

**PENGARUH PENAMBAHAN SEGMENT *HORIZONTAL*  
PADA STRUKTUR *GYROID* HASIL PROSES *ADDITIVE*  
*MANUFACTURING* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING***

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh :**

**Nama : Farhan Prasetyo Sasmito**

**No. Mahasiswa : 18525008**

**NIRM : 1801250059**

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

**YOGYAKARTA**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PENGARUH PENAMBAHAN SEGMENT *HORIZONTAL* PADA  
STRUKTUR *GYROID* HASIL PROSES *ADDITIVE*  
*MANUFACTURING* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING***

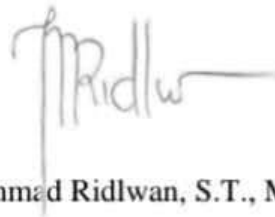
**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Farhan Prasetyo Sasmito**  
**No. Mahasiswa : 18525008**  
**NIRM : 1801250059**

Yogyakarta, 21 September 2023

Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M Ridlw', with a horizontal line extending to the right.

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

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

### PENGARUH PENAMBAHAN SEGMENT *HORIZONTAL* PADA STRUKTUR *GYROID* HASIL PROSES *ADDITIVE* *MANUFACTURING* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING*

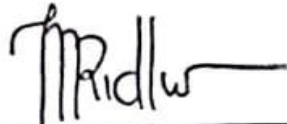
#### TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :


Nama : Farhan Prasetyo Sasmito  
No. Mahasiswa : 18525008  
NIRM : 1801250059

Tim Penguji


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

  
Tanggal : 03/11/2023

Paryana Puspaputra, Dr. Ir., M.Eng.  
Anggota I

  
Tanggal : 12/11/2023

Muhammad Khafidh, Dr., S.T., M.T., IPP  
Anggota II

  
Tanggal : 26/10/2023

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik Mesin



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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya bertanda tangan di bawah ini, Farhan Prasetyo Sasmito selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “PENGARUH PENAMBAHAN SEGMENT *HORIZONTAL* PADA STRUKTUR *GYROID* HASIL PROSES *ADDITIVE MANUFACTURING* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING*” menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri bukan hasil plagirism dari karya tulis yang dibuat orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 21 September 2023



Farhan Prasetyo Sasmito

(18525008)

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Dengan rasa syukur yang sangat mendalam, Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan dan mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua Orang Tua saya yang saya cintai dan sangat saya sayangi (Bapak saya M Ismu Sasmito dan Ibu saya Rita Epitaria) yang selalu mendukung, memberikan nasehat dan mendoakan saya dalam segala urusan.
2. Bapak pembimbing saya bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. yang selalu memberikan motivasi, saran, masukan, dan memberikan ilmu yang bermanfaat bagi saya. Dan dosen-dosen Teknik Mesin UII yang selalu membimbing, mendukung, dan membantu dalam memberikan ilmunya.

## HALAMAN MOTTO

"Setiap orang memiliki proses yang berbeda-beda dalam menggapai kesuksesannya."

“Allah tidak akan pernah membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS Al-Baqarah 2:256)

“Sukses adalah menyukai diri sendiri, menyukai apa yang kita kerjakan, dan menyukai bagaimana kita melakukannya”

(Maya Angelou)

“Titik awal semua pencapaian adalah semangat”

(Napoleon Hill)

## **KATA PENGANTAR DAN UCAPAN TERIMA KASIH**

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur bagi Allah Rabb semesta alam Yang maha pengasih lagi Maha Penyayang, karena telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Penambahan Segmen *Horizontal* Pada Struktur *Gyroid* Hasil Proses *Additive Manufacturing* Terhadap Kekakuan *Bending*”. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah hingga zaman yang penuh dengan ilmu seperti sekarang ini.

Penyusunan Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi prasyarat akademik guna untuk memperoleh gelar sarjana (S1) pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak dorongan dan juga masukan dari berbagai banyak pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ungkapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT Rabb semesta alam, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Keluarga tercinta, Ayah M Ismu Sasmito, Ibu Rita Epitaria.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T. IPP., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin UII.
4. Bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan serta masukan agar penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan baik.
5. Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc., IPP. Selaku dosen wali.
6. Seluruh staf pengajar, staf administratif, dan karyawan di Program Studi Teknik Mesin UII.
7. Rekan-rekan Teknik Mesin UII 2018 yang selalu menemani kegiatan perkuliahan di kampus maupun kegiatan diluar kampus.

8. Semua pihak yang sudah membantu dan juga mendukung serta mendoakan penulis yang tidak bisa ditulis semua dalam kata pengantar atau ucapan terima kasih ini.

Penulis menyadari sepenuhnya Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran untuk kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini dimasa yang akan mendatang.

Akhir kata, semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua, Aamiin aamiin ya robbal 'alamiin.

Yogyakarta, 21 September 2023

Farhan Prasetyo Sasmito  
(18525008)



## ABSTRAK

Teknologi 3D *printing* adalah proses di mana materi digabung di bawah kontrol komputer untuk membuat objek tiga dimensi, dengan material yang ditambahkan bersama-sama. *Print* 3D digunakan dalam pembuatan spesimen untuk pengujian uji *bending*, dengan struktur *core* spesimen *Gyroid* berbahan PLA. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kekuatan desain spesimen berlapis 2 tumpuk, 4 tumpuk, dan tidak bertumpuk serta membuat *core* spesimen dengan material PLA dengan metode 3D *Print* untuk mengetahui perbandingan nilai kekakuan masing-masing spesimen. *Core* dibuat menggunakan mesin 3D *Print* dengan bahan PLA dengan *infill* 20% dan *infill pattern Gyroid*. Penelitian ini menggunakan pengujian *bending* untuk mengetahui kekuatan pada masing – masing spesimen uji. Pengujian *bending* dilakukan di Laboraturim Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada. Berdasarkan pengujian *bending* yang telah dilakukan menunjukkan bahwa hasil nilai kekakuan terbesar terdapat pada spesimen tidak berlapis tumpuk 32,92 N/mm<sup>2</sup>

Kata kunci : 3D *print*, Spesimen, PLA, *gyroid*, ruas 4 tumpuk, 2 tumpuk, tanpa ruas bertumpukan, Pengujian *Bending*

## **ABSTRACT**

*3D printing is a process in which materials are combined under computer control to create three-dimensional objects, with materials added together. 3D printers are used in the manufacture of specimens for bending tests, with a Gyroid core specimen structure made of PLA. This study aims to compare the design strength of 2-stack, 4-stack, and non-stacked specimens and to compare the specimens with PLA material using the 3D Print method to determine the comparison of the stiffness values of each specimen. The core is made using a 3D printing machine with PLA material with 20% infill and Gyroid pattern fill. This study uses bending testing to determine the strength of each test specimen. Bending tests were carried out at the Engineering Materials Laboratory, Gadjah Mada University. Based on the bending test that has been carried out, it shows that the largest stiffness value results are found in the 4-stack layered specimen of 32,92 N/mm<sup>2</sup>*

*Keywords: 3D Print, specimen, PLA, piled up 4 layer, piled up 2 layer, no layer, Bending Testing*

## 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 Dan Ucapan Terima Kasih .....	vii
Abstrak.....	ix
<i>Abstract</i> .....	x
Daftar Isi .....	xi
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar .....	xiv
Daftar Notasi.....	xv
Bab 1 Pendahuluan .....	1
Latar Belakang.....	1
Rumusan Masalah .....	2
Batasan Masalah .....	2
Tujuan Penelitian.....	2
Manfaat Penelitian Atau Perancangan.....	3
Sistematika Penulisan.....	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka .....	4
2.1    Kajian Pustaka .....	4
2.2    Dasar Teori .....	6
2.2.1    3D <i>Print</i> .....	6
2.2.2 <i>Komposit</i> .....	6
2.2.2.1    Spesimen.....	7
2.2.3    Pengujian <i>Bending</i> .....	7
2.2.4    Modus Kegagalan Pengujian <i>Bending Komposit</i> .....	9
Bab 3 Metode Penelitian.....	11

3.1	Alur Penelitian .....	11
3.2	Peralatan Dan Bahan .....	12
3.3	Dimensi Spesimen <i>Bending</i> .....	14
3.4	Hasil Perhitungan Dimensi Spesimen.....	16
3.5	Proses Pengerjaan .....	16
3.5.1	Pembuatan Spesimen Dengan <i>Solidworks</i> .....	16
3.5.2	Proses Aplikasi <i>Ultimaker Cura</i> .....	16
3.5.3	Proses <i>3D Print</i> .....	17
3.5.4	Hasil Proses Pengerjaan.....	18
Bab 4 Hasil Dan Pembahasan.....		19
4.1	Pengujian <i>Bending</i> .....	19
4.2	Hasil Pengujian .....	20
4.3	Analisis Dan Perhitungan.....	22
4.3.1	Analisis Modus Kegagalan Spesimen .....	22
4.3.2	Analisis Modus Kegagalan Spesimen Cetak Tegak .....	23
4.4	Perhitungan .....	24
4.5	Pembahasan .....	25
4.5.1	Kekakuan <i>Bending</i> .....	25
4.5.2	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik.....	26
4.5.3	Tegangan <i>Bending</i> .....	27
4.5.4	Tegangan Dan Defleksi.....	28
Bab 5 Penutup.....		29
5.1	Kesimpulan .....	29
5.2	Saran Atau Penelitian Selanjutnya.....	29
Daftar Pustaka.....		30
Lampiran.....		33

## DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen .....	15
Tabel 3-2 Parameter Proses Pembuatan Spesimen.....	17
Tabel 4-1 Data Hasil Pengujian <i>Bending</i> .....	22
Tabel 4-2 Hasil Perhitungan <i>Bending</i> Spesimen .....	16

