terjadi adalah lapisan *skin* terlepas dari bagian *core* spesimen. Untuk *core crush* kegagalan yang terjadi adalah perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen. Untuk kegagalan *core shear* bentuk kegagalan yang terjadi adalah spesimen berubah bentuk akibat pembebanan yang diberikan. Sedangkan untuk kegagalan *core tearing* jenis kegagalan yang terjadi adalah pecahnya atau terlepasnya bagian *core* spesimen akibat gaya gesek pada bagian tengah spesimen. (Fadhyl, 2022).

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian



Gambar 3-1 Alur Penelitian

## 3.2 Peralatan dan Bahan

### 1. *Vacuum Pump*

Pompa *Vacuum* berfungsi sebagai pengisap udara yang ada pada *vaccum bag* pada saat proses *vaccum infusion*. Pompa *vacuum* yang digunakan pada penelitian ini bermerek Krisbow dengan kapasitas 1/2 HP.



Gambar 3-2 Pompa *Vacuum*

### 2. Tabung *Reservoir*

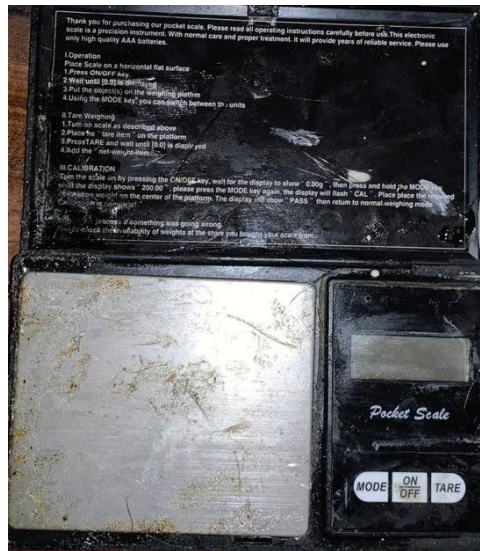
Tabung *Reservoir* mempunyai 2 input. Input 1 berfungsi untuk menampung sisa resin saat resin mengisi cetakan yang sudah di *vacuum* dan mencegah sisa resin masuk dan merusak pompa, sedangkan input 2 berfungsi untuk membaca tekanan saat melakukan proses *vacuum*. Bentuk Tabung *Reservoir (Catch Pot)* dapat dilihat pada gambar 3- 4.



Gambar 3-3 Tabung *Reservoir*

### 3. Timbangan

Timbangan yang berfungsi untuk menakar campuran epoxy dan *hardener* dan sebagai alat untuk menimbang spesimen sebelum dilapisi komposit dan setelah dilapisi komposit.



Gambar 3-4 Timbangan

### 4. Katup Bensin

Katup bensin berfungsi sebagai pengatur udara dari selang epoxy dan dari pompa *vacuum*.



Gambar 3-5 Katup Bensin

5. *Vacuum bag*

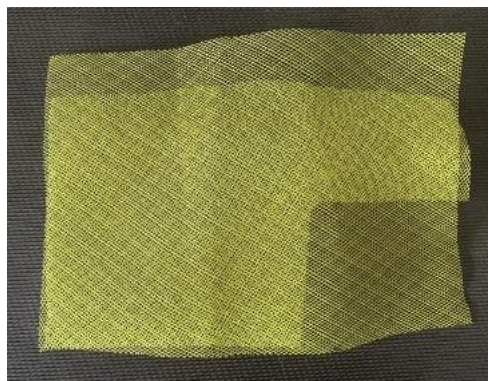
*Vacuum bag* berfungsi sebagai tempat diletakkanya spesimen komposit pada saat akan dilakukanya proses *vacuum infusion* spesimen memerlukan *vacuum bag* untuk mencegah adanya udara masuk pada saat proses *vacuum* untuk menjaga tekanan.



Gambar 3-6 *Vacuum Bag*

6. *Infusion Mesh*

*Infusion mesh* berfungsi sebagai pemisah antara *vaccum bag* dan *peelply* agar tidak terjadi hambatan. *Infusion mesh* juga menjadi media penyebaran resin pada saat proses *vacuum*.



Gambar 3-7 *Infusion Mesh*

7. Peel Ply

Berfungsi sebagai pemisah antara *infusion mesh* dengan *carbonfiber*. *Peel ply* juga mempermudah proses pelepasan spesimen dari *vacuum infusion* yang sudah kering dan sudah terlapis *skin*.



Gambar 3-8 Peel Ply

8. Selang

Selang berfungsi untuk mengalirkan resin dari wadah kedalam *vaccum bag* dan mengalirkan tekanan pada *vaccum pump* ke *reservoir trap*. Selang yang digunakan berdiameter 6mm dan 8mm. Selang juga berperan sebagai *input* dan *output* pada proses *vacuum*.



Gambar 3-9 Selang

### 9. Selang Spiral

Selang spiral berfungsi sebagai jalur untuk mengalirkan resin ke semua bagian dalam cetakan dan menyalurkan aliran tekanan dari *vacuum pump*. Selang spiral merupakan bagian dari *output* pada proses *vacuum*.



Gambar 3-10 Selang Spiral

### 10. Epoxy

Epoxy merupakan senyawa kimiawi dari proses polimerisasi. Epoxy akan dialirkan oleh *vacuum pump* dan akan menyebar ke bagian spesimen.



Gambar 3-11 Epoxy

## 11. Hardener

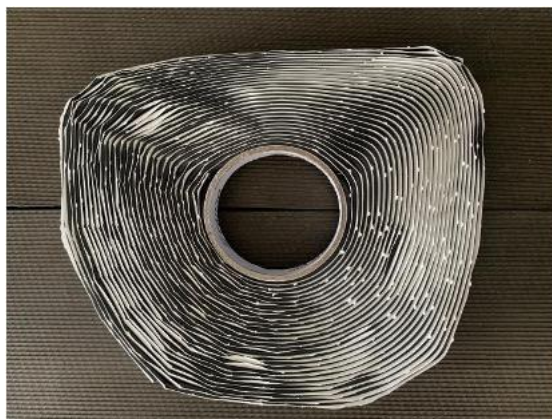
Hardener merupakan senyawa kimia yang dapat membantu mempercepat proses pengerasan pada epoksi.



Gambar 3-12 *Hardener*

## 12. Butyl Tape

Butyl tape berfungsi untuk merekatkan plastik vaccum disetiap sisi agar tidak terjadi kebocoran yang dapat menyebabkan udara dari luar masuk kedalam plastik vaccum.



Gambar 3-13 *Butyl Tape*

### 13. Lem Dextone

Lem Dextone berfungsi sebagai perekat antar core 3D *printing* dan serat karbon sebelum dilakukan vaccum infusion agar serat karbon lebih menempel pada *core*.



Gambar 3-14 Lem Dextone

### 14. Serat Karbon

Serat karbon pada penelitian ini menggunakan serat karbon Kevlar fiber dengan ukuran 2x2m. serat karbon pada penelitian ini digunakan sebagai skin komposit sandwich. Struktur karbon yang digunakan merupakan alur karbon *woven*, yang berbentuk seperti anyaman dan tenun



Gambar 3-15 Serat Karbon

#### 15. Filamen (PLA)

Pada gambar dibawah ini menunjukkan PLA (*Polyactic Acid*). PLA ini menjadi bahan dasar utama pembuatan spesimen 3D *Print*. PLA ini digunakan pada penelitian ini sebagai core pada pembuatan spesimen komposit sandwich. Pada penelitian ini filamen yang digunakan diameter 1,75 mm



Gambar 3-16 *Polyactic Acid*

#### 16. Wadah Plastik

Wadah plastic digunakan sebagai tempat pencampuran anatar epoxy dan hardener.



Gambar 3-17 Gelas Plastik

### 17. Stik Es Krim Kayu

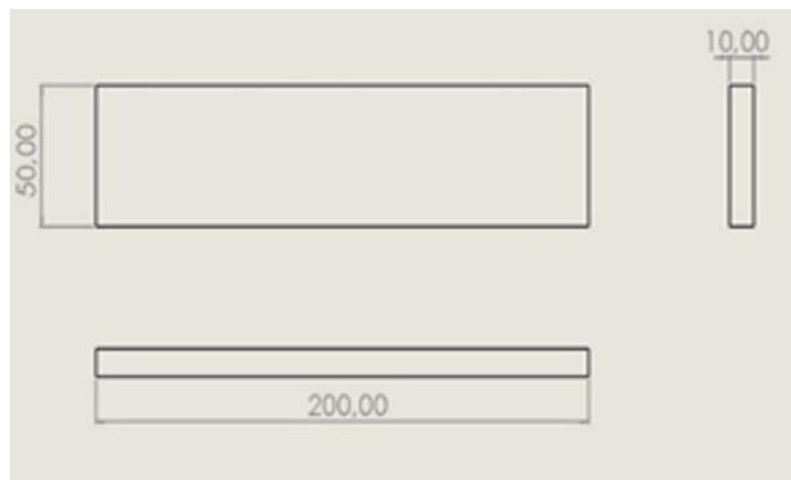
Stik es krim kayu digunakan sebagai alat pembantu pencampuran antara epoxy dan hardener di dalam gelas plastik, pada saat proses pencampuran resin epoxy dan hardener diaduk agar tercampur merata.



Gambar 3-18 Stik Es Krim Kayu

### 3.3 Dimensi Spesimen *Bending*

Pada penelitian ini standar spesimen komposit *sandwich* yang digunakan ASTM C393, dengan bahan *Polyactic Acid* (PLA) dengan variasi *infill* 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dengan *fill pattern gyroid*.