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 3D <i>print</i> .....	8
Gambar 2-2 Struktur <i>gyroid</i> .....	9
Gambar 2-3 Pengujian <i>Bending</i> .....	10
Gambar 2-3 Jenis Kegagalan <i>Bending</i> .....	11
Gambar 3-1 Alur Penelitian .....	12
Gambar 3-2 3D <i>Print</i> .....	14
Gambar 3-3 Filamen PLA .....	14
Gambar 3-4 Jangka Sorong .....	15
Gambar 3-5 timbangan .....	15
Gambar 3-6 Aplikasi <i>Solidworks</i> .....	15
Gambar 3-7 Aplikasi <i>Ultimaker Cura</i> .....	15
Gambar 3-8 Dimensi Spesimen Uji <i>Bending</i> Spesimen .....	16
Gambar 3-9 Proses Pembuatan Desain Spesimen & Segmen .....	18
Gambar 3-10 Proses <i>Ultimaker Cura</i> .....	18
Gambar 3-11 Proses Pembuatan 3D <i>print</i> Spesimen & Segmen .....	19
Gambar 3-12 Hasil Spesimen 3D <i>Print</i> .....	20
Gambar 4-1 Proses Pengujian Three Point <i>Bending</i> .....	21
Gambar 4-2 Hasil Pengujian spesimen .....	22
Gambar 4-3 Spesimen Tanpa Segmen <i>Horizontal</i> bertumpuk .....	24
Gambar 4-4 Spesimen 1 Segmen <i>Horizontal</i> .....	24
Gambar 4-5 Spesimen 3 Segmen <i>Horizontal</i> .....	25
Gambar 4-6 Spesimen 3 Segmen <i>Horizontal Cetak Tegak</i> .....	25
Gambar 4-7 Grafik Kekakuan <i>Bending</i> .....	27
Gambar 4-8 Grafik Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik .....	28
Gambar 4-9 Grafik Tegangan <i>Bending</i> Maksimal .....	29
Gambar 4-10 Grafik Tegangan dan Defleksi .....	30

## DAFTAR NOTASI

E	= Modulus Elastisitas <i>Bending</i>	(N/mm <sup>2</sup> )
P	= Beban yang diberikan	(N)
L	= Jarak Point	(mm)
$\delta$	= Defleksi	(mm)
I	= Momen Inersia	(kgm)
D	= Kekakuan <i>Bending</i>	(Nmm <sup>2</sup> )

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada perkembangan teknologi yang sangat maju ini mengakibatkan banyaknya penelitian yang telah dilakukan dalam berbagai bidang, hal itu juga mencakup dalam bidang material. Material yang di butuhkan saat ini yaitu material yang memiliki beberapa sifat umum seperti kuat, kaku, dan ringan. Kebutuhan material ini mencakup dalam berbagai bidang seperti industri, teknologi, otomotif, konstruksi, dan sebagainya. Dengan meningkatnya permintaan akan kebutuhan tersebut maka muncul gagasan untuk mencari material alternatif yang dapat memenuhi kriteria tersebut, salah satunya dengan desain *infill* material.

PLA adalah salah satu bahan paling populer dan digunakan oleh banyak pemain dan aktivis pencetakan 3D. Alasan menggunakan PLA adalah bahan baku alami, sehingga akan pecah saat jatuh ke tanah. Dari segi harga, produk ini cenderung murah dan membutuhkan kapasitas *defrost* yang rendah.

*Core* digunakan untuk memperkuat spesimen uji sehingga sifat mekaniknya dapat lebih kaku, kuat, dan tangguh bila dibandingkan dengan tidak menggunakan *core*. Pada penelitian ini menggunakan *core* dengan jenis *Gyroid*, dengan menggunakan alat *3D Print* sesuai dengan standar uji ASTM C393. Pengujian *bending* dilakukan guna mengetahui perubahan bentuk dari spesimen uji apabila diberikan beban tertentu. (Lukkassen dan Meidell, 2007)

Penelitian ini bertujuan untuk membuat dengan *core Gyroid* yang di desain Segmen *Horizontal* 4 lapis, 2 lapis dan tidak berlapis. Dengan menggunakan variasi *filament* (PLA) dan ketebalan *core* (10mm) dengan proses *printing* 180° dan 90° untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan *bending*.

Salah satu bagian yang penting dari *komposit sandwich* adalah *Core*, dimana bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Dengan kekakuannya spesimen harus mampu menahan geseran agar tidak terjadi *slide* antar permukaan. Bahan dengan tingkat kekakuan yang rendah tidak baik untuk *core*, karna kekuatan pada lapisan *sandwich* nya akan berkurang atau hilang. Tidak hanya



mempunyai densitas rendah, *core* biasanya mempunyai syarat lain. Seperti kadar air, buckling, umur panjang dan sebagainya.

*Fused Deposition Modeling* (FDM) merupakan Teknologi 3D *print* yang paling banyak digunakan, yang menggunakan bahan filamen seperti *Polyethylene Terephthalate* (PET), *Polylactic Acid* (PLA), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dan sebagainya. Jenis filament yang bervariasi akan memberikan fleksibilitas pemilihan material dalam membuat produk 3D *Printing*. 3D *Printing* menghasilkan produk yang cepat, bentuk yang kompleks dan relative murah, sehingga para peneliti tertarik untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik pada produk 3D *Printing*

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh Segmen *Horizontal* pada spesimen *gyroid* terhadap kekakuan *bending*?
2. Bagaimana analisis kegagalan yang terjadi pada spesimen setelah pengujian *bending*?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Pengujian mekanik yang dilakukan dengan menggunakan standar ASTM C393.
2. Jenis material Spesimen yang diteliti adalah PLA.
3. Pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D *print* dengan *infill* 20% dan *infill pattern gyroid*.
4. Pembuatan Segmen *Horizontal* menggunakan *spacing plan* 0.1 pada *solidworks*
5. Pembuatan *infill* menggunakan aplikasi *ultimaker cura*.
6. Pengujian yang dilakukan hanya menggunakan pengujian *bending*.

## 1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

1. Mengukur nilai kekakuan *bending* tertinggi pada spesimen 3D *print* yang diperkuat dengan Segmen *Horizontal* pada spesimen *gyroid*.
2. Analisis kegagalan yang terjadi pada spesimen setelah dilakukan uji *bending*.

## **1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan**

Manfaat yang didapat setelah melakukan penelitian ini, yaitu sebagai berikut.

1. Dapat memperkirakan nilai kekakuan penambahan Segmen *Horizontal*
2. Mengidentifikasi perubahan yang signifikan pada nilai kekakuan *bending* dengan penambahan Segmen *Horizontal*.
3. Mengetahui bagaimana proses pembuatan spesimen dengan menggunakan *3D print*.
4. Memberikan efisiensi dalam penggunaan material dan pengurangan biaya produksi.
5. Mengetahui perbedaan nilai kekakuan masing-masing material.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB I Pendahuluan**

Pada bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan penelitian atau perancangan, manfaat penelitian atau perancangan dan sistematika penulisan.

### **BAB II Tinjauan Pustaka**

Pada bab ini berisikan kajian 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.

### **BAB V Penutup**

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

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Sebagai materi yang akan dijadikan acuan oleh penulis, pengetahuan tentang penelitian sebelumnya yang terkait dengan topik yang sedang diselidiki memiliki signifikansi yang besar. Tujuannya adalah untuk mencegah tindakan plagiarisme dan untuk memastikan bahwa penelitian yang sedang dilakukan memiliki nilai penting karena memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan. Selain itu, dengan memahami hubungan antara penelitian sebelumnya dengan situasi saat ini, akan terlihat bagaimana penelitian ini bersinggungan.

Kajian pustaka pertama yang dijadikan sebagai dasar penelitian ini yaitu Telah banyak contoh penggunaan teknologi 3D *printing* untuk membuat purwarupa diantaranya adalah pembuatan alat peraga mesin turboprop dan turbo jet (Fauzi, 2022). Selain itu, teknologi ini juga dapat digunakan untuk membuat cetakan untuk pembuatan produk komposit (Akbar, 2022).

Kajian pustaka kedua yaitu membahas “Analisis uji *bending* komposit *sandwich* yang digabungkan 3D *Printing*” oleh (Izma Y, 2021). Penelitian tersebut membahas tentang pengujian *bending* pada komposit *sandwich* dengan metode *hand layup* dengan *infill* pada *core* 3D *Print* 10% dan *infill* 20%. Didapatkan hasil bahwa komposit *sandwich* dengan *infill* 20% lebih baik disbanding dengan komposit *sandwich* dengan *infill* 10%

Kajian Pustaka ketiga yang mendasari penelitian ini membahas tentang pengaruh orientasi 3D *print* dan jenis material *core* komposit *sandwich* terhadap kekakuan *bending*. Dalam hal analisa teknik, tujuannya untuk mengetahui pengaruh perlakuan proses *printing* terhadap kekakuan *bending* antara *core* (*gyroid*) dengan (*carbonfiber*) dengan variasi derajat *printing* 30°, 45°, dan 60°. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai kekakuan spesifik pada spesimen *nonskin* sebesar 91.116,29 Nmm<sup>2</sup>/g pada orientasi 30°, 101.082,60 Nmm<sup>2</sup>/g pada orientasi 45°, 111.015,56 Nmm<sup>2</sup>/g pada orientasi 60°, dimana nilai kekakuan spesifiknya tidak berbeda jauh antara jenis spesimennya. Namun untuk spesimen yang dilapisi dengan *skin*, nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi terdapat pada spesimen

orientasi  $45^\circ$  sebesar 398.237,94 Nmm<sup>2</sup>/g, sedangkan pada orientasi  $30^\circ$  memiliki nilai sebesar 212.881,62 Nmm<sup>2</sup>/g dan pada orientasi  $60^\circ$  sebesar 238.009,45 Nmm<sup>2</sup>/g. Pada Penelitian tersebut menggunakan metode *vacuum infusion* (Naufal, 2023).

Kajian pustaka yang keempat berasal dari penelitian yaitu membahas “Pengaruh variasi ketebalan *core* terhadap karakteristik *bending* komposit *sandwich* serat *cantula* dengan *core honeycomb* kardus tipe *A-flute*” oleh (Mutasiana, 2014) yang meneliti tentang karakteristik lentur dari komposit *sandwich* serat *kantula* menggunakan variasi ketebalan *core* kardus tipe BC-Flute. Spesimen yang telah dilapisi komposit tersebut kemudian dilakukan uji *bending* yang mengacu pada ASTM C-393. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan mempengaruhi tegangan *bending*, tegangan geser *core*, dan tegangan *bending* pada permukaan. Nilai tertinggi tegangan *bending* komposit sebesar 17,47 MPa pada ketebalan *core* 10 mm. Nilai tertinggi tegangan *bending face* sebesar 16,84 MPa pada ketebalan *core* 10 mm. Nilai tertinggi tegangan geser *core* sebesar 0,75 Mpa pada ketebalan *core* 10 mm.

Kajian pustaka kelima yaitu membahas “Kaji Eksperimental Sifat Mekanik *Honeycomb Sandwich* komposit Serat Karbon dengan Uji *Bending*” oleh (Marsono, 2021). Dalam penelitian tersebut meneliti tentang panel *sandwich honeycomb* yang dibuat dari komposit serat karbon dan diuji *bending* untuk menentukan kekuatan lentur dan kekakuan. Matriks yang digunakan pada penelitian tersebut adalah resin epoksi yang dibuat dengan perlakuan awal yaitu dipanaskan dan tanpa dipanaskan. Hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa kekuatan lentur tertinggi dimiliki oleh spesimen yang memiliki 2 lapis serat karbon dengan resin epoksi yang dilakukan pemanasan dan kekakuan lentur tertinggi juga dimiliki oleh spesimen yang sama

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 3D Print

*Additive Layer Manufacturing* atau dikenal sebagai *3D Print* merupakan salah satu teknologi yang memiliki peran besar dalam proses pembuatan objek tiga dimensi. *3D print* dapat mencetak *modelling*, purwarupa/ permodelan, desain produk, mainan anak-anak, alat-alat penunjang kesehatan, dan model perhiasan. *3D pinter* menjadi salah satu tren teknologi informasi dan komunikasi masa kini. Hal ini dapat dilihat dari kebutuhan manusia yang semakin modern (K. S. Putra & Sari, 2018). Cara kerja mesin *3D printing* sama dengan cara kerja *printer* laser yaitu dengan dimulai dari sejumlah lapisan yang dicetak di atas lapisan lainnya.



Gambar 2-1 3D print

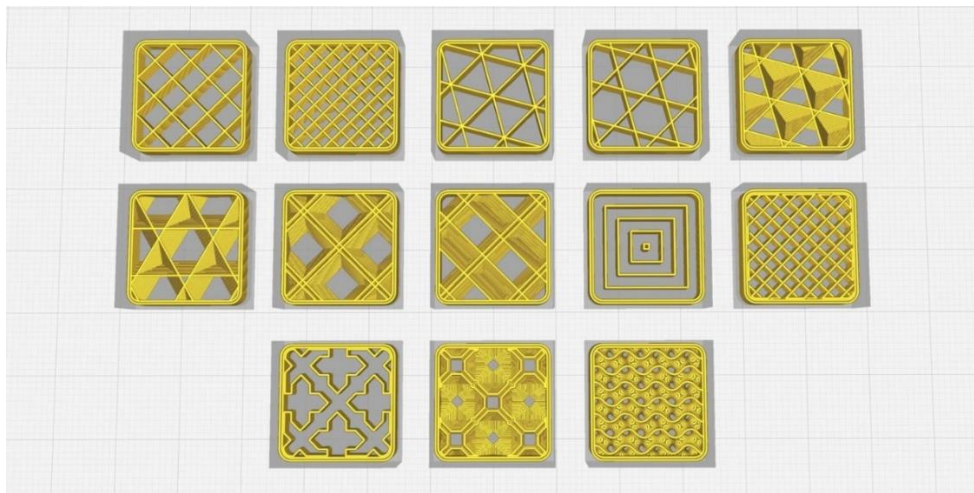
### 2.2.2 Komposit

Komposit adalah material gabungan dari dua atau lebih material yang terikat secara makroskopis. Komposit memiliki dua bagian terpenting sebagai penyusunnya. Yang pertama yaitu matrik sebagai pengikat contohnya yaitu resin *epoxy*, yang kedua yaitu *filler* berfungsi sebagai penguat berupa serat maupun partikel, contohnya *carbon fiber* dan *fiberglass*. Karakteristik dari komposit sendiri dipengaruhi oleh jenis *filler* yang digunakan contohnya yaitu serat karbon sebagai penguat yang dapat meningkatkan keuletan, kekuatan, kekakuan, dan kelenturan maupun sifat mekanik lainnya (Pramono et al., 2019)

Material komposit berpenguat serat memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan material komposit yang berpenguat partikel, komposit serat sendiri terdiri dari serat sebagai *filler* (penguat) dan umumnya menggunakan *polymer* (resin) sebagai matrik pengikatnya. Matrik juga berfungsi sebagai pengisi volume dan sebagai pelindung serat.

### 2.2.2.1 *Infill Pattern*

*Gyroid* pengisi kekuatan tinggi *Cura Gyroid* menciptakan garis bergelombang dengan arah bergantian. Bahan ini tahan terhadap geser dan kuat ke segala arah, namun tidak kaku, sehingga cocok untuk beberapa bahan fleksibel (walaupun fleksibilitasnya lebih rendah dibandingkan tiga pola pengisi fleksibel khusus). Banyak pengguna *Cura* menyukai *Gyroid* karena estetikanya, terutama dengan filamen transparan yang membuat geometri internal terlihat. Namun, pengisian *Gyroid* rumit secara algoritme, sehingga pemotongan model 3D bisa jadi lambat. (Benedict O'Neill., 2022)



Gambar 2-2 *infill pattern Cura*

### 2.2.3 *Pengujian Bending*

Uji lengkung (*Bending Test*) merupakan proses untuk mengukur kekuatan dan keuletan dalam menahan beban suatu material dimana pada prosesnya pemberian beban secara maksimal bertujuan untuk melihat perubahan bentuk (deformasi) dan hasil pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu material dan menentukan apakah material tersebut cocok untuk digunakan dalam aplikasi tertentu.

Besar kekuatan *bending* suatu materil dipengaruhi oleh jenis materialnya dan cara pembebanannya. Ketika suatu benda ditekan atau dilengkungkan, bagian atasnya akan mengalami tekanan sedangkan bagian bawahnya mengalami tegangan tarik. Untuk material komposit, kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya (Aprillio, 2022).



Gambar 2-3 Pengujian *Bending*

Hasil yang didapatkan dari pengujian *bending* biasanya berupa data beban maksimal, defleksi (perpindahan relatif pada ujung spesimen yang di tekuk), dan tegangan *bending*. Data ini akan digunakan untuk melakukan perhitungan kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik, dengan rumus sebagai berikut:

- Tegangan Maksimal

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

- Kekakuan *Bending*

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

- Kekuatan *Bending* Spesifik

$$D \cdot Spesifik = D/W \quad (2.3)$$

Keterangan:

$E$  = Modulus elastisitas *bending* ( $N/mm^2$ )

$P$  = Beban yang diberikan (N)

$L$  = Jarak point (mm)

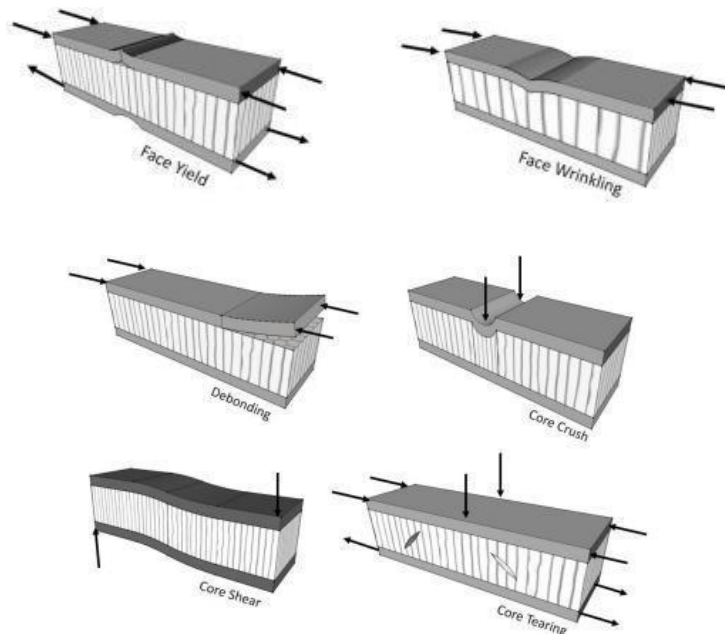
$\delta$  = Defleksi (mm)

$I$  = Momen inersia (kgm)

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

## 2.2.4 Modus Kegagalan Pengujian *Bending*

Dalam bentuk pengaplikasiannya pada bidang rekayasa, komposit *sandwich* mengalami berbagai macam beban mekanik, seperti misalnya beban tarik, tekan, lentur, geser, dan puntir. Tidak jarang material komposit mengalami beban yang berlebih, yang dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan pada material ini. Menurut (Petras, n.d) ada beberapa kegagalan yang terjadi pada komposit *sandwich*:



Gambar 2-4 Jenis Kegagalan *Bending*

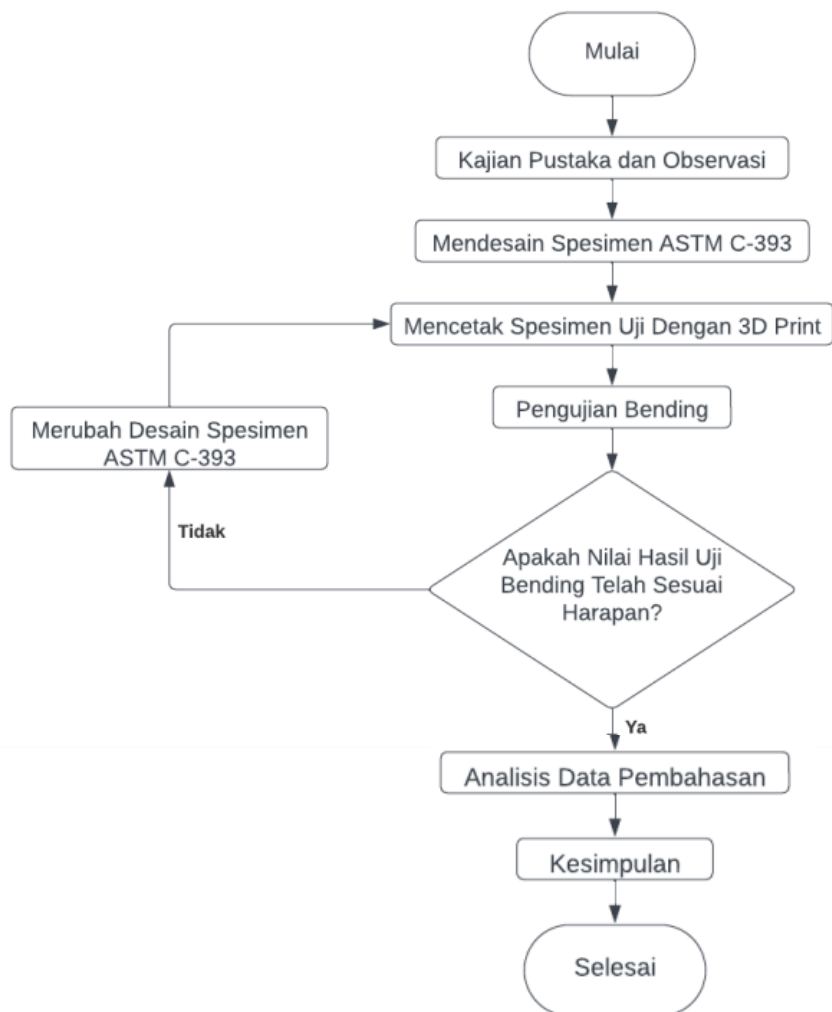


Pada kegagalan *skin* komposit *sandwich* yang pertama yaitu *face yield* terjadi ketika tegangan normal melebihi tegangan luluh material *skin*. Jika material *skin* bersifat getas, maka kegagalan *face yield* kemungkinan besar terjadi pada *skin* bagian atas karena lebih kritis terhadap tegangan tekan. Kegagalan *face wrinkling* merupakan 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* merupakan kegagalan yang terjadi pada lapisan *skin* yang terlepas dari bagian *core* spesimen. Kemudian *core crush* merupakan kegagalan yang terjadi karena adanya perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen. Untuk kegagalan *core shear* bentuk kegagalan yang terjadi adalah spesimen berubah bentuk akibat pembebanan yang diberikan. Sedangkan kegagalan *core tearing* merupakan bentuk kegagalan yang terjadi pecahnya atau terlepasnya bagian *core* spesimen akibat gaya gesek pada bagian tengah spesimen (Petras, n.d.).