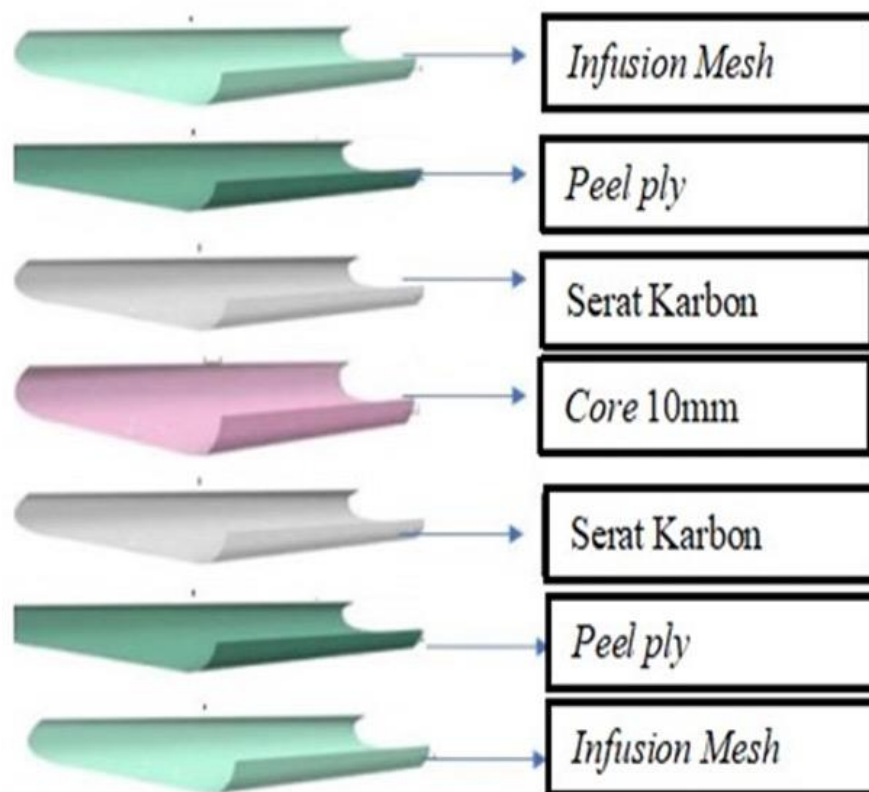
Gambar 3-19 Dimensi Spesimen Uji Standar ASTM C393

Gambar 3-19 menunjukkan dimensi spesimen yang akan dilakukan penelitian. Dimensi spesimen mengacu pada standar ASTM C393 dengan tebal 10

mm, lebar 50 mm, Panjang Spesimen 200 mm. Pada penelitian ini menggunakan bahan Polyactic Acid (PLA). Dibuat desain 3d print tanpa lapisan komposit sebagai nilai pembanding sebelum dilakukan proses *vacuum infusion*.

### 3.4 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

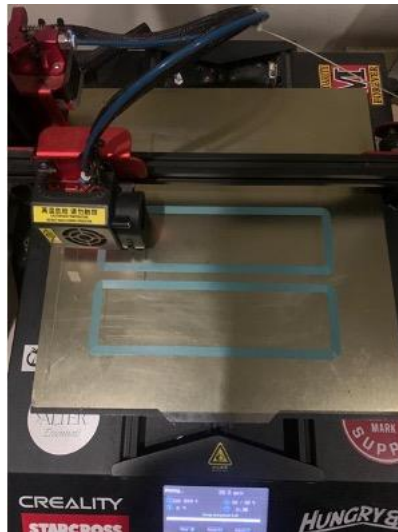
Gambar 3-20 dibawah ini menunjukkan struktur lapisan dari komposit *sandwich* dengan ketebalan *core* 10mm dilapisi oleh *carbonfiber* pada bagian atas dan bawah spesimen sebanyak 1 lapis, *peel ply* dan *infusion mesh* kemudian dilakukan proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-20 Struktur Lapisan Komposit Sandwich

### 3.5 Proses Pengerjaan

#### 3.5.1 Pembuatan *Core* Menggunakan Mesin *3D Printing*



Gambar 3-21 Proses *3D Printing*

Proses pembuatan *core* dengan bentuk sesuai dengan standar uji ASTM C393 menggunakan mesin *3D printing*. Spesimen uji dibuat menggunakan material *Polyactic Acid* (PLA) dengan *infill* 10%, 20%, 30%, 40%, 50%. Dengan parameter proses *printing* sebagai berikut:

Tabel 3-1 Parameter *Proses Printing*

Material	Parameter Tetap				Variasi
	Tebal Layer	Suhu bed	Suhu Nozzle	Speed	Infill Density
	(mm)	(°C)	(°C)	(mm/s)	(%)
PLA	0.2	50	220	100	10
					20
					30
					40
					50

### 3.5.2 Proses Vacuum Infusion

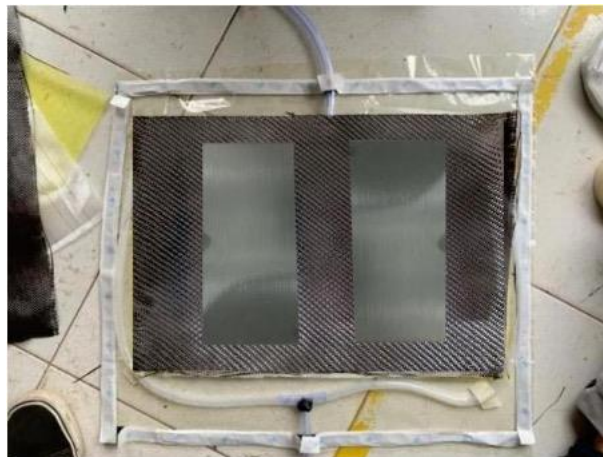
1. Proses pemasangan *vacuum bag*, *carbonfiber*, *peel ply*, strimin



Gambar 3-22 Penyusunan Bahan Sebelum *Vacuum*

Pada Gambar 3-22 menunjukkan proses penyusunan spesimen komposit *sandwich* sebelum dilakukanya proses *vacuum infusion*.

2. Proses pemasangan selang *inlet*, *outlet*, dan *selang spiral*



Gambar 3-23 Pemasangan Selang

Pada Gambar 3-23 menunjukkan proses pemasangan selang, ini berfungsi sebagai penetral udara pada saat proses sebelum *vacuum*, dan sebagai jalan masuk dan jalan keluarnya resin pada saat proses *vacuum*.

### 3. Proses Pelapisan *Dextone*



Gambar 3-24 Pencampuran Lem *Dextone* Dan *Hardener*

Pada proses ini pelapisan *dextone* pada spesimen bertujuan untuk merekatkan spesimen *core* dengan serat karbon, yang nantinya setelah direkatkan *dextone* semua bahan *vacuum infusion* disusun kembali ke dalam *vacuum bag*.



Gambar 3-25 Proses *Dextone*

Pada Gambar 3-25 menunjukkan bahwa *core* sudah direkatkan dengan serat karbon menggunakan *dextone* dan siap untuk ditutup menggunakan *vacuum bag* untuk dilakukan proses *vacuum infusion*.

4. Proses penyusunan semua bahan kedalam *vacuum bag*.



Gambar 3-26 Penyusunan Bahan

Pada Gambar 3-26 menunjukkan proses penyusunan semua bahan yang digunakan untuk melakukan proses *vacuum infusion* kedalam plastik. Semua bahan disatukan sebelum ditutup menggunakan *vacuum bag* dan direkatkan menggunakan *sealant tape*.

5. Proses Pencampuran *epoxy* dan *hardener*.



Gambar 3-27 Proses Pencampuran *Epoxy* dan *Hardener*

Pada Gambar 3-27 menunjukkan proses pencampuran *epoxy hardener* sebagai pembentuk dari komposit *sandwich*. Perbandingan pencampuran antara *epoxy* dan *hardener* adalah 1:0,3.

## 6. Proses *Vacuum Infusion*



Gambar 3-28 Proses *Vacuum Infusion*

Pada Gambar 3-28 menunjukkan proses *vacuum* menggunakan satu *inlet* dan satu *outlet* sebagai jalan resin membentuk spesimen.

### 3.5.3 Proses *Finishing*

Proses *finishing* dilakukan dengan menggunakan alat untuk untuk memotong dan menghaluskan komposit *sandwich*.



Gambar 3-29 Proses *Finishing*

Pada Gambar 3-29 menunjukkan proses *finishing* dari spesimen yang telah dilakukan proses *vacuum*. Proses *finishing* dilakukan menggunakan gerinda dengan menghaluskan bagian pinggir spesimen.



Gambar 3-30 Hasil *Vacuum*

Pada Gambar 3-30 menunjukkan hasil dari *Vacuum Infusion* spesimen *core Polyactic Acid Gyroid* dengan *skin* serat karbon. Setelah proses *finishing* dan siap untuk dilakukan uji *bending* menggunakan alat uji *three point bending*. Spesimen yang telah di *vacuum* mengalami penambahan ukuran, dan berat.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengujian *Bending*

Untuk mengetahui nilai kekakuan dari 15 spesimen yang dilapisi komposit dan 5 spesimen yang tidak dilapisi komposit, dilakukan pengujian *bending*. Pada pengujian *bending* menggunakan alat uji *three point bending* untuk spesimen uji *bending* mengacu pada standar ASTM C393.



Gambar 4-1 Proses Pengujian *Three Point Bending*

Dalam melakukan pengujian *bending*, ada langkah-langkah sebelum pengujian yaitu:

1. Memastikan standar spesimen pengujian, pada penelitian ini kita menggunakan standar ASTM C393, kemudian kumpulkan spesimen sesuai variasinya
2. Letakan spesimen pada alat uji, kemudian pastikan jarak antar pointnya yaitu 170 mm, dengan Panjang spesimen 200mm.
3. Ketika proses penekanan mesin uji akan memberikan tekanan maksimal secara perlahan hingga spesimen patah.
4. Catat hasil pengujian.

## 4.2 Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian *bending* pada spesimen uji yang dilakukan pada Laboratorium Bahan Teknik UGM mendapatkan hasil dari pengujian bending pada gambar 4-2:



Gambar 4-2 Hasil Pengujian *Bending*

Pada Gambar 4-2 menunjukkan hasil dari spesimen komposit *sandwich* yang telah dilakukan pengujian *bending*. pada spesimen terdapat modulus kegagalan yang berbeda pada masing masing spesimen. Berikut adalah hasil perbandingan dari berat, lebar dan tebal spesimen setelah proses *vacuum infusion*.

Tabel 4-1 Tabel Perbandingan Spesimen Setelah Proses *Vacuum Infusion*

No.	Kode Spesimen	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Lebar awal (mm)	Lebar akhir (mm)	Tebal awal (mm)	Tebal Akhir (mm)
1	10%GWS1	33,00	49,24	49,70	49,80	9,92	11,78
2	10%GWS2	33,00	52,36	49,70	49,73	9,92	11,92
3	10%GWS3	33,00	56,12	49,70	49,85	9,92	12,07
4	20%GWS1	44,00	67,68	49,80	50,03	10,00	12,05
5.	20%GWS2	44,00	64,60	49,80	50,05	9,80	11,02
6	20%GWS3	44,00	66,24	49,80	51,98	9,72	10,42
7	30%GWS1	55,00	75,50	49,50	53,54	10,00	11,68
8	30%GWS2	55,00	80,68	49,50	51,00	10,20	11,83
9	30%GWS3	55,00	74,42	50,30	52,22	10,00	11,84
10	40%GWS1	64,00	78,32	49,70	50,09	10,20	11,52
11	40%GWS2	64,00	81,48	49,70	49,81	10,10	11,92
12	40%GWS3	64,00	78,42	49,50	49,80	10,90	11,48
13	50%GWS1	74,00	100,80	50,30	49,93	9,98	11,88
14	50%GWS2	74,00	100,12	50,30	54,28	9,98	11,66
15	50%GWS3	74,00	100,19	50,30	54,73	9,98	11,95

Pada tabel 4-1 menunjukkan perbandingan berat, tebal, lebar spesimen setelah proses *vacuum infusion*. Rata-rata berat spesimen setelah dilakukan *vacuum infusion* komposit *sandwich* bertambah 15-20g, tebal dan lebar bertambah 2-3mm.