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian



Gambar 3-1 Alur Penelitian

## 3.2 Peralatan dan Bahan

### 1. 3D Printing

Pada gambar 3-2 dibawah ini merupakan mesin 3D *Print* Eder CR-10S Pro yang berfungsi sebagai alat untuk membuat Spesimen dengan *infill Gyroid*.



Gambar 3-2 3D *Printing*

### 2. PLA

Pada gambar 3-3 dibawah ini merupakan filamen PLA (*Poly lactid Acid*) yang berfungsi sebagai bahan untuk membuat Spesimen dengan *infill Gyroid*. Filamen PLA yang digunakan merupakan merk dari Sun dengan diameter 1,75 dan *printing* temperature 195°C – 220 °C.



Gambar 3-3 Filamen PLA

### 3. Timbangan

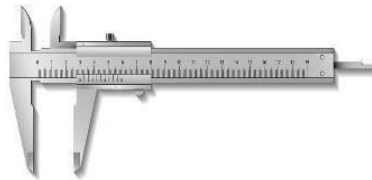
Pada gambar 3-4 dibawah ini merupakan timbangan yang berfungsi untuk menimbang berat spesimen sebelum di pengujian *bending* dan sesudah pengujian *bending*.



Gambar 3-4 Timbangan

#### 4. Jangka Sorong

Pada gambar 3-5 dibawah ini merupakan jangka sorong yang berfungsi sebagai alat untuk mengukur ketebalan, lebar spesimen sebelum di *bending*.



Gambar 3-5 Jangka Sorong

#### 5. *Solidworks*

Pada gambar 3-6 dibawah ini merupakan Aplikasi *Solidworks* yang berfungsi sebagai Desain 3D untuk membuat spesiment.



Gambar 3-6 Aplikasi Solidworks

#### 6. *Ultimaker Cura*

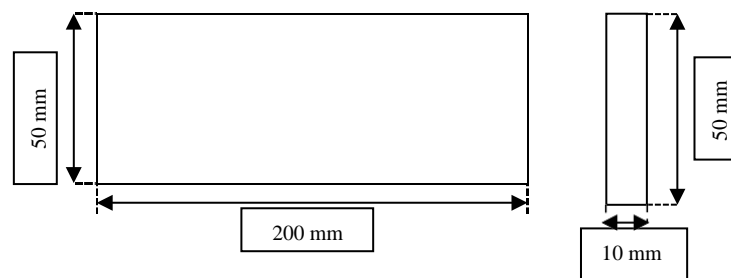
Pada gambar 3-7 dibawah ini merupakan Aplikasi *Ultimaker Cura* yang berfungsi sebagai penghubung antara desain yang sudah di buat di spesimen untuk membuat spesiment 3D *print*.



Gambar 3-7 *Ultimaker Cura*

### 3.3 Dimensi Spesimen *Bending*

Penelitian ini menggunakan standar ASTM C393 pada spesimen Segmen *Horizontal*, dengan menggunakan bahan Spesimen PLA serta *infill* 20% dengan *fill pattern gyroid*.



Gambar 3-8 Dimensi Spesimen Uji *Bending*

Pada gambar 3-8 diatas menunjukkan dimensi spesimen yang akan dibuat pada penelitian ini mengacuh pada standar ASTM C393. Pada penelitian ini dibuat spesimen dari bahan PLA (*Poly lactid Acid*) dengan ketebalan 10mm, serta desain 3D *print*.

### 3.4 Hasil Perhitungan Dimensi Spesimen

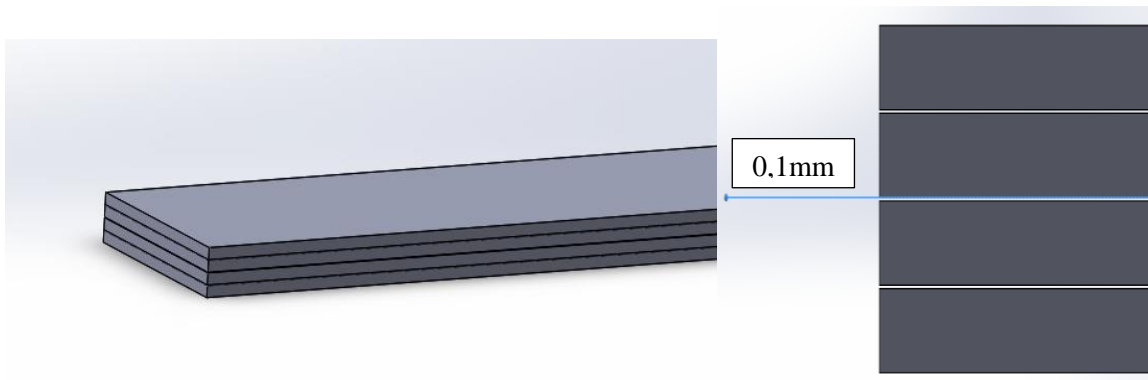
Tabel 3-1 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen Sebelum Dilakukan Proses Pengujian *Bending*

Kode Spesimen	Tebal	Lebar	Berat	Material Spesimen
	(mm)	(mm)	(g)	
A1.1	9,96	50,07	52,24	PLA
A1.2	10,21	49,76	53,11	PLA
A1.3	10,03	49,77	53,08	PLA
A2.1	10,06	50,40	68,52	PLA
A2.2	10,36	50,12	67,43	PLA
A2.3	10,06	49,91	66,95	PLA
A3.1	10,13	49,77	89,24	PLA
A3.2	10,03	50,15	88,73	PLA
A3.3	10,03	50,17	89,35	PLA
A3 cetak tegak	10,04	49,90	90,12	PLA

Pada tabel 3-1 diatas menunjukkan perhitungan dimensi awal spesimen sebelum dilakukan proses Pengujian *Bending*. Pada tiap spesimen memiliki variasi A1 (tanpa Segmen *Horizontal*), A2 (satu Segmen *Horizontal*), A3 (tiga Segmen *Horizontal*). Masing-masing variasi dilakukan tiga kali pengujian, maka spesimen yang dibuat adalah sebanyak 9 spesimen dan cetak tegak spesimen tiga Segmen *Horizontal* namun orientasi pengeprinannya di *print* tegak

### 3.5 Proses Pengerjaan

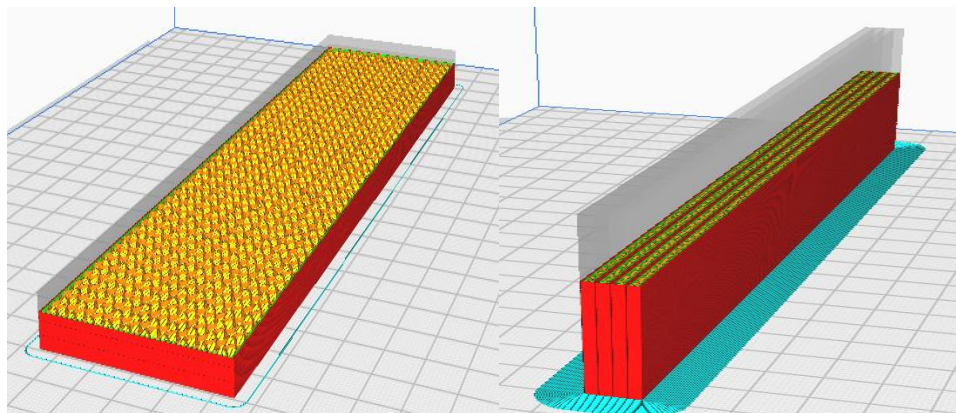
#### 3.5.1 Pembuatan Desain Spesimen Dengan *Solidworks*



Gambar 3-9 Proses Pembuatan Desain Spesimen & Segmen *Horizontal*

Pada gambar 3-9 diatas menunjukkan proses pembuatan desain Spesimen yang dimensinya mengikuti standar ASTM C393 dengan menggunakan *Solidworks* yang diberi *spacing plan* 0,1mm agar menjadi Segmen *Horizontal*.

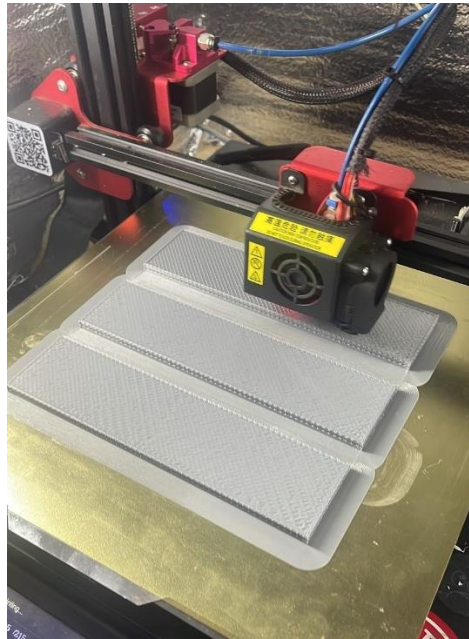
#### 3.5.2 Proses *Ultimaker cura*



Gambar 3-10 Proses *Ultimaker Cura*

Pada gambar 3-10 menunjukkan proses Setting menggunakan aplikasi *ultimake cura* untuk dapat lanjut pada proses *3D print*

### 3.5.3 Proses Pembuatan Spesimen Menggunakan 3D Print



Gambar 3-11 Proses Pembuatan 3D *print spesimen*

Pada gambar 3-11 diatas menunjukkan proses pembuatan Spesimen PLA yang dimensinya mengikuti standar ASTM C393 dengan menggunakan mesin 3D *Print*.