Tabel 4-2 Tabel Hasil Dari Pengujian *Bending Komposit Sandwich*

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Teg.Bending (Mpa)
1	10% WS1	11,78	49,8	0,82	2,57	17,80
2	10% WS2	11,92	49,73	0,85	2,89	18,04
3	10% WS3	12,07	49,85	0,91	1,64	18,80
4	20% WS1	12,05	50,03	1,84	2,37	37,99
5	20% WS2	11,97	50,05	1,90	3,27	39,74
6	20% WS3	11,90	51,98	1,89	3,11	38,51
7	30%WS1	11,68	53,54	2,43	5,63	49,90
8	30%WS2	11,83	50,10	1,38	5,64	29,52
9	30%WS3	11,84	52,22	1,89	5,64	38,73
10	40% WS1	11,52	50,09	2,04	4,63	46,03
11	40% WS2	11,92	49,81	2,10	4,58	44,51
12	40%WS3	11,48	49,80	1,53	3,68	34,97
13	50%WS1	11,88	49,93	2,53	3,91	53,85
14	50%WS2	11,66	54,28	2,50	4,23	50,82
15	50%WS3	11,95	54,73	3,07	4,63	58,92

Pada Tabel 4-2 Menunjukkan hasil dari pengujian *bending* komposit *sandwich* menggunakan *skin carbonfiber*. Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa beban maksimal tertinggi pada spesimen 50%WS3 dengan nilai 3,07 KN. Nilai defleksi tertinggi terdapat pada spesimen 30%WS2 dan 30%WS3 dengan nilai defleksi yang sama yaitu 5,64 mm. untuk nilai tegangan *bending* tertinggi terdapat pada spesimen 50%WS3 dengan nilai tegangan bending sebesar 58,92 Mpa.

Tabel 4-3 Tabel Hasil Pengujian *Bending Non Skin*

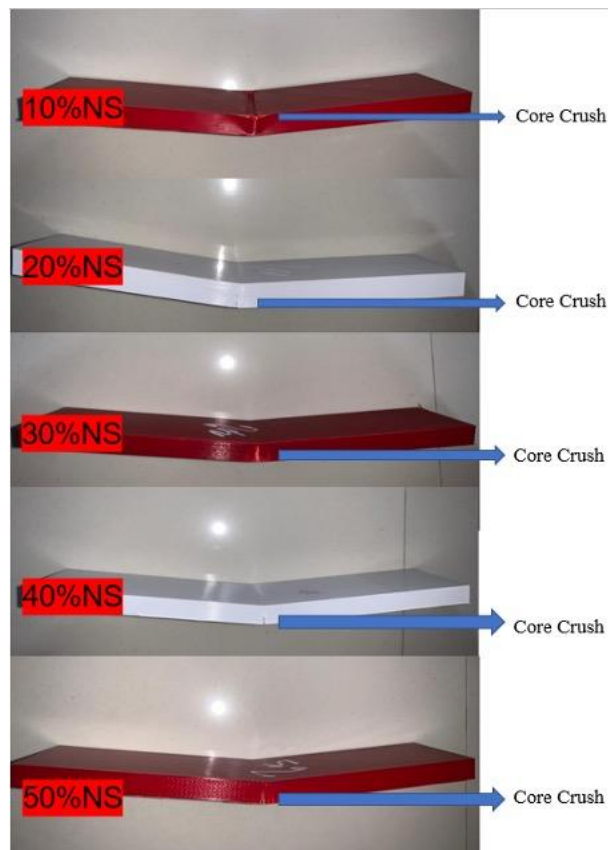
No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Teg.Bending (Mpa)
1	10%GNS	9,92	49,70	0,42	7,51	12,88
2	20%GNS	10,00	49,80	0,73	6,50	21,99
3	30%GNS	10,00	49,70	1,06	6,84	31,99
4	40%GNS	9,98	49,80	1,13	6,90	34,17
5	50%GNS	10,04	50,42	1,33	7,16	39,25

Pada Tabel 4-3 menunjukkan data hasil pengujian *bending non skin*. Dapat dilihat bahwa beban maksimal tertinggi terdapat pada spesimen 50%GNS dengan nilai sebesar 1,33 KN. Nilai defleksi terbesar terdapat pada spesimen 10%GNS dengan nilai sebesar 7,51 mm. Untuk nilai tegangan *bending* didapatkan pada spesimen 50%GNS dengan nilai tegangan bending sebesar 15,70 Mpa.

### 4.3 Analisis dan Pembahasan

Pada saat proses pengujian *bending* komposit *sandwich* dikenai beban Maksimal hingga melampaui kekuatannya. Kegagalan komposit *sandwich* adalah kerusakan yang terjadi pada komposit *sandwich* akibat terjadinya pembebanan pada material. Berdasarkan 15 spesimen komposit *sandwich* dan 5 spesimen *core gyroid* yang di uji, pada umumnya spesimen mengalami kegagalan *face yield* pada komposit *sandwich* yang terjadi karena *skin* relative tipis terhadap tebal *core* dan pada spesimen *non skin* terdapat kegagalan *core crush* yaitu kegagalan karena perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen.

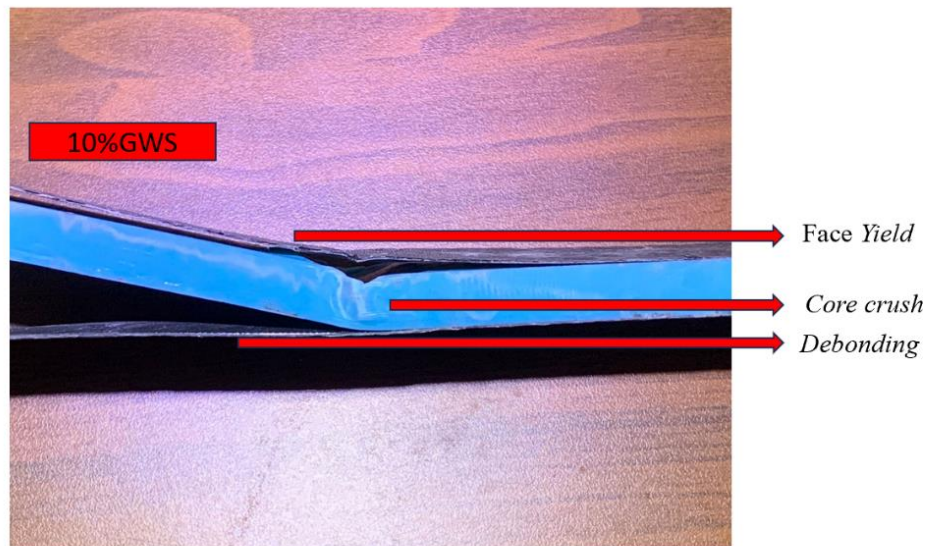
### 4.3.1 Analisis Kegagalan Pada Spesimen Non *SKIN*



Gambar 4-3 Spesimen *Core Gyroid Non Skin*

Pada Gambar 4-3 menunjukkan kegagalan pada spesimen tanpa komposit dengan *core gyroid* mengalami kegagalan akibat pembebanan *bending*. Pada spesimen dengan variasi kerapatan 10%NS, 20%NS, 30%NS, 40%NS, 50%NS mengalami kegagalan *core crush* yaitu kegagalan pada bagian tengah spesimen akibat pembebanan *bending*.

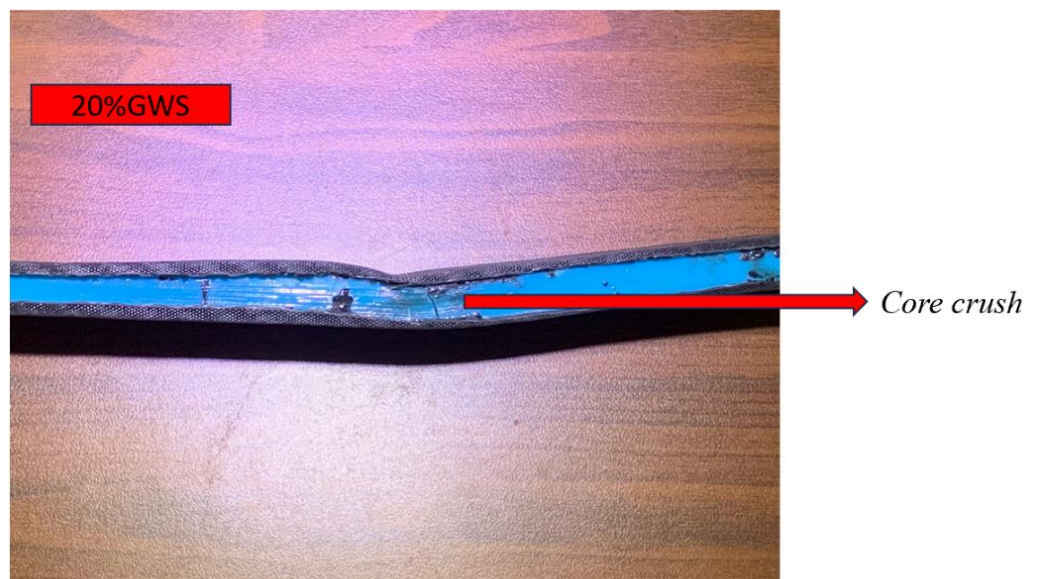
### 4.3.2 Modus Kegagalan Pada Spesimen *Infill 10% Skin*



Gambar 4-4 Spesimen Komposit *Sandwich Non Skin*

Pada Gambar 4-4 menunjukkan kegagalan dari spesimen 10% *skin* mengalami Kegagalan akibat pembebanan *bending*. spesimen memiliki kegagalan *skin* yang sama yaitu *face yield*, debonding yaitu hilangnya daya rekat *carbonfiber* akibat pembebanan, *Core crush* terjadi pada spesimen tersebut.

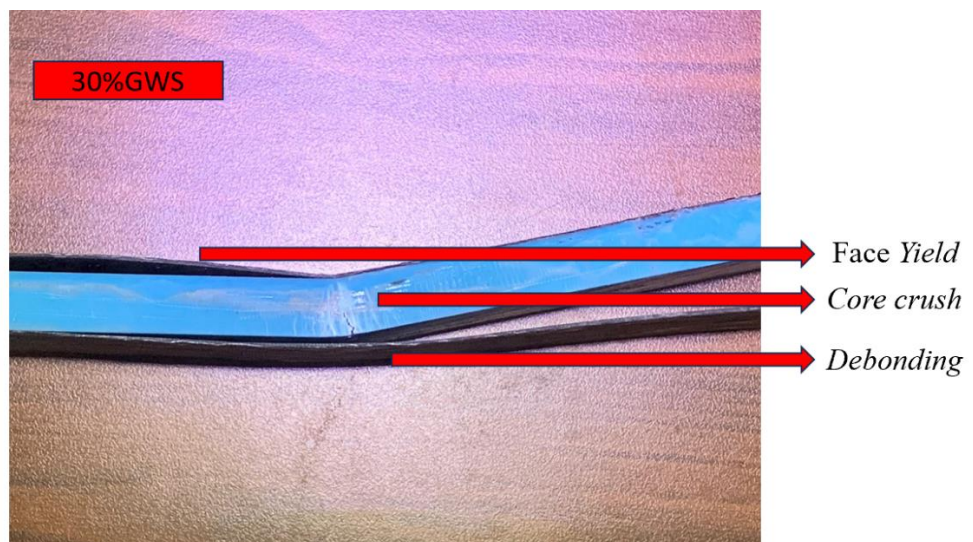
### 4.3.3 Modus Kegagalan Pada Spesimen *Infill 20% Skin*



Gambar 4-5 Spesimen Komposit *Sandwich Infill 20%*

Pada Gambar 4-5 menunjukkan modus kegagalan dari spesimen komposit *Sandwich infill 20% skin* mengalami kegagalan akibat pembebanan bending. Pada spesimen mengalami kegagalan *core crush*

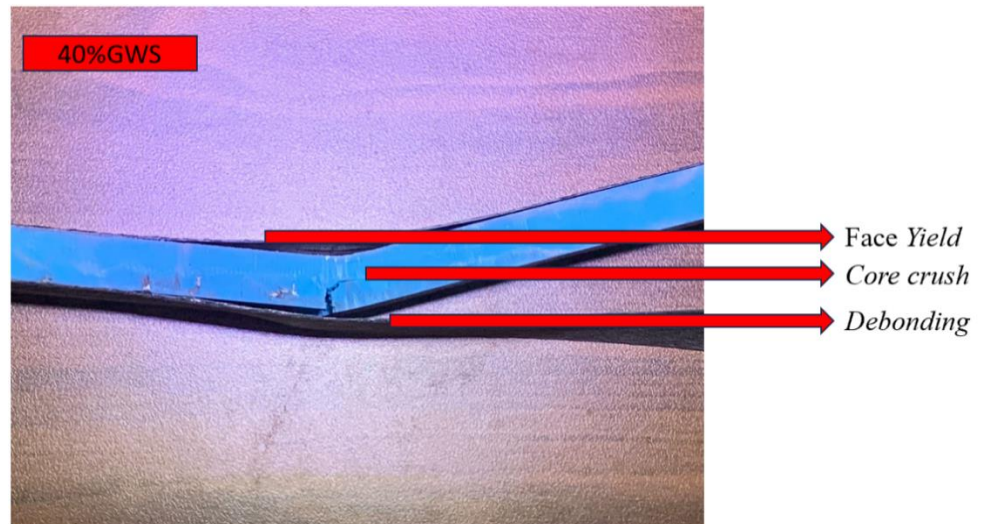
#### 4.3.4 Modus Kegagalan Pada Spesimen *Infill 30% Skin*



Gambar 4-6 Spesimen Komposit Sandwich Infill 30%

Pada Gambar 4-6 menunjukkan modus kegagalan pada spesimen komposit *sandwich infill 30%WS* mengalami kegagalan *face yield*, *core crush* dan *debonding* dimana *core* sudah patah tetapi belum sampai terbelah dan menyebabkan *skin* bagian bawah tidak bisa menahan *core* dengan baik dan menyebabkan penurunan kekuatan bending secara signifikan. Bagian tengah spesimen sudah mengalami perubahan bentuk dan mengalami fenomena *buckling*.

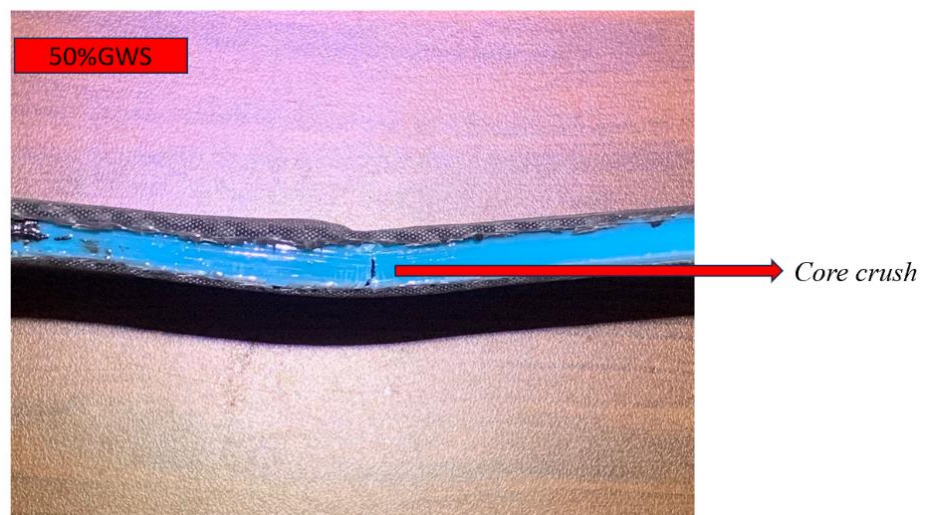
#### 4.3.5 Modus Kegagalan Pada Spesimen *Infill 40% Skin*



Gambar 4-7 Spesimen Komposit *Sandwich* 40%

Pada Gambar 4-7 menunjukkan modus kegagalan dari spesimen komposit *sandwich* akibat dari pembebanan *bending*. pada semua spesimen mengalami kegagalan *Face Yield*, *Core Crush*, dan *Debonding*. Kegagalan tersebut terjadi karena *core* terkena beban *bending* dan mengalami patah akan tetapi belum sampai terbelah dan *skin* pada bagian bawah sudah putus dan menyebabkan penurunan kekuatan *bending*.

#### 4.3.6 Modus Kegagalan Pada Spesimen *Infill 50% Skin*



Gambar 4-8 Spesimen Komposit *Sandwich* 50%

Pada Gambar 4-8 menunjukkan modus kegagalan dari spesimen komposit *sandwich infill 50% Skin* mengalami kegagalan akibat pembebanan *bending*. pada spesimen mengalami kegagalan *Core Crush*. Kegagalan tersebut terjadi karena *core* terkena beban *bending* dan mengalami patah akan tetapi belum sampai terbelah dan skin pada bagian bawah sudah putus dan menyebabkan penurunan kekuatan *bending*.

#### 4.4 Perhitungan

Berdasarkan data yang telah didapat melalui pengujian *bending*, maka langkah selanjutnya ialah menghitung nilai kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik dari setiap variasi spesimen komposit *sandwich*. Perhitungan dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Menghitung Tegangan Maksimal *Bending*.

$$\sigma = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \quad (4.1)$$

2. Menghitung Kekakuan *Bending*

$$D = \frac{P.L^3}{48.\delta} \quad (4.2)$$

3. Menghitung Kekakuan *Bending* Spesifik

$$D.Spesifik = \frac{D}{W} \quad (4.3)$$

Keterangan Rumus:

$P_{yield}$  : Beban yang diberikan ( $N$ )

$L$  : Jarak Point ( $mm$ )

$\delta$  : Defleksi ( $mm$ )

$D$  : Kekakuan *Bending* ( $Nmm^2$ )

$P$  : Beban Maksimal yang diberikan ( $N$ )

$h$  : Ketebalan Spesimen uji ( $mm$ )

$b$  : Lebar Spesimen Uji ( $mm$ )

$W$  : Berat Spesimen ( $gr$ )

Tabel 4-4 Tabel Hasil Perhitungan Kekakuan Bending

No.	Orientasi	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$P_{yield}$ (N)	Defleksi (mm)	Berat (gr)	Kekakuan Bending (Nmm <sup>2</sup> )	Kekakuan Spesifik (Nmm <sup>2</sup> /gr)
1	10%GNS	12,88	300	3,03	26,46	2.062.706,27	77.955,64
2	20%GNS	21,99	540	2,08	48,70	5.408.653,85	111.060,65
3	30%GNS	31,99	880	2,44	49,13	7.513.661,20	152.934,28
4	40%GNS	34,17	960	2,53	58,22	7.905.138,34	135.780,46
5	50%GNS	33,30	1330	3,16	70,68	8.768.459,92	124.058,57
6	10%GWS	18,22	508	0,63	52,57	16.798.941,80	319.553,77
7	20%GWS	38,74	1370	1,09	66,17	26.185.015,29	395.723,37
8	30%GWS	39,28	1780	1,35	76,87	27.469.135,80	357.345,33
9	40%GWS	41,27	1678	1,18	79,41	29.625.706,21	373.072,74
10	50%GWS	54,62	2100	1,40	100,34	31.250.000,00	311.441,10

Dari tabel 4-4 menunjukkan hasil perhitungan kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik pada spesimen yang telah diuji menggunakan alat pengujian *three point bending* menggunakan mesin *universal testing machine*. Pada perhitungan mencari kekakuan *bending* menggunakan beban yield ( $P_{yield}$ ) dan defleksi yield dikarenakan pada pengujian kekakuan *bending* menggambarkan kemampuan material atau struktur untuk menahan deformasi elastis saat diberi beban lentur. Berdasarkan tabel 4-4 spesimen dengan kode 50%GNS dan 50%GWS mempunyai nilai kekakuan *bending* tertinggi. Sedangkan nilai kekakuan *bending* spesifik terhadap berat dengan nilai tertinggi pada spesimen 20%GWS dan 30%GNS.