Bahan	PLA
<i>Infill</i>	100%
Tebal <i>Layer</i>	0,2 mm
Suhu Meja	65 °C
Suhu <i>Nozzle</i>	235 °C
<i>Speed</i>	100 mm/s
<i>Fill Pattern</i>	<i>Gyroid</i>

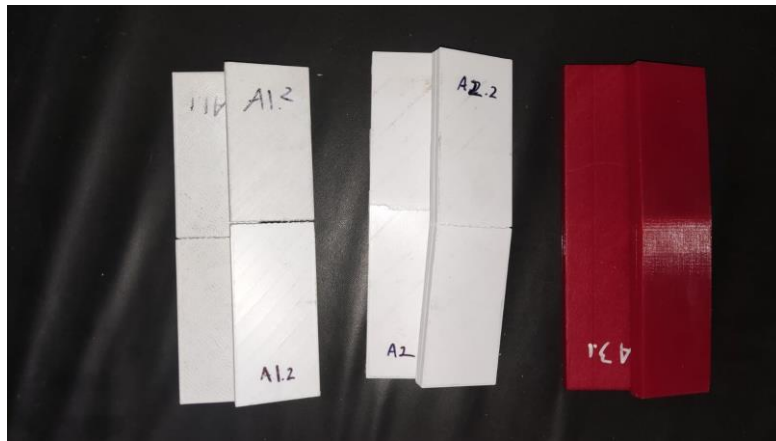
Tabel 3-2 Parameter Proses Pembuatan Spesimen

Pada tabel 3-2 diatas menunjukkan parameter proses pencetakan spesimen uji yang dibuat dengan menggunakan bahan PLA (*Poly lactid Acid*), dengan *infill* 20%, suhu meja 65 °C, suhu *nozzle* 235 °C, *speed* 100%, dengan menggunakan *gyroid* sebagai *fill pattern*nya.



### 3.5.4 Hasil Proses Pengerjaan

Hasil dari proses pembuatan spesimen dengan 3D *Print* adalah sebagai berikut:



Gambar 3-12 Hasil Spesimen 3D *Print*

Pada Gambar 3-12 diatas menunjukkan spesimen. Spesimen hanya berupa hasil dari 3D *print* yang siap di uji *bending*. Setiap desain spesimen di cetak 3 kali.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengujian *Bending*

Pengujian spesimen yang dilakukan adalah pengujian *bending*, yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekakuan maksimal dari kekakuan maksimal dari 9 spesimen yang tidak dilapisi *skin* dan 1 spesimen yang di cetak tegak. Pengujian *bending* ini merujuk pada standar ASTM C393 yang dilakukan di Lab Bahan Teknik UGM. Pada gambar 4-1 menunjukkan proses pengujian *three point bending*.



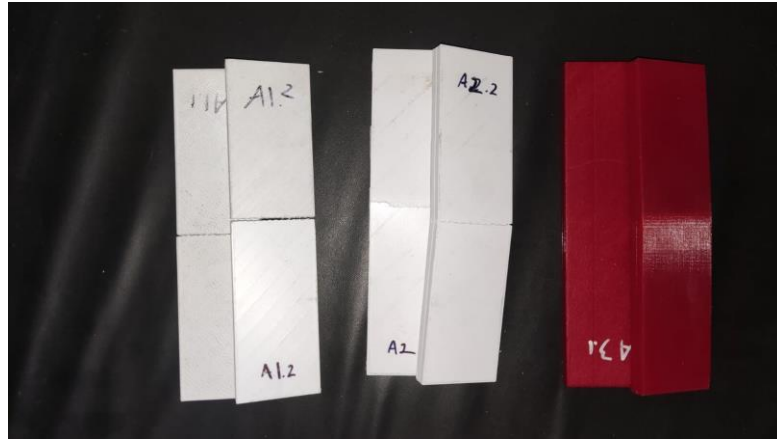
Gambar 4-1 Proses Pengujian *Three Point Bending*

Adapun langkah-langkah pada proses pengujian *three point bending*:

1. Siapkan spesimen yang akan di uji dengan kestandaran ASTM C393 yang sudah dirapihkan sesuai variasi nya masing-masing.
2. Letakan spesimen uji yang sudah dibuat pada alat uji *bending* dengan jarak antar titik tumpuan 100 mm dengan panjang 200 mm.
3. Mesin uji *bending* akan memberikan beban maksimal secara perlahan hingga spesimen mengalami patah.
4. Hasil pengujian akan otomatis tercatat pada kertas yang sudah disediakan oleh penguji di panel mesin uji.

## 4.2 Hasil Pengujian

Dari proses pengujian *three point bending* pada spesimen uji yang dilakukan pada Laboratorium Bahan Teknik UGM mendapatkan Hasil Seperti pada gambar 4-2 di bawah ini.



Gambar 4-2 Hasil Pengujian spesimen

Pada gambar 4-2 dan diatas adalah hasil dari pengujian *bending* yang telah dilakukan. Dari gambar tersebut juga dapat terlihat modulus kegagalan pada tiap spesimen.

Tabel 4-1 Data Hasil Pengujian *Bending*

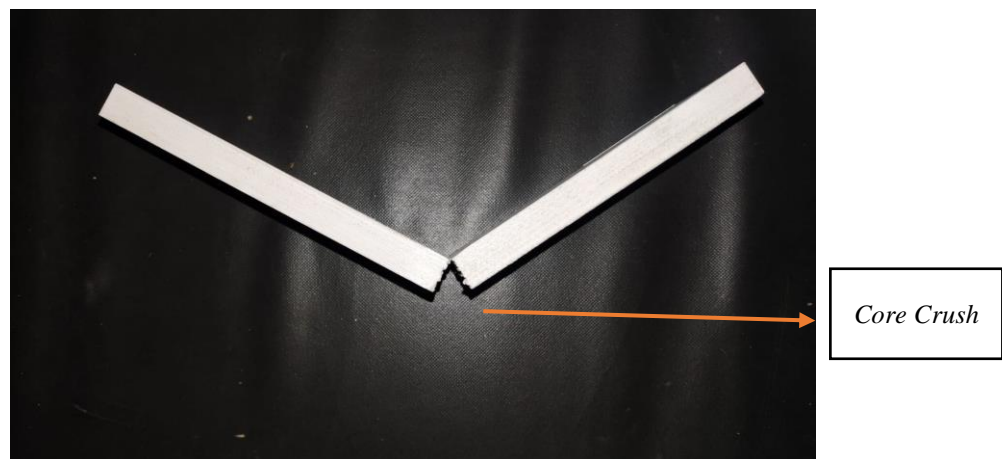
No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Teg. <i>Bending</i> (MPa)
1	A1.1	9,96	50,07	1,09	7,07	32,92
2	A1.2	10,21	49,76	1,13	6,13	32,67
3	A1.3	10,03	49,77	0,91	5,04	27,27
4	A2.1	10,06	50,40	0,86	11,70	25,29
5	A2.2	10,36	50,12	1,07	8,23	29,84
6	A2.3	10,06	49,91	0,98	8,83	29,10
7	A3.1	10,13	49,77	1,04	5,23	30,54
8	A3.2	10,03	50,15	1,05	5,03	31,22
9	A3.3	10,03	50,17	0,97	5,30	28,83
10	A3 cetak tegak	10,04	49,90	0,95	4,75	28,33

Pada tabel 4-1 hasil data yang terkumpul setelah melalui proses pengujian *bending* menunjukkan bahwa spesimen dengan kode A1.2 yang merupakan *gyroid* tanpa Segmen *Horizontal*, mampu menahan beban maksimal tertinggi sebesar 1,13 KN. Sementara itu, defleksi tertinggi tercatat pada spesimen A2.1, yang merupakan *gyroid* dengan Segmen *Horizontal*, dengan nilai mencapai 11,70 mm. Tegangan *bending* tertinggi terjadi pada spesimen A1.1, yakni *gyroid* tanpa Segmen *Horizontal*, dengan nilai mencapai 32,92 MPa.

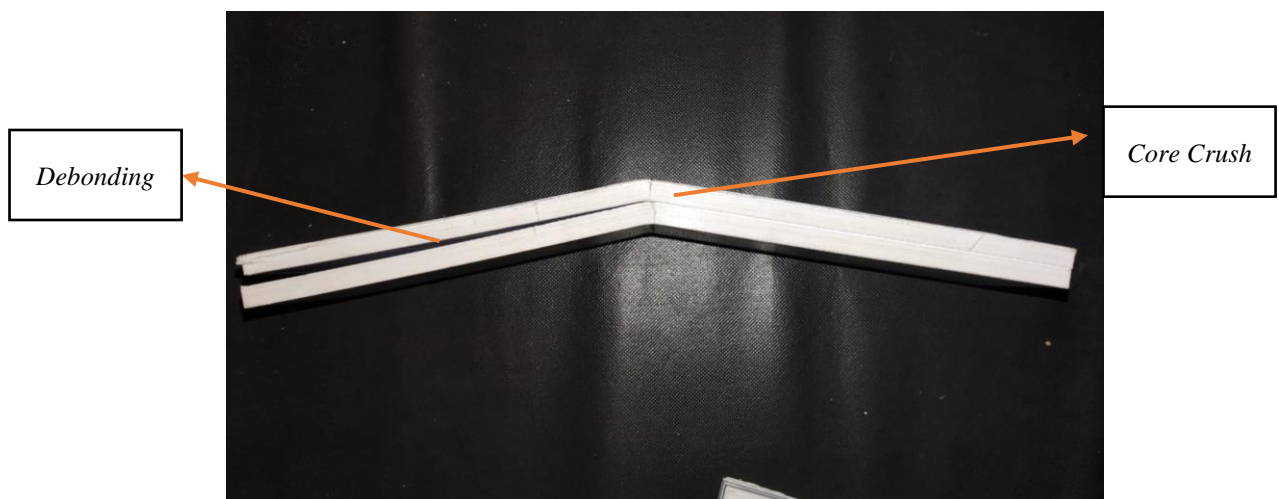
### 4.3 Analisis dan Perhitungan

Gagalnya komposit adalah insiden kerusakan yang terjadi ketika komposit tersebut dikenakan beban melebihi batas kekuatannya. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada sepuluh spesimen, pada umumnya, spesimen mengalami kegagalan "*core crush*," dimana kegagalan ini menunjukkan deformasi pada inti komposit sebagai hasil dari beban yang diterapkan. Kegagalan semacam ini dapat mengakibatkan penurunan yang signifikan dalam kekuatan *bending*..