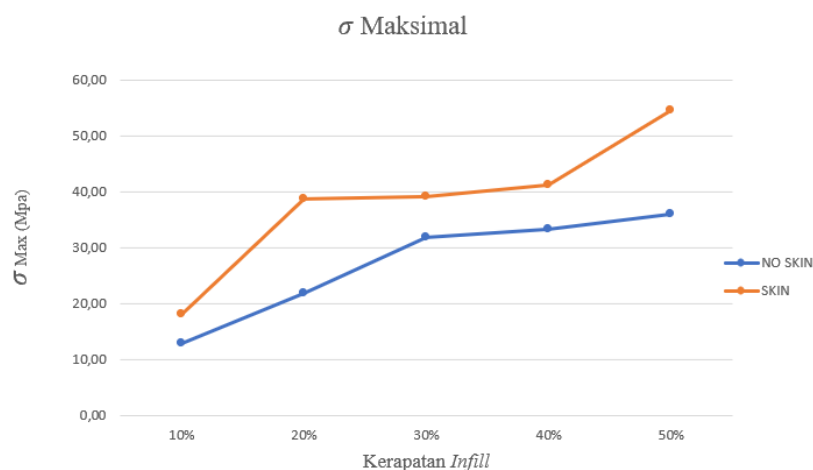
## 4.5 Pembahasan

### 4.5.1 Tegangan Maksimal *Bending*

Tabel 4-5 Tabel Hasil Perbandingan Tegangan Maksimal  
Spesimen *Skin* dan non *skin*

Variasi Spesimen	Tegangan Maksimal (MPa)		Selisih (MPa)	Keterangan
	Dengan Skin	Tanpa Skin		
10%	18,22	12,88	5,34	Dengan <i>skin</i> Naik 1,41 x
20%	38,74	21,99	16,75	Dengan <i>skin</i> Naik 1,76 x
30%	39,28	31,99	7,29	Dengan <i>skin</i> Naik 1,22 x
40%	41,27	33,30	7,97	Dengan <i>skin</i> Naik 1,20x
50%	54,62	36,17	18,45	Dengan <i>skin</i> Naik 1,64x

Tabel 4-5 menunjukkan perbandingan tegangan maksimal spesimen yang sudah dilapisi *skin* dan tanpa *skin*. Pada table 4-5 menunjukkan bahwa setelah dilapisi *skin* komposit *sandwich* serat karbon, terjadi peningkatan tegangan *bending*. Perbandingan selisih antara spesimen yang menggunakan *skin* dan tidak menggunakan *skin* didapatkan nilai selisih terbesar terdapat pada spesimen dengan *infill* 50% dengan selisih 18,45MPa.



Gambar 4-9 Grafik Tegangan Maksimal

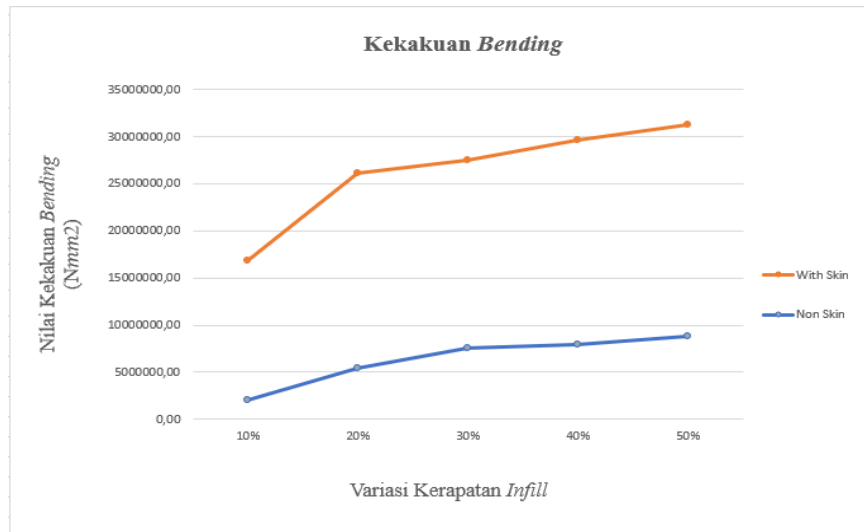
Berdasarkan Gambar 4-9 menunjukkan data tegangan bending untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh variasi *infill* 10% sampai 50% 3D *printing gyroid core* terhadap tegangan *bending* yang terjadi. Berdasarkan Gambar 4-9 menunjukkan bahwa pengaruh variasi *infill* menunjukkan peningkatan pada nilai tegangan maksimal. Nilai tegangan maksimal tertinggi terdapat pada spesimen 50%WS dengan rata-rata nilai tegangan *bending*nya 54,62 MPa.

#### 4.5.2 Kekakuan *Bending*

Tabel 4-6 Tabel Hasil Perbandingan Kekakuan *Bending* antara Spesimen *skin* dan non *skin*

Variasi Spesimen	Kekakuan <i>Bending</i> (Nmm <sup>2</sup> )		Selisih (Nmm <sup>2</sup> )	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
10%	16.798.941,80	2.062.706,27	14.736.235,53	Dengan <i>skin</i> Naik 8,14x
20%	26.185.015,29	5.408.653,85	20.776.361,44	Dengan <i>skin</i> Naik 4,84x
30%	27.469.135,80	7.513.661,20	19.955.474,60	Dengan <i>skin</i> Naik 3,65 x
40%	29.625.706,21	7.905.138,34	21.720.567,87	Dengan <i>skin</i> Naik 3,74 x
50%	31.250.000,00	8.768.459,92	22.481.540,08	Dengan <i>skin</i> Naik 3,56x

Tabel 4-6 menunjukkan perbandingan selisih hasil kekakuan *bending* antara spesimen yang menggunakan *skin* dan non *skin* dimana setelah spesimen dilapisi *skin* mengalami peningkatan nilai kekakuan *bending*. berdasarkan tabel 4-6 didapatkan nilai selisih kekakuan *bending* terbesar terdapat pada *infill* 50% sebesar 22.481.540,08 Nmm<sup>2</sup>. Pada spesimen dengan kerapatan *infill* 10% mempunyai peningkatan nilai kekakuan *bending* tertinggi dari spesimen non *skin* ke spesimen menggunakan *skin* kekakuannya meningkat sebesar 8,14x.



Gambar 4-10 Grafik Kekakuan *Bending*

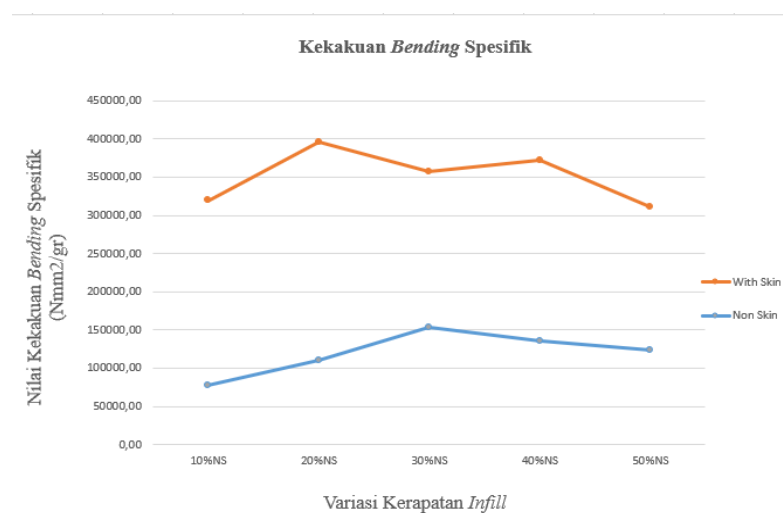
Pada gambar 4-10 menunjukkan grafik kekakuan *bending*, dimana nilai kekakuan *bending* meningkat sejalan dengan peningkatan nilai kerapatannya. Nilai kekakuan tertinggi terdapat pada spesimen 50%GWS dengan nilai kekakuan *bending* 31.250.000,00 Nmm<sup>2</sup>. Untuk nilai kekakuan *bending* tertinggi pada spesimen *non skin* terdapat pada spesimen 50%GNS dengan nilai 8.768.459,92 Nmm<sup>2</sup>.

### 4.5.3 Kekakuan *Bending* Spesifik

Tabel 4-7 Tabel Hasil Perbandingan Kekakuan *Bending* Spesifik antara spesimen *skin* dan *non skin*

Variasi Spesimen	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik N. mm <sup>2</sup> /gr		Selisih N. mm <sup>2</sup> /gr	Keterangan
	Dengan Skin	Tanpa Skin		
10%	319.553,77	77.955,64	241.598,13	Dengan <i>skin</i> Naik 4,09x
20%	395.723,37	111.060,65	284.662,72	Dengan <i>skin</i> Naik 3,56x
30%	357.345,33	152.934,28	204.411,05	Dengan <i>skin</i> Naik 2,33x
40%	373.072,74	135.780,46	237.292,28	Dengan <i>skin</i> Naik 2,74x
50%	311.441,10	124.058,57	187.382,53	Dengan <i>skin</i> Naik 2,51x

Tabel 4-7 menunjukkan perbandingan selisih hasil kekakuan *bending* spesifik antara spesimen yang menggunakan *skin* dan *non skin*, pada spesimen yang menggunakan *skin* terjadi peningkatan nilai kekakuan *bending* spesifik. dimana selisih terbesar pada *infill* 20% dengan nilai  $284.662,72 \text{ N.mm}^2/\text{gr}$ . Peningkatan nilai tertinggi kekakuan *bending* spesifik dari spesimen *non skin* dengan *skin* dimiliki oleh spesimen 10% karena setelah dilapisi *skin* kekakuannya meningkat 4,09x.

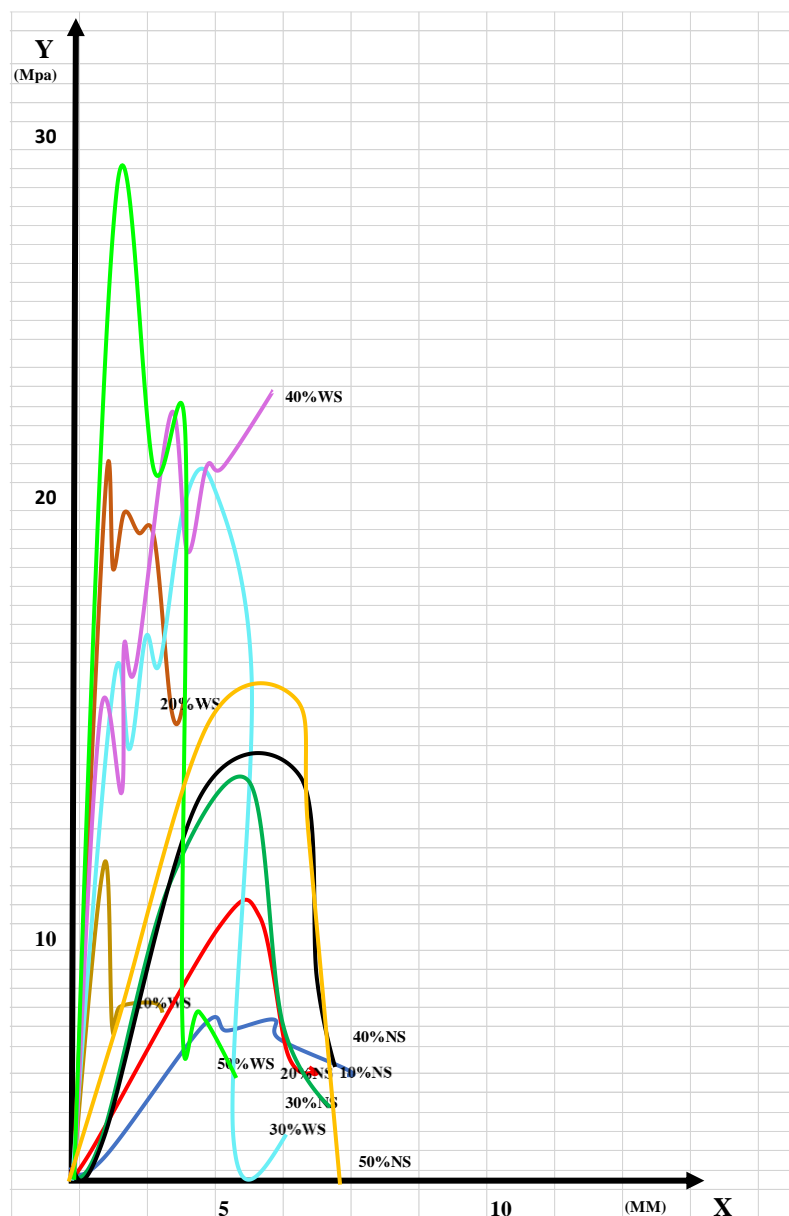


Gambar 4-11 Kekakuan Bending Spesifik

Pada gambar 4-11 menunjukkan grafik kekakuan *bending* spesifik untuk membandingkan pengaruh lapisan *skin* dan mengetahui pengaruh kerapatan *infill* setiap spesimen terhadap kekakuan *bending*. Berdasarkan gambar 4-11 didapatkan nilai Kekakuan *bending* spesifik tertinggi pada spesimen 20%GWS sebesar  $395.723,37 \text{ N.mm}^2/\text{gr}$  dan pada spesimen 30%GNS sebesar  $152.934,28 \text{ N.mm}^2/\text{gr}$ . Pada kekakuan *bending* spesifik menunjukkan material yang efisien secara struktural karena mempunyai kekakuan yang tinggi dengan berat yang relatif rendah.

## 4.6 Perbandingan Tegangan Terhadap Defleksi

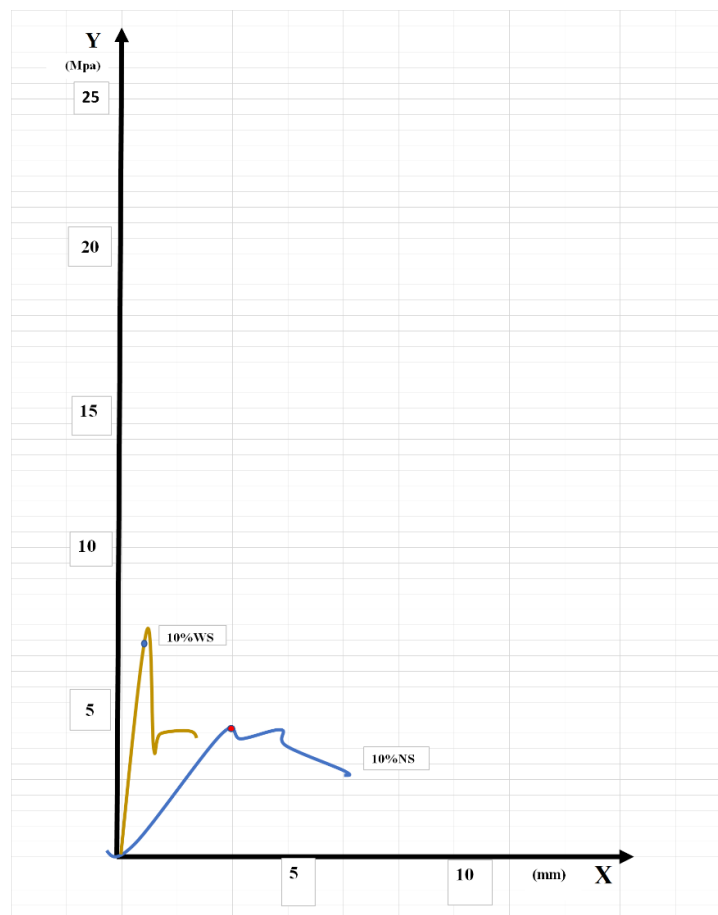
Tegangan dan defleksi menunjukkan perbandingan antar tegangan *bending* terhadap defleksi pada spesimeen pengujian *bending*, menggunakan kekuatan strength untuk menganalisis kekuatan material dan *stiffness* dari pengujian *bending*. perbandingan nilai tegangan terhadap defleksi dibuat untuk memahami perilaku struktur material uji, mengevaluasi sejauh mana material tahan terhadap deformasi akibat momen lentur yang telah ditetapkan, perbandingan ini juga membantu menentukan titik *yield* dimana material mulai mengalami deformasi plastis.



Gambar 4-12 Grafik Tegangan Defleksi

#### 4.6.1 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi Spesimen *Infill 10% Skin*

Grafik Tegangan dan defleksi pada kerapatan *core gyroid 10%* menggunakan *skin* komposit *sandwich* dan tanpa *skin* komposit *sandwich*. Untuk spesimen *core gyroid 10%* menggunakan *skin* mempunyai tegangan yang tinggi dibandingkan dengan spesimen *core gyroid* tanpa *skin* dengan nilai defleksi lebih rendah dari spesimen *nonskin*.

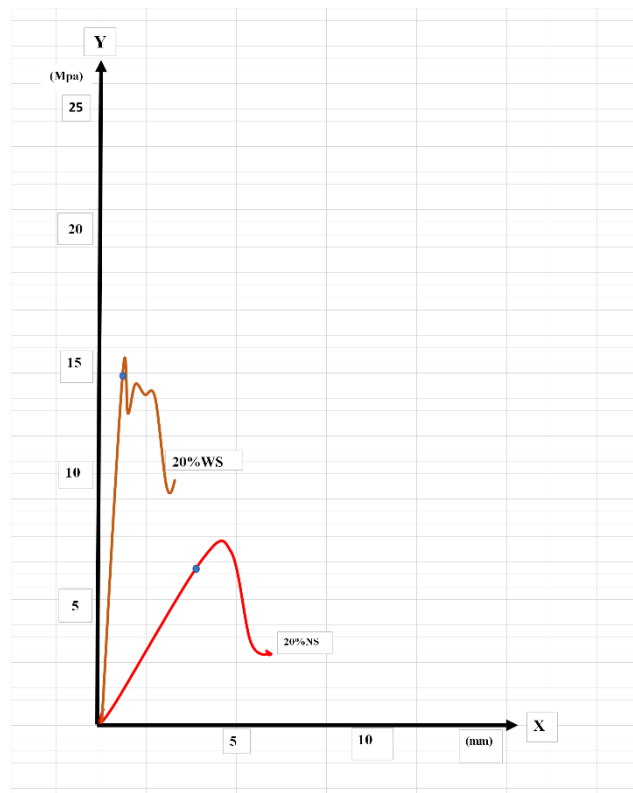


Gambar 4-13 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi *Infill 10%*

#### 4.6.2 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi Spesimen *Infill 20% Skin*

Grafik perbandingan tegangan dan defleksi pada spesimen *core gyroid infill 20%* menggunakan komposit dan tanpa menggunakan komposit. Pada grafik

menunjukkan bahwa spesimen *core gyroid infill 20%* menggunakan *skin* mendapatkan nilai tegangan tertinggi dan defleksi yang rendah dibandingkan dengan spesimen *core gyroid* tanpa komposit *sandwich* yang mendapatkan nilai defleksi cenderung rendah dengan defleksi yang tinggi. pada spesimen *core gyroid* komposit *sandwich infill 20%* memiliki tegangan yang tinggi dengan defleksi yang rendah yang berarti pada spesimen *core gyroid* komposit *sandwich infill 20%* memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi dalam menahan beban lentur

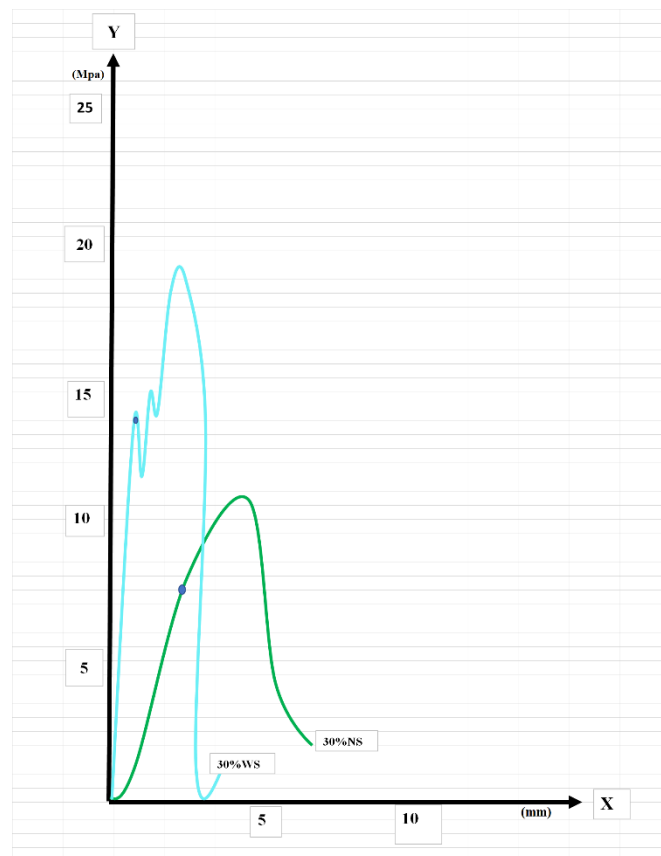


Gambar 4-14 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi *Infill 20%*

#### 4.6.3 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi Spesimen *Infill 30% Skin*

Grafik tegangan dan defleksi pada spesimen *core gyroid infill 30%* menggunakan komposit *sandwich* dan tanpa komposit *sandwich*. pada grafik didapatkan bahwa spesimen *core gyroid infill 30%* komposit *sandwich* mendapatkan tegangan tertinggi dibandingkan dengan spesimen *core gyroid infill 20%* tanpa komposit *sandwich*. pada spesimen *core gyroid infill 20%*

menggunakan komposit *sandwich* memiliki tegangan tertinggi dan defleksi terendah. Sedangkan spesimen tanpa *skin* komposit *sandwich* memiliki nilai defleksi lebih tinggi dengan nilai tegangan lebih rendah. Dari gambar 4-14 menunjukkan Spesimen yang menggunakan komposit *sandwich* memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi terhadap beban lentur. Dan spesimen tanpa *skin* memiliki nilai deformasi tinggi yang berarti spesimen tanpa *skin* memiliki kekuatan rendah terhadap momen beban lentur.