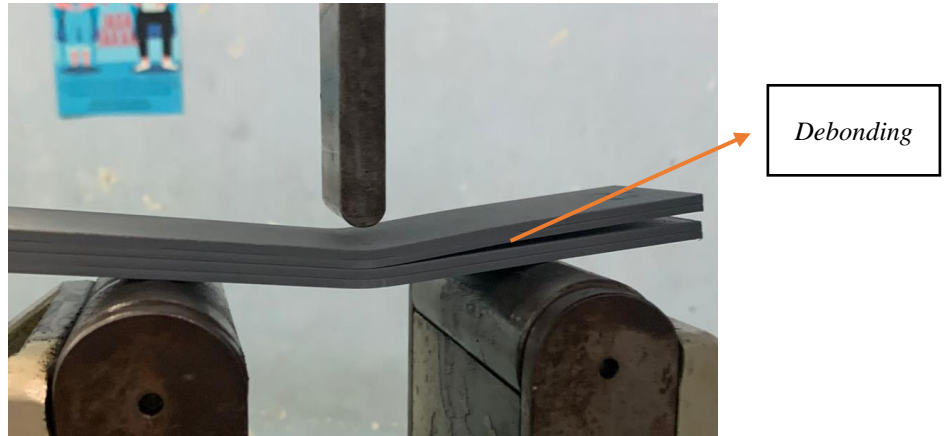
#### 4.3.1 Analisis Modus Kegagalan Spesimen Segmen *Horizontal*



Gambar 4-3 Spesimen Tanpa Segmen *Horizontal*



Gambar 4-4 Spesimen 1 Segmen *Horizontal*



Gambar 4-5 Spesimen 3 Segmen *Horizontal*

Pada gambar 4-3 sampai 4-5 diatas dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen A1, A2 dan A3 mengalami kegagalan *core crush* dan *debonding*.

#### 4.3.2 Analisis Modus Kegagalan Spesimen Segmen *Horizontal* Dengan Cetak Tegak



Gambar 4-6 Spesimen 3 Segmen *Horizontal* cetak tegak

Pada gambar 4-6 diatas dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen dengan cetak tegak mengalami kegagalan yang serupa yaitu *core crush* dan *debonding*.

#### 4.4 Perhitungan

Dari data yang didapat melalui pengujian *bending*, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai rata-rata kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik dengan menggunakan rumus pada bab 2.

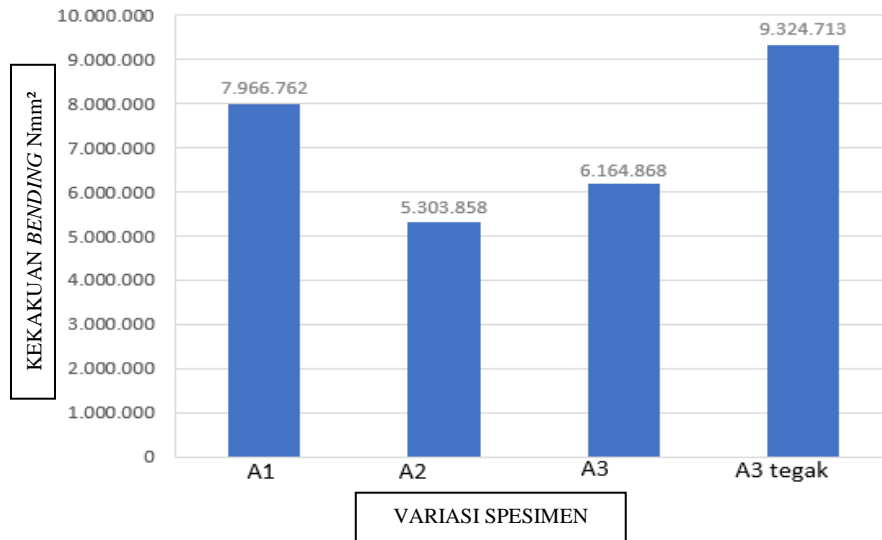
Tabel 4-2 Hasil Perhitungan *Bending* Spesimen

No.	Kode Spesimen	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan <i>Bending</i> Max	Kekakuan <i>Bending</i>	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik
		W	P yield	$\delta$ yield	$\sigma$	D	D/W
		g	N	(mm)	Mpa	N.mm <sup>2</sup>	N.mm <sup>2</sup> /g
1	A1.1	52,24	849	2,97	32,92	5.955.387	114.001
2	A1.2	53,11	743	2	32,67	7.739.583	145.727
3	A1.3	53,08	676	1,38	27,27	9.205.314	192.263
4	A2.1	68,52	805	3,94	25,29	4.256.557	62.121
5	A2.2	67,43	740	2,5	29,84	6.166.667	91.453
6	A2.3	66,95	735	2,79	29,10	5.488.351	81.977
7	A3.1	89,24	884	2,78	30,54	6.624.700	74.235
8	A3.2	88,73	801	2,69	31,22	6.203.532	69.915
9	A3.3	89,35	767	2,82	28,83	5.666.371	63.418
10	A3 cetak tegak	90,12	649	1,45	28,33	9.324.713	103.470

Dari tabel 4-2 diatas menunjukkan hasil perhitungan kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik dari spesimen yang telah dilakukan pengujian *three point bending* menggunakan mesin *universal testing machine*. Dapat dilihat pada spesimen metode *print* normal dengan kode A1.3 yaitu *gyroid* tanpa Segmen *Horizontal* memiliki nilai kekakuan *bending* sebesar 9.205.314 Nmm<sup>2</sup> dan kekakuan *bending* spesifiknya memiliki nilai sebesar 192.263 Nmm<sup>2</sup>/g, sedangkan untuk spesimen yang telah dilakukan metode *print* tegak dengan kode cetak tegak yaitu *gyroid* tiga Segmen *Horizontal* memiliki nilai sebesar 9.324.713 Nmm<sup>2</sup> dan nilai kekakuan *bending* spesifiknya mencapai 103.470 Nmm<sup>2</sup>/g.

## 4.5 Pembahasan

### 4.5.1 Kekakuan *Bending*

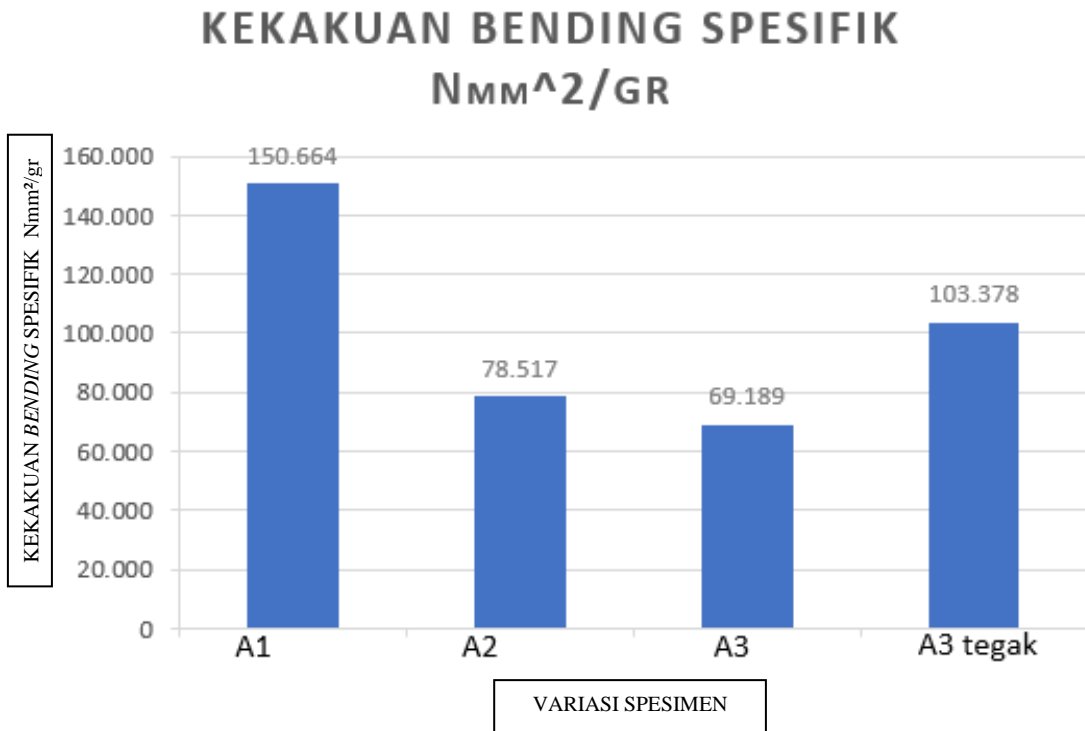


Gambar 4-7 Grafik Kekakuan *Bending*

Pada gambar 4-7 diatas menunjukkan grafik kekakuan *bending*, dimana pada grafik garis yang berwarna biru menunjukkan spesimen dengan metode *print* normal dan metode *print* tegak. Dari grafik dapat dibaca kekakuan *bending* yang paling tinggi di dapatkan pada spesimen *gyroid* tiga Segmen *Horizontal* yang memiliki nilai kekakuan *bending* sebesar 9.324.713 Nmm<sup>2</sup> dan kekakuan *bending* yang paling rendah didapatkan pada spesimen *gyroid* dengan 2 Segmen *Horizontal* dengan nilai kekakuan sebesar 5.308.858 Nmm<sup>2</sup>. Dari data kekakuan *bending* rata-rata, jumlah Segmen *Horizontal* tidak begitu berpengaruh dalam meningkatkan kekakuan *bending* dan kekuatan pada Spesimen. Sedangkan spesimen dengan 3 Segmen *Horizontal* metode *print* tegak dapat berpengaruh terhadap kekakuan *bending*



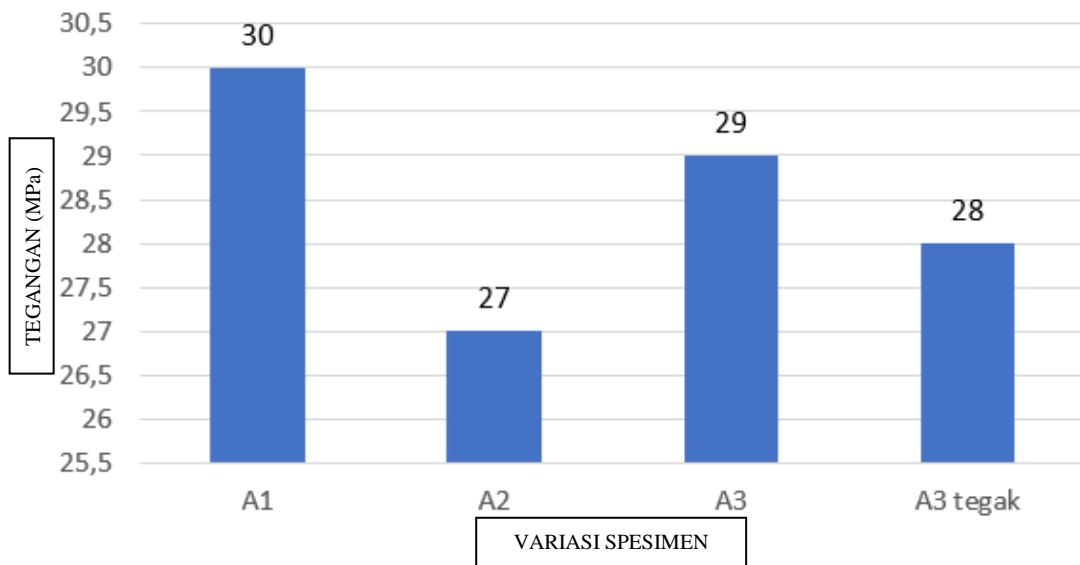
#### 4.5.2 Kekakuan *Bending* Spesifik



Gambar 4-8 Grafik Kekakuan *Bending* Spesifik

Pada Pada gambar 4-8 diatas menunjukkan grafik kekakuan *bending* spesifik, dimana pada grafik garis yang berwarna biru menunjukkan spesimen dengan metode *print* normal dan metode *print* tegak. Dari grafik dapat dibaca kekakuan *bending* spesifik yang paling tinggi di dapatkan pada spesimen *gyroid* tanpa Segmen *Horizontal* yang memiliki nilai kekakuan *bending* sebesar 150.664  $Nmm^2/g$  dan kekakuan *bending* yang paling rendah didapatkan pada spesimen *gyroid* dengan 3 Segmen *Horizontal* dengan nilai kekakuan sebesar 69.189  $Nmm^2/g$  Dari data kekakuan *bending* rata-rata, jumlah Segmen *Horizontal* tidak begitu berpengaruh dalam meningkatkan kekakuan *bending* spesifik dan kekuatan pada Spesimen.

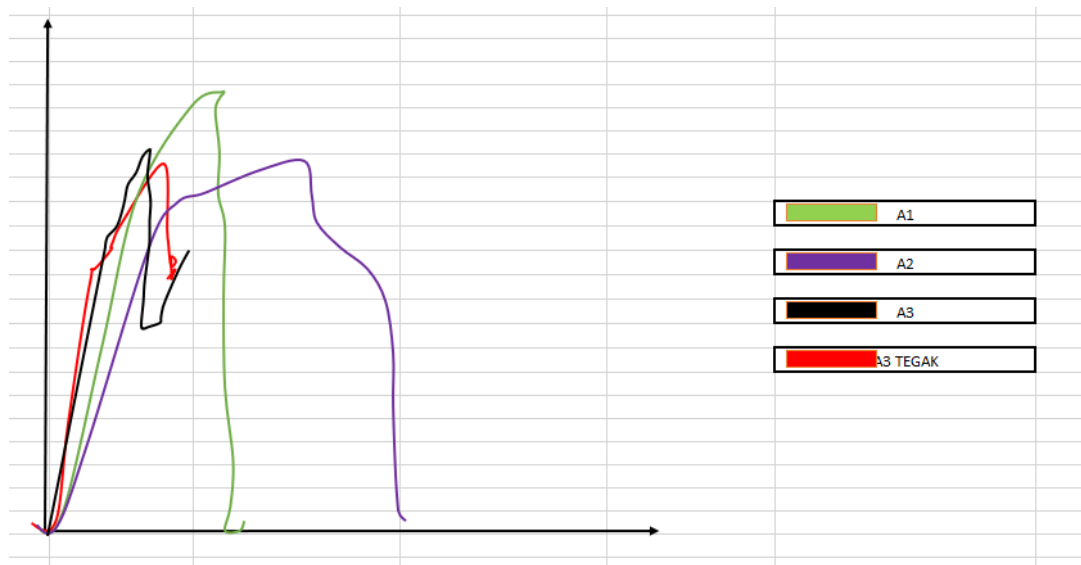
### 4.5.3 Tegangan *Bending*



Gambar 4-9 Grafik Tegangan *Bending* Maksimal

Pada gambar 4-9 diatas menunjukkan grafik tegangan *bending*, dimana pada grafik garis yang berwarna biru menunjukkan spesimen dengan metode *print* normal dan metode *print* tegak. Dari grafik dapat dibaca tegangan *bending* yang paling tinggi didapatkan pada spesimen *gyroid* tanpa Segmen *Horizontal* sebesar 30 Mpa dan tegangan *bending* yang paling rendah didapatkan pada spesimen *gyroid* dengan 2 Segmen *Horizontal* sebesar 27 MPa.

#### 4.5.4 Tegangan dan Defleksi



Gambar 4-10 Grafik Tegangan dan Defleksi

Pada gambar 4-10 diatas menunjukkan grafik tegangan dan defleksi, dimana pada grafik terlihat apabila spesimen yang menggunakan Segmen *Horizontal* terjadi tegangan yang lebih kecil.

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh penambahan Segmen *Horizontal* pada *infill pattern gyroid* berpengaruh pada kekakuan *bending* namun menghasilkan hasil yang tidak di harapkan yaitu penurunan nilai kekakuan *bending*. Dikarenakan patahan pada lapisan Segmen *Horizontal* spesimen yang di sebut patahan debonding menjadikannya kekakuan yang di hasilkan tidak maksimal, namun spesimen dengan rotasi pengepritannya tegak bisa lebih tinggi dari spesimen spesimen lainnya di karenakan sambungan Segmen *Horizontal* dengan metode *print* tegak menjadikannya sambungan antar Segmen *Horizontal* menjadi lebih kuat dengan hasil kekakuan *bending* yang bernilai  $9.324.713 \text{ Nmm}^2$
2. Analisis kegagalan yang terjadi pada spesimen yang di tambahkan Segmen *Horizontal* memiliki kesamaan dimana semua spesimen mengalami kegagalan *debonding* dan *core crush*.

### 5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan hasil penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Saran penelitian selanjutnya mencari cara bagai mana cara memodifikasi *infill gyroid* menjadi *non homogen*.
2. Hati hati saat proses pengujian *bending* patahan dapat terpental mengenai wajah.
3. Pada saat proses *bending* perhatikan betul pada saat mesin bergerak agar paham betul saat grafik pengujian muncul .

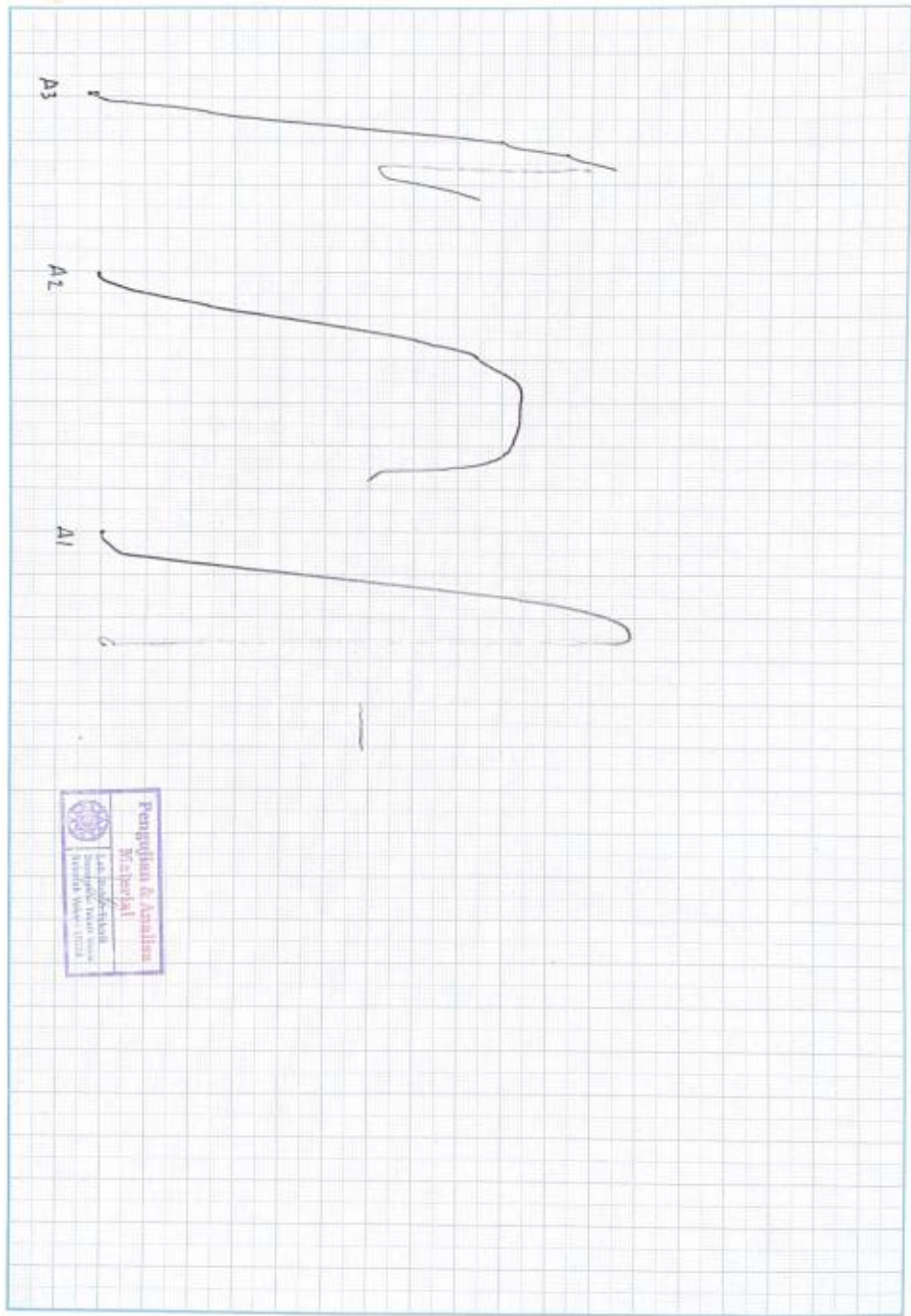
## DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah, Y. I. (2021). Analisis Uji *Bending* Komposit *Sandwich* Yang Digabungkan *3D Printing*.  
<https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/30579>
- Aprillio, Y. (2022). Pengaruh Diameter *Honeycomb Ribs* Pada Produk *Acrylonitrile Butadiene Styrene (Abs) 3d Printing Fused Filament Fabrication (Fff)* Yang Diperkuat Komposit *Carbon Fiber*.  
<https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/41697>
- 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.
- Hidayat, A., Yudo, H., & Manik, P. (2016). Analisa Teknis Komposit *Sandwich* Berpenguat Serat Daun Nanas Dengan *Core* Serbuk Gergaji Kayu Sengon Laut Ditinjau Dari Kekuatan Tekuk dan Impak. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1), *Article* 1.  
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/13638>
- Hidayat, S. (2020). Aplikasi Perangkat *Vacuum Infusion* Untuk Pembuatan Komponen Berbahan Komposit.
- Naufal, R. B. R. R. (2023). Pengaruh Orientasi *Printing (3D Print)* Pada Jenis Material *Core* Komposit *Sandwich* Dengan Sudut Pengeprintan 30°, 45°, 60° Dan *Skin Carbonfiber* Terhadap Kekakuan *Bending*.
- Nugroho, A. T. P. (2011). Pengaruh Tebal *Skin* Dan *Core* Terhadap Kekuatan *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Rami—*Polyester* Dengan *Core* Sekam Padi—*Ureaformaldehyde*.  
<https://digilib.uns.ac.id/dokumen/24716/Pengaruh-tebal-skin-dan-core-terhadap-kekuatan-bending-komposit-sandwich-serat-rami-polyester-dengan-core-sekam-padi-urea-formaldehyde>