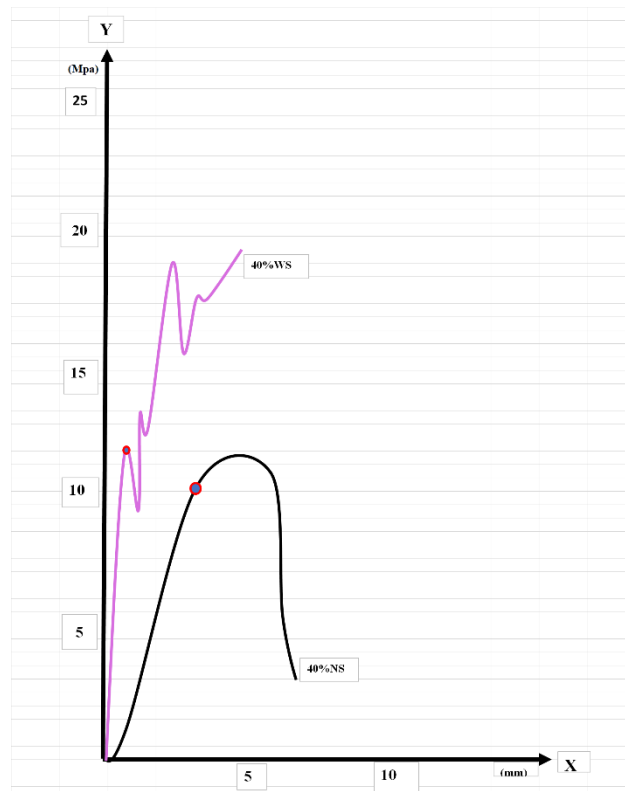


Gambar 4-15 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi *Infill* 30%

#### 4.6.4 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi Spesimen *Infill* 40% *Skin*

Grafik perbandingan tegangan terhadap defleksi pada spesimen *core gyroid infill* 40% menggunakan komposit *sandwich* dan spesimen *core gyroid infill* 40% tanpa komposit *sandwich*. pada grafik di gambar 4-15 didapatkan bahwa spesimen yang menggunakan komposit *sandwich* mempunyai tegangan lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen tanpa *skin* komposit *sandwich*. Pada

spesimen *core gyroid 40%* tanpa *skin* memiliki nilai defleksi lebih besaar dibandingkan pada spesimen menggunakan *skin* spesimen yang menggunakan *skin* memiliki tegangan yang kuat dalam menahan momen beban lentur dapat dilihat pada grafik 4-15 dengan tegangan yang tinggi dan defleksi yang rendah. Pada spesimen *infill 40% skin* terdapat fenomena bergerigi pada grafik yang disebabkan oleh pembebanan *bending* dimana spesimen tidak bisa menahan beban *bending* sehingga menyebabkan kerusakan pada bagian *skin* dan *core nya*.

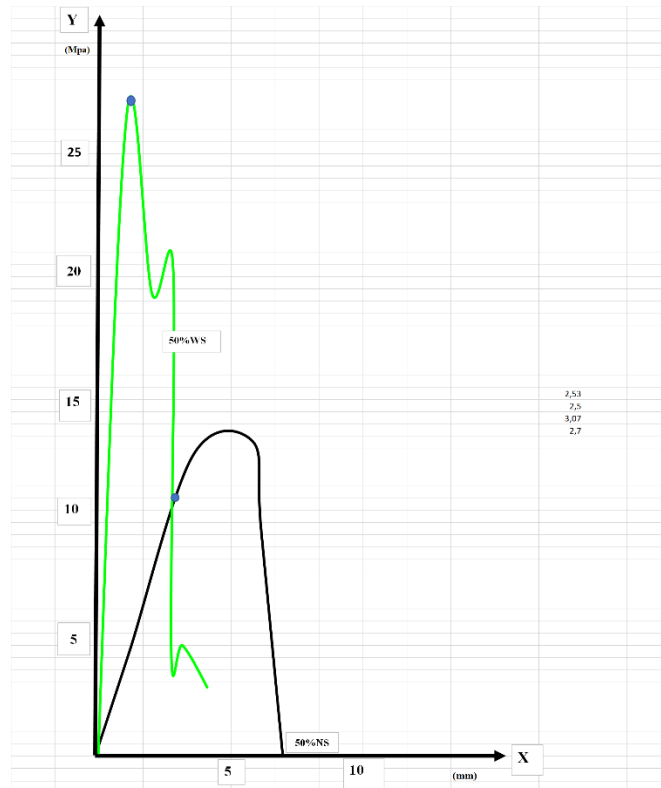


Gambar 4-16 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi *Infill 40%*

#### 4.6.5 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi Spesimen *Infill 50% Skin*

Perbandingan tegangan terhadap defleksi pada spesimen *core gyroid infill 50%* menggunakan komposit *sandwich* dan spesimen *core gyroid infill 50%* tanpa komposit *sandwich*. pada grafik di gambar 4-16 didapatkan bahwa spesimen yang menggunakan komposit *sandwich* mendapatkan nilai tegangan tertinggi dibandingkan dengan spesimen tanpa komposit *sandwich* dengan tegangan lebih rendah. Untuk nilai defleksi spesimen tanpa komposit *sandwich* memiliki defleksi

lebih tinggi sebesar dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan komposit *sandwich* yang memiliki defleksi lebih rendah sebesar. jadi untuk spesimen yang menggunakan komposit *sandwich* memiliki kekuatan dan kekakuan dalam menahan beban lentur yang tinggi dengan rendahnya nilai defleksi yang didapatkan.



Gambar 4-17 Grafik Tegangan Terhadap Defleksi *Infill* 50%

## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Bedasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil dari komposit *sandwich* spesimen mengalami penambahan berat dan tebal dan dari hasil proses *vacuum infusion* spesimen yang telah dilakukan pengujian *bending* terdapat beberapa jenis analisis kegagalan. Analisis kegagalan *core* yang terjadi pada spesimen tanpa *skin* memiliki jenis kegagalan yang sama dimana semua spesimen mengalami *core crush*. Sedangkan untuk spesimen yang dilapisi *skin* memiliki beberapa variasi kegagalan pada spesimen 10%, 30%, 40% terjadi kegagalan pada *interface* yaitu kegagalan *debonding* dan *core crush*. Pada spesimen 20% dan 50% terjadi kegagalan *core crush*. kegagalan *interface* pada spesimen terjadi dikarenakan tekanan *bending* yang menyebabkan gaya geser pada permukaan spesimen.
2. Hasil analisis dan perhitungan beban *bending*, tegangan maksimal, kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik menunjukkan bahwa pelapisan *skin* berpengaruh terhadap meningkatnya nilai kekakuan *bending*.
3. Berdasarkan hasil pengujian *bending* didapatkan bahwa kerapatan *infill* berpengaruh terhadap meningkatnya nilai kekakuan *bending* dimana nilai kekakuan *bending* meningkat dan nilai kekakuan *bending* tertinggi pada *infill* 50%. Spesimen yang memiliki nilai kekakuan spesifik terhadap berat tertinggi 20%GWS dan 30%GNS spesimen tersebut memiliki efisiensi secara struktural karena mampu memberikan kekakuan yang tinggi terhadap beban lentur dengan berat yang lebih ringan.

## **5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya**

1. Pada saat proses *vacuum infusion* perlu diperhatikan proses parameter pemvakuman agar menghasilkan *skin* yang konsisten pada setiap spesimennya.
2. Perlu dilakukan penelitian terkait pengujian SEM untuk meneliti kebocoran resin pada spesimen.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C393-00, Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United State.
- Utomo, S. W. E., Anggriani, D. P., Rusminanda, A., Sukma, N., & Drastiawati. (2020). Analisis Pengaruh Tekanan Vacuum Pada Proses Pembuatan Komposit Carbon Fiber Menggunakan Metode Vacuum Infusion. *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 6 No. 2
- Ashfan Farahma. (2022). Pengaruh Ketebalan *Core (3d Print)* Dengan Bahan Pla (*Polyatic-Acid*) Terhadap Uji *Bending* Spesimen Komposit *Sandwich* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion*
- Adriansyah, Y. I. (2021). Analisis Uji *Bending* Komposit *Sandwich* Yang Digabungkan 3D *Printing*.  
<https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/30579>
- Hartono, Y., Hidayat, A. and Manik, P. (2016). “Analisa Teknis Komposit *Sandwich* Berpenguat Daun Nanas dengan *Core* Serbuk Gergaji Kayu Sengon Laut Ditinjau dari Kekuatan Tekuk dan Impak,” 4(1), pp. 265-273  
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/13638>
- Fadhyl Olivianides.(2022). Analisis Pengaruh Jumlah Lapisan *Skin* Pada Komposit *Sandwich* Terhadap Uji Bending Menggunakan Metode *Vacuum Infusion*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.  
<https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/37824>
- Nurmaulita.(2010). Pengaruh Orientasi Serat Sabut Kelapa Dengan Resin *Polyester* Terhadap Karakteristik Papan Lembaran. *Thesis*. Universitas Sumatera Utara.
- Mikell PG., 1996, *Composite Material Fundamental of Modern Manu-facturing Material, Processes, And System*, Prentice Hall.
- Lukkassen D, Meidell A (2007) *Advanced Material and Structures and their Fabrication Processes*
- Prastyadi, Chandra. 2017. “Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur, Waktu *Curing* Dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik Tekan Komposit *Polyester – Partikel Hollow Glass Microspheres (HGM) IM30k*”. Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.

Wijoyo, Achmad N., 2014, Kajian Komprehensif Kekuatan *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Aren-Polyester Dengan *Core* Gedebog Pohon Pisang, Jurnal Teknologi, Vol. 7, No. 4, Hal 128- 123.

Casalini, Tommaso et al. (2019) *A Perspective on Polylactic Acid – Based Polymers Use for Nanoparticles Synthesis and Applications.*

Diharjo, K., dan Triyono, T., (2000). Buku Pegangan Material Teknik. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Jacobs, Paul Francis.(1992). *Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography.* Society of Manufacturing Engineers.

*Vacuum Bagging Technique*, Bay City: Gougeon Brothers Inc, 2010.

[https://www.rockwestcomposites.com/ckeditor\\_assets/attachments/245/Vacuum-Bagging-Techniques.pdf?1382458574](https://www.rockwestcomposites.com/ckeditor_assets/attachments/245/Vacuum-Bagging-Techniques.pdf?1382458574)

# LAMPIRAN



## LABORATORIUM BAHAN TEKNIK DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA

### HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Variasi INFIL	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	10%GWS1	11.78	49.8	0.82	2.57	17.80
2	10%GWS2	11.92	49.73	0.85	2.89	18.04
3	10%GWS3	12.07	49.85	0.91	1.64	18.80
4	20%GWS1	12.05	50.03	1.84	2.37	37.99
5	20%GWS2	11.97	50.05	1.90	3.27	39.74
6	20%GWS3	11.90	51.98	1.89	3.11	38.51
7	30%GWS1	11.68	53.54	2.43	5.63	49.90
8	30%GWS2	11.83	50.10	1.38	5.64	29.52
9	30%GWS3	11.84	52.22	1.89	5.64	38.73
10	40%GWS1	11.52	50.09	2.04	4.63	46.03
11	40%GWS2	11.92	49.81	2.10	4.58	44.51
12	40%GWS3	11.48	49.80	1.53	3.68	34.97
13	50%GWS1	11.88	49.93	2.53	3.91	53.85
14	50%GWS2	11.66	54.28	2.50	4.23	50.82
15	50%GWS3	11.95	54.73	3.07	4.63	58.92

Lembar asli, tidak untuk digandakan

#### Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 7 Januari 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 7 Januari 2023

Staf Laboratorium Bahan Teknik

**Pengujian & Analisa Material**  
Lab. Bahan Teknik  
Departemen Teknik Mesin  
Sekolah Vokasi UGM  
Dr. Lili Dwi Setyana, S.T., M.T.  
NIP. 197703312002121002

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281



**LABORATORIUM BAHAN TEKNIK**  
**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI**  
**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**HASIL PENGUJIAN BENDING NON SKIN**

No.	Variasi INFILL	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	10%GNS	9.92	49.70	0.42	7.51	12.88
2	20%GNS	10.00	49.80	0.73	6.50	21.99
3	30%GNS	10.00	49.70	1.06	6.84	31.99
4	40%GNS	9.98	49.80	1.13	6.90	34.17
5	50%GNS	10.04	50.42	1.33	7.16	39.25

*Keterangan:*

1. Pengujian dilakukan tanggal 7 Januari 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 7 Januari 2023  
Staf Laboratorium Bahan Teknik

**Pengujian & Analisa Material**  
L. B. Bahan Teknik  
D. B. Teknik Mesin  
Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T.  
NIP. 197708312002121002

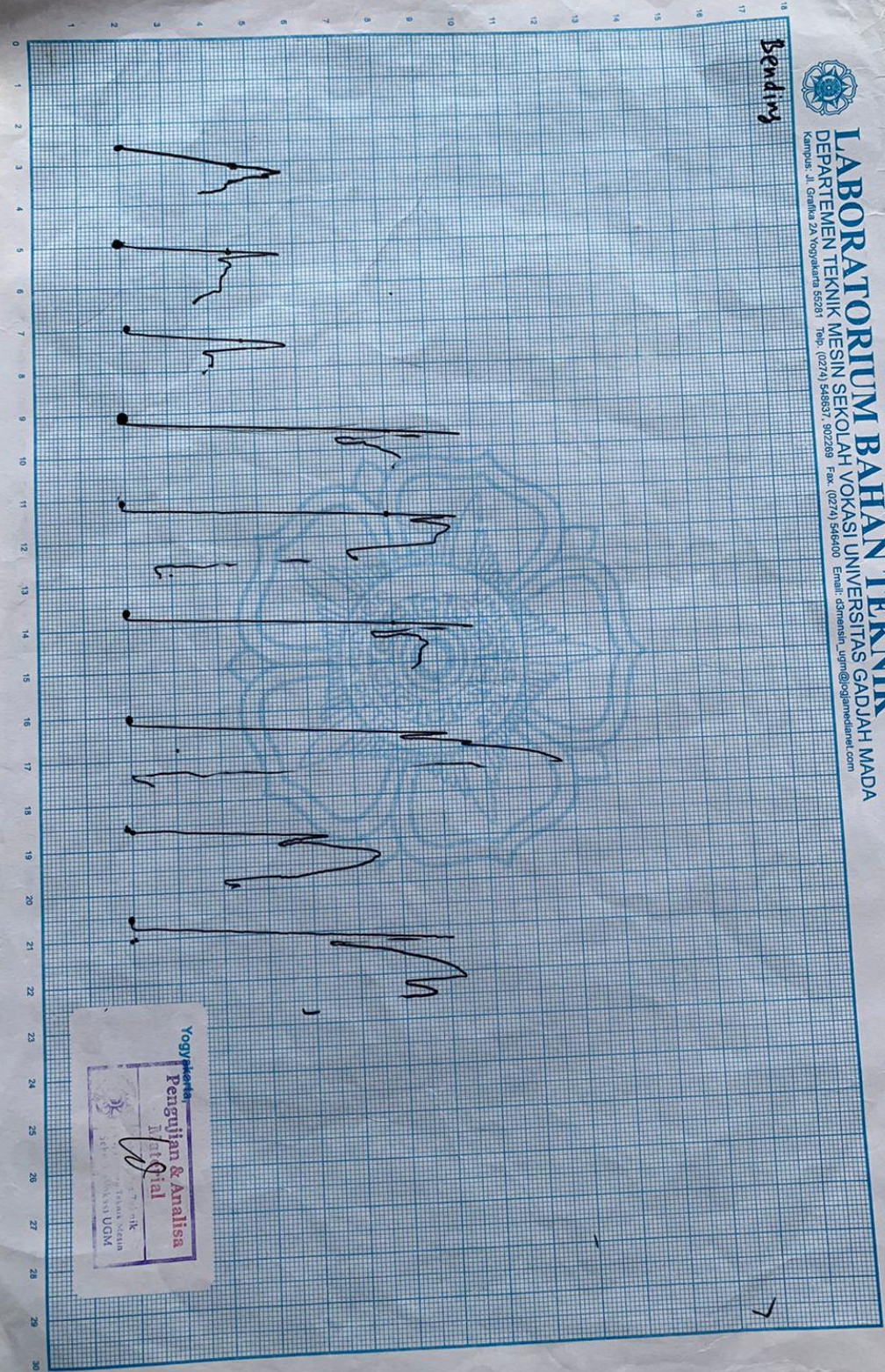
Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281



**LABORATORIUM BAHAN TEKNIK**  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA  
Kampus 2A Yogyakarta 55281 Telp. (0271) 546837 802268 Fax. (0271) 546400 Email: dcmensin\_ujm@jogjamedia.net.com

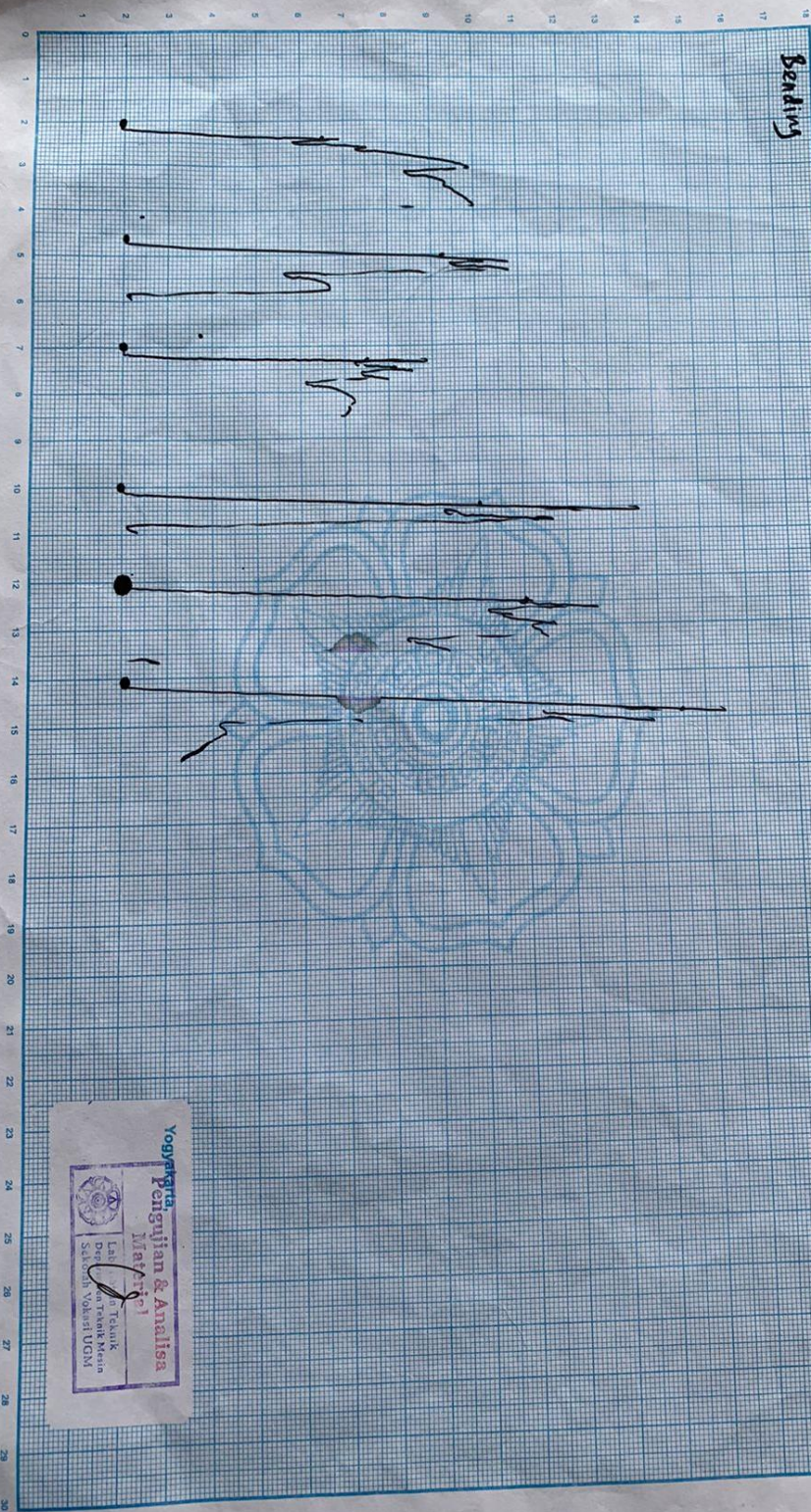
Bending





**LABORATORIUM BAHAN TEKNIK**  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA  
Kampus II, Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 565857, 502298 Faks. (0274) 546400 Email: dcm@ugjmedanet.com

**Banding**



Yogyakarta  
**Revisi**  
**Penelitian & Analisa**  
Materi  
Lab. Teknik  
Mesin  
SALAH VOKASI UGM