- Pramono, C., Hastuti, S., Ivandiyanto, D. I., & Trihardanto, A. A. (2019). Analisis Sifat *Bending* dan Impak Komposit Berpenguat Serat Pohon Pisang. *Prosiding Seminar Sains Nasional dan Teknologi*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.36499/psnst.v1i1.2813>
- Prastyadi, C. (2017). Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur, Waktu *Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik Tekan Komposit *Polyester* - Partikel *Hollow Glass Micropheres (HGM) IM30K* [Undergraduate, Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. <https://repository.its.ac.id/3156/>
- Pratama, A. H. (2022). Pengaruh Ketebalan Dan Jenis *3d Printed Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Skin* Serat Karbon. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/41206>
- Prayoga, A. (2018). Pengaruh Ketebalan *Skin* Terhadap Kekuatan *Bending* dan Tarik Komposit *Sandwich* Dengan *Honeycomb Polypropylene* Sebagai *Core*. 18(1).
- Putra, A. S. W. K. (2022). Pengaruh Orientasi *Printing (3D Print)* dan Jenis Material *Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Carbonfiber*.
- Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. Seminar Nasional Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi, 917–922.
- Putra, M. I., & Nugroho, G. (2021). Pengaruh *Curing Time* Terhadap Sifat Mekanis Komposit *Epoxy/Carbon Fiber* dan *Epoxy/ Glass Fiber* dengan Metode Manufaktur *Bladder Compression Moulding*. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.22146/jmdt.57205>

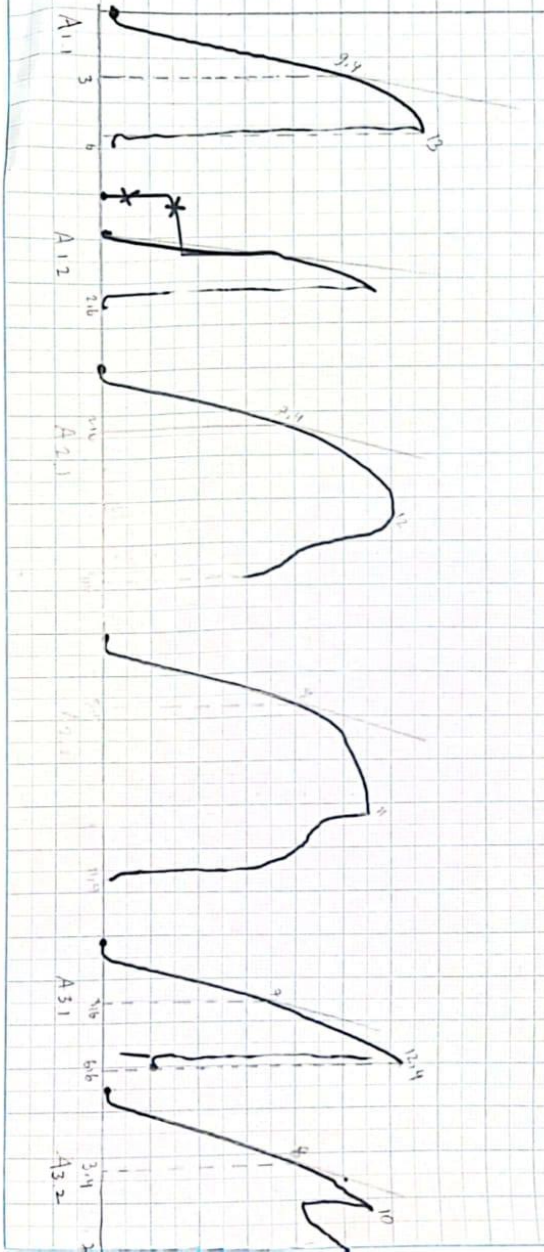
- Rahmani, J. P. (2022). *Studi Pengaruh Jenis Perekat Dan Variasi Suhu Curing Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Menggunakan Core 3d Printing*. <https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/41698>
- Setiyawan, D., Respati, S. M. B., & Dzulfikar, M. (2020). Analisa Kekuatan Komposit *Sandwich* Karbon *Fiber* Dengan *Core Styrofoam* Sebagai Material Pada Model Pesawat Tanpa Awak (Uji Tarik & Uji *Bending*). *Majalah Ilmiah Momentum*, 16(1), *Article 1*.  
<https://doi.org/10.36499/jim.v16i1.3345>
- Utomo, W. B., & Drastiawati, N. S. (2021). Pengaruh Variasi Jenis *Core*, *Temperatur Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik *Bending* Komposit *Sandwich* Serat *Carbon* Dengan Metode *Vacuum Infusion*. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(02), 45–54.
- Yeung, K. K. H., & Kamineni, P. (2014). *Mechanical Properties of Boron and Kevlar-49 Reinforced Thermosetting Composites and Economic Implications*. *Journal of Engineering Sciences*, 10, 19–29.

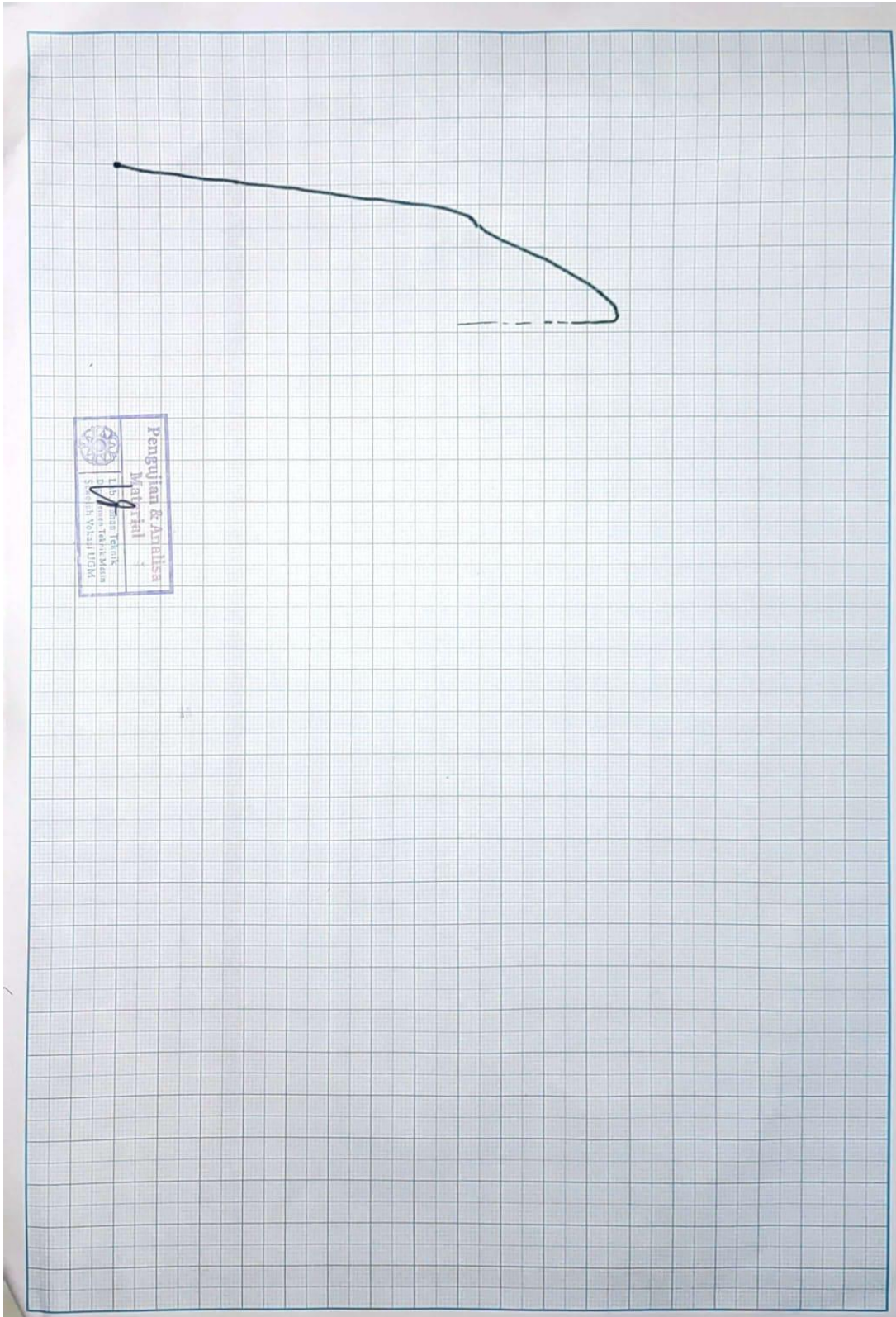
# LAMPIRAN





Farkhan







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

**HASIL PENGUJIAN BENDING**

No.	Variasi Komposit	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	A1	9.96	50.07	1.09	7.07	32.92
2	A2	10.06	50.40	0.86	11.70	25.29
3	A3	10.13	49.77	1.04	5.23	30.54

*Keterangan:*

1. Pengujian dilakukan tanggal 20 Maret 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Yogyakarta, 20 Maret 2023

Staf Laboratorium Bahan Teknik

**Pengujian & Analisa Material**  
L.A. Bahan Teknik  
Departemen Teknik Mesin  
Dr. Malik Dwi Setiawan, S.T. M.T.  
NIP. 197703312002121002





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

**HASIL PENGUJIAN BENDING**

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	A1.1	10.21	49.77	1.13	6.13	32.67
2	A1.2	10.03	49.76	0.91	5.04	27.27
3	A2.1	10.36	50.12	1.07	8.23	29.84
4	A2.2	10.06	49.91	0.98	8.83	29.10
5	A3.1	10.03	50.15	1.05	5.03	31.22
6	A3.2	10.03	50.17	0.97	5.30	28.83
7	A3.3	10.04	49.90	0.95	4.75	28.33

*Keterangan:*

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

Yogyakarta, 2 September 2023  
Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisa  
Material  
Dr. Lili Dwi Setyaningrum, S.T., M.T.  
NIP. 19770312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan