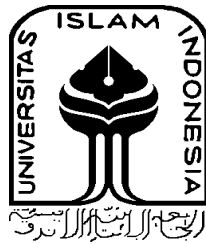


**PENGARUH PENAMBAHAN *HORIZONTAL RIBS* PADA  
STRUKTUR *HONEYCOMB* HASIL PROSES *ADDITIVE  
MANUFACTURING* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING*  
KOMPOSIT**

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh :**

**Nama : Muhammad Ali Kamarullah Fattah**

**No. Mahasiswa : 18525035**

**NIRM : 1803200062**

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

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PENGARUH PENAMBAHAN HORIZONTAL RIBS  
PADA STRUKTUR HONEYCOMB HASIL PROSES  
ADDITIVE MANUFACTURING TERHADAP  
KEKAKUAN BENDING KOMPOSIT**

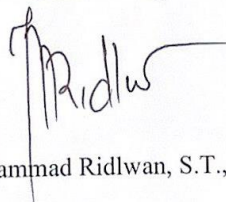
**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Muhammad Ali Kamarullah Fattah**  
**No. Mahasiswa : 18525035**  
**NIRM : 1803200062**

Yogyakarta, 13 September 2023

Pembimbing



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

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**PENGARUH PENAMBAHAN *HORIZONTAL RIBS* PADA STRUKTUR  
*HONEYCOMB* HASIL PROSES *ADDITIVE MANUFACTURING*  
TERHADAP KEKAKUAN *BENDING* KOMPOSIT**

**TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh :

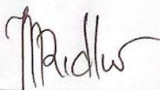
Nama : Muhammad Ali Kamarullah Fattah

No. Mahasiswa : 18525035


NIRM : 1803200062

Tim Penguji

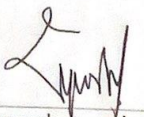
Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP  
Ketua

  
Tanggal: 11/10/2023

Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T. IPP.  
Anggota I

  
Tanggal: 11/10/2023

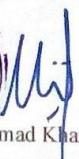
Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T  
Anggota II

  
Tanggal: 11/10/2023

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya bertanda tangan di bawah ini, Muhammad Ali Kamarullah Fattah selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “PENGARUH PENAMBAHAN *HORIZONTAL RIBS* PADA STRUKTUR *HONEYCOMB* HASIL PROSES *ADDITIVE MANUFACTURING* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING* KOMPOSIT” 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, 15 September 2023



Muhammad Ali Kamarullah Fattah  
(18525035)

## **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 Abdul Fattah dan Ibu saya Risti Novitasari) dan yang saya sayangi Nenek saya Misnah juga Tante saya Saibah 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**

"Ingat apa dan siapa yang membuat diri saya ada dan bertahan sampai saat ini."

## 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 *Horizontal Ribs* Pada Struktur *Honeycomb* Hasil Proses *Additive Manufacturing* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit”. 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:

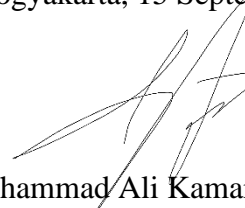
1. Allah SWT Rabb semesta alam, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Keluarga tercinta, Ayah Abdul Fattah, Ibu Risti Novitasari, Nenek Misnah dan Tante Saibah.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T. IPP., selaku Ketua Program Studi Teknik 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, 15 September 2023



Muhammad Ali Kamarullah Fattah  
(18525035)



## ABSTRACT

*The 3D printing technology has become extremely popular. However, the stiffness value of the products produced is still relatively low. Therefore, the idea emerged to seek alternative materials to enhance stiffness, one of which is by combining 3D printing technology with composite materials. Composite materials have several advantages over other materials, such as higher strength levels, better stiffness, lighter weight, and corrosion resistance based on the individual properties of the composite materials. The goal of this research is to measure the increase in stiffness values in bending test specimens created using 3D printing technology reinforced with honeycomb-shaped structures with variations of horizontal rib additions and coated with composites, specifically using carbon fiber on the upper surface, and compare it with specimens that do not have composite layers. This study is conducted using PLA-based 3D printing, which will print the test specimens. The specimens are printed with 100% gyroid infill, and the specimen dimensions are in accordance with ASTM C393 testing standards. The honeycomb-shaped structure on the specimens with added horizontal ribs, with variations of no ribs, one rib, and three ribs, is used to determine the effects on shape change and bending stiffness after bending testing. One of the variations of specimens without carbon fiber skin that has a high bending stiffness value after testing will undergo carbon fiber coating with a composite process to achieve higher strength.*

*Keywords: Composite, Honeycomb, Horizontal Ribs, Bending Test, Carbon Fiber, 3DPrinting Core.*

## ABSTRAK

Teknologi *3D printing* telah menjadi sangat populer. Meskipun demikian, nilai kekakuan dari produk yang dihasilkan masih relatif rendah. Oleh karena itu, muncul ide untuk mencari alternatif material guna meningkatkan kekakuan, salah satunya adalah dengan menggabungkan teknologi *3D printing* dengan material komposit. Material komposit memiliki sejumlah keunggulan yang berbeda dari material lain, seperti tingkat kekuatan yang lebih tinggi, kekakuan yang lebih baik, berat yang lebih ringan, serta ketahanan terhadap korosi berdasarkan dari sifat individu material komposit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur peningkatan nilai kekakuan pada uji *bending* spesimen yang dibuat dengan teknologi *3D printing* yang diperkuat dengan struktur berbentuk *honeycomb* dengan variasi penambahan *horizontal ribs* dan dilapisi dengan komposit, khususnya dengan menggunakan serat *carbon fiber* pada permukaan atas, serta membandingkannya dengan spesimen yang tidak memiliki lapisan komposit. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *3D printing* berbahan PLA yang akan mencetak spesimen uji. Spesimen dicetak dengan 100% *infill gyroid* dan dimensi spesimen sesuai dengan standar uji ASTM C393. Struktur pada spesimen berbentuk *honeycomb* yang ditambahkan *horizontal ribs* dengan variasi tanpa *ribs*, satu *ribs* dan tiga *ribs* untuk mengetahui nilai terhadap perubahan bentuk dan kekakuan *bending* setelah dilakukan pengujian *bending*. Salah satu variasi spesimen tanpa *skin carbon fiber* yang memiliki nilai kekakuan *bending* tinggi setelah dilakukan pengujian, akan dilakukan pelapisan *carbon fiber* dengan proses komposit untuk mendapatkan kekuatan yang lebih tinggi.

Kata kunci: Komposit, *Honeycomb*, *Horizontal Ribs*, Uji *Bending*, *Carbon Fiber*, *3D Printing Core*.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI Error! Bookmark not defined.	
PERNYATAAN KEASLIAN..... Error! Bookmark not defined.	
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iv
HALAMAN MOTTO .....	vi
KATA PENGANTAR DAN UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
ABSTRACT.....	ix
ABSTRAK .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR NOTASI .....	xvi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 <b>Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
1.2 <b>Rumusan Masalah.....</b>	<b>4</b>
1.3 <b>Batasan Masalah .....</b>	<b>4</b>
1.4 <b>Tujuan Penelitian.....</b>	<b>5</b>
1.5 <b>Manfaat Penelitian atau Perancangan.....</b>	<b>5</b>
1.6 <b>Sistematika Penulisan .....</b>	<b>5</b>
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 <b>Kajian Pustaka .....</b>	<b>7</b>
2.2 <b>Dasar Teori .....</b>	<b>8</b>
2.2.1 <b>Komposit .....</b>	<b>8</b>
2.2.2 <b>Komposit <i>Sandwich</i> .....</b>	<b>9</b>
2.2.3 <b>3D <i>Print</i> .....</b>	<b>12</b>
2.2.4 <b><i>Vacuum Infusion</i> .....</b>	<b>13</b>
2.2.5 <b>Pengujian <i>Bending</i> .....</b>	<b>14</b>
2.2.6 <b>Modus Kegagalan Pengujian <i>Bending</i> Komposit.....</b>	<b>16</b>

<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>17</b>
3.1 Alur Penelitian.....	17
3.2 Peralatan dan Bahan.....	18
3.3 Dimensi Spesimen <i>Bending</i> .....	26
3.4 Proses Pengerjaan .....	28
3.4.1 Pembuatan Core Dengan Mesin 3D <i>Print</i> .....	28
3.4.2 Susunan Lapisan <i>Vacuum Infusion</i> .....	31
3.4.3 Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	31
3.4.4 Hasil Proses Pengerjaan .....	35
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>36</b>
4.1 Pengujian <i>Bending</i> .....	36
4.2 Hasil Pengujian.....	37
4.3 Analisis dan Perhitungan.....	39
4.3.1 Analisis Modus Kegagalan <i>Core Tanpa Skin</i> .....	39
4.3.2 Analisis Modus Kegagalan <i>Core Dengan Skin</i> .....	40
4.4 Perhitungan .....	41
4.5 Pembahasan.....	42
4.5.1 Kekakuan <i>Bending</i> .....	42
4.5.2 Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik .....	43
4.5.3 Tegangan <i>Bending</i> .....	44
4.5.4 Presentase Kenaikan Kekakuan <i>Bending</i> .....	45
4.5.5 Presentase Kenaikan Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik .....	46
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>	<b>47</b>
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>48</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>51</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Tabel parameter dan waktu pembuatan <i>core 3D print</i> .....	29
Tabel 3-2 Hasil perhitungan dimensi awal spesimen sebelum dilakukan proses <i>vacuum infusion</i> .....	30
Tabel 4-1 Data hasil pengujian <i>bending</i> .....	38
Tabel 4-2 Perbandingan spesimen setelah proses <i>vacuum infusion</i> .....	38
Tabel 4-3 Hasil perhitungan <i>bending</i> spesimen .....	41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Struktur komposit sandwich .....	9
Gambar 2-2 Serat karbon .....	10
Gambar 2-3 Struktur <i>honeycomb</i> .....	11
Gambar 2-4 Mesin <i>3D print</i> .....	13
Gambar 2-5 Metode <i>vacuum infusion</i> .....	13
Gambar 2-6 Pengujian <i>bending</i> .....	14
Gambar 2-7 Jenis kegagalan <i>bending</i> .....	16
Gambar 3-1 Alur penelitian .....	17
Gambar 3-2 <i>3D printing</i> .....	18
Gambar 3-3 Filamen PLA .....	18
Gambar 3-4 Pompa <i>vacuum</i> .....	18
Gambar 3-5 Tabung <i>reservoir</i> .....	19
Gambar 3-6 Timbangan .....	19
Gambar 3-7 Katup bensin .....	20
Gambar 3-8 <i>Vacuum bag</i> .....	20
Gambar 3-9 <i>Infusion mesh</i> .....	20
Gambar 3-10 <i>Peel ply</i> .....	21
Gambar 3-11 Selang .....	21
Gambar 3-12 Selang spiral .....	21
Gambar 3-13 Sealent tape .....	22
Gambar 3-14 Serat karbon .....	22
Gambar 3-15 Lem ALF <i>epoxy adhesive</i> .....	23
Gambar 3-16 Resin <i>epoxy</i> .....	23
Gambar 3-17 <i>Hardener</i> .....	23
Gambar 3-18 Jangka sorong .....	24
Gambar 3-19 Gunting .....	24
Gambar 3-20 Gelas plastik dan stick .....	24
Gambar 3-21 Lem <i>silicone</i> .....	25
Gambar 3-22 Dimensi spesimen uji <i>bending core 10 mm</i> .....	26
Gambar 3-23 Spesimen <i>honeycomb</i> tanpa <i>horizontal ribs</i> .....	27

Gambar 3-24 Spesimen <i>honeycomb</i> 1 <i>horizontal ribs</i> .....	27
Gambar 3-25 Spesimen <i>honeycomb</i> 3 <i>horizontal ribs</i> .....	27
Gambar 3-26 Hasil penentuan parameter dan waktu 3D <i>printing fused filament fabrication</i> (FFF) pada spesimen A1 .....	28
Gambar 3-27 Hasil penentuan parameter dan waktu 3D <i>printing fused filament fabrication</i> (FFF) pada spesimen A2 .....	28
Gambar 3-28 Hasil penentuan parameter dan waktu 3D <i>printing fused filament fabrication</i> (FFF) pada spesimen A3 .....	29
Gambar 3-29 Proses pembuatan <i>core &amp; ribs</i> .....	30
Gambar 3-30 Susunan lapisan <i>vacuum infusion</i> .....	31
Gambar 3-31 Susunan komposit .....	31
Gambar 3-32 Pemasangan selang spiral .....	32
Gambar 3-33 Pelapisan lem ALF <i>epoxy adhesive</i> .....	32
Gambar 3-34 Memasukkan bahan kedalam <i>vacuum bag</i> .....	33
Gambar 3-35 Proses pencampuran.....	33
Gambar 3-36 Proses <i>vacuum infusion</i> .....	34
Gambar 3-37 Hasil <i>vacuum infusion</i> .....	34
Gambar 3-38 Spesimen tanpa <i>skin carbon fiber</i> .....	35
Gambar 3-39 Spesimen dengan <i>skin carbon fiber</i> .....	35
Gambar 4-1 Proses pengujian <i>three point bending</i> .....	36
Gambar 4-2 Hasil pengujian tanpa <i>skin</i> .....	37
Gambar 4-3 Hasil pengujian dengan <i>skin carbon fiber</i> .....	37
Gambar 4-4 Spesimen tanpa <i>horizontal ribs</i> dan tanpa <i>skin</i> .....	39
Gambar 4-5 Spesimen 1 <i>horizontal ribs</i> tanpa <i>skin</i> .....	39
Gambar 4-6 Spesimen 3 <i>horizontal ribs</i> tanpa <i>skin</i> .....	40
Gambar 4-7 Spesimen 3 <i>horizontal ribs</i> dengan <i>skin</i> .....	40
Gambar 4-8 Grafik kekakuan <i>bending</i> .....	42
Gambar 4-9 Grafik kekakuan <i>bending</i> spesifik .....	43
Gambar 4-10 Grafik tegangan <i>bending</i> maksimal .....	44
Gambar 4-11 Grafik presentase kekakuan <i>bending</i> spesifik.....	45
Gambar 4-12 Grafik presentase kekakuan <i>bending</i> spesifik.....	46

## DAFTAR NOTASI

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



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan era ini, perkembangan teknologi telah berlangsung dengan cepat dan memberikan dampak yang signifikan terhadap industri manufaktur global. Salah satu kategori material yang populer dalam pembuatan berbagai kendaraan, seperti mobil, motor, kapal laut, dan pesawat, adalah komposit. Komposit adalah jenis material yang terdiri dari dua atau lebih komponen yang memiliki karakteristik yang berbeda dari masing-masing bahan penyusunnya (Prayoga, 2018).

Komposit *sandwich* adalah tipe material yang dibentuk oleh dua material dengan sifat mekanik yang berbeda, yang dihasilkan melalui proses pencampuran. Struktur komposit *sandwich* sendiri terdiri dari dua komponen utama yaitu lapisan luar yang disebut *skin* dan lapisan tengah yang disebut *core*. Salah satu ciri khas utama dari komposit *sandwich* adalah keberadaan *core* yang ringan, sehingga mengurangi massa jenis total dari bahan tersebut. Sementara itu, lapisan *skin* memberikan kekuatan struktural pada komposit *sandwich*, memastikan ketahanan dan kekuatan keseluruhan material tersebut (Setiyawan et al., 2020). Salah satu keunggulan utama dari komposit adalah kemampuannya untuk menciptakan produk dengan dimensi yang relatif besar, terutama dengan ukuran yang melebihi 1000mm. Material komposit yang banyak digunakan dalam pembuatan produk modern melibatkan penggunaan *matriks* polimer yang diperkuat dengan serat seperti *fiberglass*, serat *carbon*, dan serat *carbon kevlar*.

Dalam situasi di mana produk memiliki dimensi besar, seringkali diperlukan penambahan lapisan inti atau *core* untuk meningkatkan kekakuan produk tersebut. Ini dikenal sebagai komposit *sandwich*, di mana inti yang ditambahkan bertujuan untuk meningkatkan kekakuan produk. Namun, tidak semua produk dapat menggunakan pendekatan komposit *sandwich*, terutama pada produk tertutup yang bagian dalamnya tidak dapat dilapisi dengan lapisan *skin* komposit.

Meskipun komposit *sandwich* memiliki keunggulan tertentu, seperti ringannya, kekurangannya terletak pada tingkat kekakuan yang masih rendah serta biaya produksi yang tinggi karena memerlukan dua lapisan *skin* di atas dan di bawah. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan inovasi dalam pengembangan material komposit yang lebih kaku dan efisien dari segi biaya. Salah satu ide inovatif adalah menambahkan *ribs* atau rusuk pada inti *core* material, terinspirasi dari struktur bangunan bertingkat yang dikenal memiliki tingkat kekakuan yang baik. *Ribs* yang dibentuk dalam bentuk sarang lebah (*honeycomb*) memberikan kekakuan yang optimal karena saling terkait erat. Penambahan *ribs* pada *core* ini memberikan potensi untuk meningkatkan geometri dan sifat mekanik produk secara keseluruhan. Selain itu, dengan menggunakan hanya satu sisi untuk lapisan *skin* produk, dapat mengurangi biaya produksi sehingga membuatnya lebih ekonomis dibandingkan dengan komposit *sandwich* konvensional.

Pengujian *bending* tiga titik merupakan sebuah metode eksperimental yang digunakan untuk mengevaluasi resistensi material terhadap gaya lentur. Dalam metode ini, benda berada pada dua titik *support* pada ujungnya dan diberi beban di titik tengahnya. Hal ini memungkinkan kita untuk memahami respons material terhadap gaya lentur dan mengukur karakteristik penting seperti modulus elastisitas dan kekuatan lentur. Pengujian ini memiliki signifikansi yang besar dalam penelitian material karena memberikan wawasan mendalam mengenai karakteristik mekanis material tersebut. Informasi ini menjadi kunci dalam pemilihan material yang sesuai untuk aplikasi tertentu serta dalam upaya pengembangan material baru yang memiliki kinerja yang lebih baik. Dalam konteks analisis struktural, pengujian *bending* tiga titik digunakan untuk mengukur parameter-parameter yang sangat penting seperti momen lentur dan distribusi tegangan dalam struktur. Hal ini memiliki peran yang sangat penting dalam perancangan struktur yang memiliki kekuatan dan keamanan yang memadai. Namun hasil pengujian ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk geometri dari benda yang diuji, kondisi lingkungan saat pengujian dilakukan, dan metode pengujian yang digunakan.

Distribusi tegangan mengacu pada cara tegangan didistribusikan di seluruh objek yang mengalami proses *bending*. Konsep mendasar dalam analisis tegangan

adalah Hukum Hooke, yang secara matematis menggambarkan hubungan linier antara tegangan dan regangan dalam material elastis tertentu. Dalam pengujian bending, pemahaman terhadap prinsip ini memiliki peran penting dalam interpretasi perilaku material ketika dikenai beban. Sementara itu, momen lentur (*bending moment*) dan gaya geser (*shear force*) adalah elemen-elemen krusial dalam analisis distribusi tegangan saat pengujian bending dilakukan. Momen lentur mengindikasikan momen yang menciptakan pembengkokan pada objek, sementara gaya geser terjadi atas pergeseran material dalam benda tersebut. Penelitian sebelumnya telah mengungkapkan bahwa distribusi tegangan maksimum pada pengujian bending dapat terjadi pada titik-titik berbeda di dalam objek. Oleh karena itu, mengidentifikasi lokasi dan intensitas tegangan maksimum ini menjadi fokus dalam analisis mengenai kekuatan dan keandalan suatu struktur. Beberapa faktor yang memiliki pengaruh terhadap distribusi tegangan dalam pengujian bending meliputi geometri objek, jenis material yang digunakan, dan kondisi batas tertentu. Memahami bagaimana interaksi antara faktor-faktor ini berlangsung akan berperan dalam perancangan struktur yang memiliki tingkat kekuatan dan efisiensi yang lebih tinggi.

*Fused Deposition Modeling* (FDM) adalah salah satu teknologi 3D *print* yang paling populer dan banyak digunakan saat ini. FDM menggunakan berbagai jenis bahan filamen, seperti *Polyethylene Terephthalate* (PET), *Polylactic Acid* (PLA), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), dan lain sebagainya. Keberagaman jenis filamen ini memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam pemilihan material ketika mencetak produk 3D. Proses 3D *print* ini memungkinkan pembuatan produk dengan cepat, bentuk yang kompleks, dan relatif terjangkau secara ekonomi. Oleh karena itu, para peneliti tertarik untuk terus meningkatkan sifat-sifat mekanik produk yang dihasilkan melalui teknologi 3D *printing* ini.

Serat karbon (*carbon fiber*) telah menjadi pilihan utama sebagai material penguat dalam komposit *sandwich* karena memiliki keunggulan luar biasa dalam rasio kekuatan terhadap beratnya, sehingga ringan namun sangat kuat. Dalam proses 3D *printing*, struktur *gyroid* dipilih sebagai *infill* karena memiliki sifat mekanik yang optimal saat menghadapi beban *bending*. Penggabungan kekuatan serat karbon pada lapisan *skin* dengan inti yang diperkuat oleh *ribs* berstruktur

*gyroid* bertujuan untuk menciptakan komposit *sandwich* dengan sifat mekanik yang unggul dan lebih tinggi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka masalah yang akan dirumuskan penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penambahan *horizontal ribs* pada spesimen *honeycomb* dengan menggunakan serat *carbon fiber* dan tanpa menggunakan serat *carbon fiber* terhadap nilai kekakuan *bending*?
2. Bagaimana perbedaan dimensi pada spesimen sebelum dan sesudah dilakukan komposit?
3. Bagaimana analisis kegagalan yang terjadi pada spesimen setelah pengujian *bending*?

## 1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Pengujian mekanik yang dilakukan dengan menggunakan standar ASTM C393.
2. Jenis material *core* yang diteliti adalah PLA dengan *skin* serat *carbon* menggunakan metode *vacuum infusion*.
3. Pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D *print* dengan *infill* 100% dan *fill pattern gyroid*.
4. Tebal *core* PLA yang digunakan yaitu 2 mm sebagai *core* dan 8 mm sebagai *ribs honeycomb* dengan satu lapis *skin* serat *carbon fiber* pada bagian atas.
5. Spesimen yang akan dilapisi *carbon fiber* adalah 1 spesimen yang memiliki nilai kekakuan *bending* tertinggi dari hasil uji *bending*.
6. Lapisan *skin* menggunakan *carbon fiber*.
7. Pengujian yang dilakukan hanya menggunakan pengujian *bending*.

8. Pengujian *bending* dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan peneliti melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengukur nilai kekakuan *bending* terhadap spesimen *honeycomb* dengan penambahan *horizontal ribs* dan dilapisi komposit sebagai *skin* menggunakan serat *carbon fiber* pada bagian atas dan tanpa menggunakan lapisan *skin carbon fiber*.
2. Menguji perbedaan dimensi spesimen sebelum dan sesudah dilakukan komposit.
3. 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 *horizontal ribs* dan *skin carbon fiber* terhadap kekuatan *bending* pada produk tertutup
2. Mengidentifikasi perubahan yang signifikan pada nilai *kekakuan bending* dengan penambahan *horizontal ribs*.
3. Mengetahui bagaimana proses pembuatan komposit *carbon fiber* dengan menggunakan metode *vacuum infusion*.
4. Memberikan efisiensi dalam penggunaan material dan pengurangan biaya produksi.
5. Berpotensi digunakan pada produk yang tertutup dimana hanya menggunakan satu sisi sebagai lapisan penguat *carbon fiber*.

## **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 digunakan sebagai dasar penelitian membahas *wet hand lay up* dengan komposit hasil VARI (*vacuum assisted resin infusion*) dilakukan oleh (Priambodo & Chriswadyanto, 2019). Pengaruh metode manufaktur komposit untuk meningkatkan sifat mekanik komposit berpenguat serat telah dikaji. Secara umum dari data pengujian mekanik dan pengujian fisik komposit diketahui bahwa komposit *glass/poliester* dengan manufaktur VARI memiliki keunggulan kekuatan tarik dan kekuatan *bending* daripada komposit yang sama dengan manufaktur *hand lay up*. Adapun komposit berpenguat serat *aramid* meskipun dimanufaktur menggunakan metode VARI, terbukti memiliki kekuatan tarik sedikit lebih tinggi namun kekuatan *bending* yang jauh lebih rendah daripada komposit *glass/poliester* dengan manufaktur *hand lay up*. Dengan demikian manufaktur komposit *glass/poliester* dapat dijadikan alternatif sebagai penyusun komponen *propeller dome* pesawat C130H.

Kajian pustaka kedua mengulas "Analisis Uji *Bending* Komposit *Sandwich* yang digabungkan dengan 3D *printing*" oleh (Izma Y, 2021). Penelitian ini mengevaluasi uji *bending* pada komposit *sandwich* yang menggunakan metode *hand layup* dengan *infill* pada *core 3D print*, dengan variasi *infill* 10% dan 20%. Hasilnya menunjukkan bahwa komposit

*sandwich* dengan *infill* 20% memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan yang memiliki *infill* 10%.

Kajian pustaka ketiga mengaitkan pengaruh orientasi 3D *print* dan jenis material *core* komposit *sandwich* terhadap kekakuan *bending*. Penelitian ini bertujuan untuk memahami dampak variasi orientasi cetakan ( $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$ ) terhadap kekakuan *bending* antara *core gyroid* dan serat karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekakuan spesifik tidak berbeda jauh antara jenis spesimen *nonskin*, tetapi pada spesimen dengan *skin*, orientasi  $45^\circ$  menghasilkan nilai kekakuan yang tertinggi.

Kajian pustaka keempat membahas "Pengaruh Variasi Ketebalan *Core* terhadap Karakteristik Bending Komposit *Sandwich* Serat *Cantula* dengan *Core Honeycomb* Tipe *A-flute*" oleh (Mutasiana, 2014). Penelitian ini menguji karakteristik *bending* komposit *sandwich* serat *cantula* dengan variasi ketebalan *core* kardus tipe *BC-Flute*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan *core* mempengaruhi tegangan *bending*, tegangan geser *core*, dan tegangan *bending* pada permukaan, dengan nilai tertinggi pada ketebalan *core* 10 mm.

Kajian pustaka kelima membahas "Kaji Eksperimental Sifat Mekanik *Honeycomb Sandwich* Komposit Serat Karbon dengan Uji *Bending*" oleh (Marsono, 2021). Penelitian ini fokus pada panel *sandwich honeycomb* yang terbuat dari komposit serat karbon dan diuji *bending* untuk menentukan kekuatan lentur dan kekakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen dengan 2 lapis serat karbon dan resin epoksi yang dipanaskan memiliki kekuatan lentur tertinggi dan juga kekakuan lentur tertinggi dalam penelitian tersebut.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Komposit**

Komposit adalah jenis material yang terdiri dari dua atau lebih material yang terikat secara makroskopis. Komposit memiliki dua komponen utama yang penting dalam komposisinya. Pertama, ada *matriks* yang bertindak

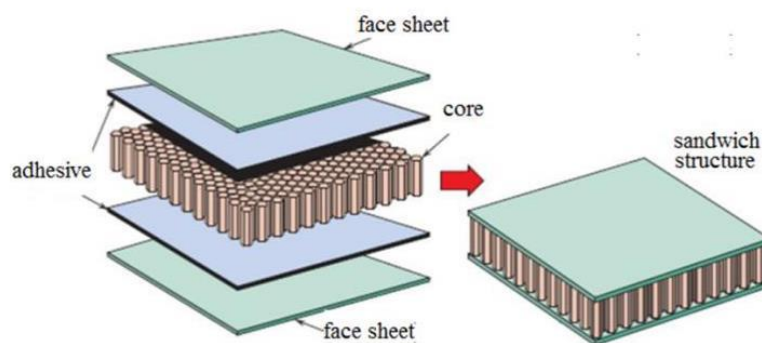


sebagai pengikat, seperti resin epoksi. Kedua, terdapat *filler* yang berfungsi sebagai penguat, seperti serat karbon atau *fiberglass*. Karakteristik dari komposit sangat dipengaruhi oleh jenis *filler* yang digunakan. Misalnya, serat karbon digunakan sebagai penguat untuk meningkatkan keuletan, kekuatan, kekakuan, kelenturan, dan sifat mekanik lainnya dari komposit tersebut. (Pramono et al., 2019)

Komposit berpenguat serat menunjukkan tingkat kekuatan yang lebih unggul daripada komposit yang mengandalkan partikel sebagai penguatnya. Pada komposit berpenguat serat, komposisi dasarnya terdiri dari serat-serat sebagai bahan penguat, dan biasanya, *matriks* polimer, seperti resin, digunakan sebagai pengikatnya. Selain sebagai pengikat, *matriks* ini juga berperan sebagai pengisi volume dan berfungsi untuk melindungi serat-serat tersebut.

### 2.2.2 Komposit *Sandwich*

Komposit berpenguat serat memiliki keunggulan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit yang mengandalkan partikel sebagai bahan penguat. Dalam komposit berpenguat serat, komposisi dasarnya terdiri dari serat-serat sebagai bahan penguat, sementara biasanya, *matriks* polimer seperti resin berfungsi sebagai pengikat. Fungsi *matriks* ini bukan hanya sebagai pengikat, melainkan juga sebagai pengisi volume serta sebagai pelindung terhadap serat-serat tersebut. (A. Hidayat et al., 2016).



Gambar 2-1 Struktur komposit sandwich

(Sumber Foto: [mdpi.com](http://mdpi.com))

Penggunaan *core* dalam komposit bertujuan untuk meningkatkan sifat mekaniknya, menjadikannya lebih kuat, kaku, dan tangguh dibandingkan dengan komposit tanpa *core*.

Struktur *sandwich* yang terdiri dari lapisan *skin* berperan sebagai penutup atau pelindung terhadap *core* dalam konstruksi komposit *sandwich*. Untuk menerapkan metode ini, lapisan *skin* harus ditempatkan secara erat pada *core*, dan pengikat yang biasanya digunakan adalah resin epoxy bersama dengan *hardener* untuk menjaga keduanya melekat dengan kuat.

### 2.2.2.1 *Skin*

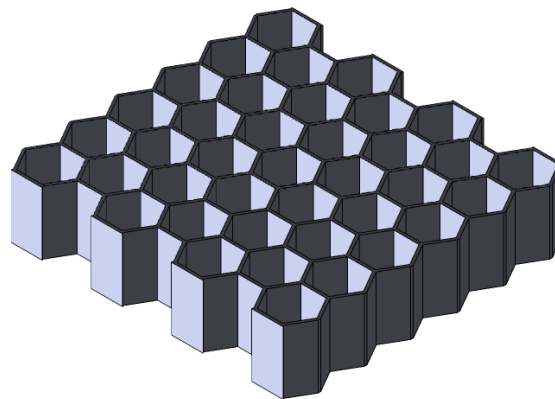
*Skin* adalah komponen yang sangat krusial dalam struktur komposit *sandwich*, berada pada lapisan yang melapisi *core*. *Skin* memiliki beberapa fungsi, termasuk menahan tegangan tarik (*tensile stress*) dan tegangan tekan (*compressive stress*) dalam struktur tersebut. Namun, seringkali *skin* memiliki tingkat kekuatan yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan komponen lainnya. Terdapat berbagai jenis material yang dapat digunakan sebagai bahan untuk pembuatan *skin*, termasuk aluminium, baja, logam, polimer, dan *stainless steel*. (Nugroho, 2011).



Gambar 2-2 Serat karbon

### 2.2.2.2 Core

Struktur *honeycomb* merupakan bentuk geometris yang optimal untuk memanfaatkan setiap bagian unit secara maksimal. Keunikan dari bentuk *honeycomb* yang simetris adalah kemampuannya untuk menghasilkan kombinasi ruang yang sempurna tanpa menyisakan ruang yang tidak berguna, seperti yang terjadi pada bentuk-bentuk dengan penampang lingkaran atau segilima. Selain itu, bahan baku yang diperlukan untuk menciptakan struktur penampang *honeycomb* ternyata lebih efisien daripada yang dibutuhkan untuk membuat bentuk lainnya. (Meiwandari & Sriyanti, 2019)



Gambar 2-3 Struktur *honeycomb*

### 2.2.2.3 Matriks

*Matriks* memainkan peran penting dalam menyatukan lapisan *skin* dan *core* dalam komposit *sandwich*. *Matriks* adalah bahan pengikat yang menghubungkan dan menjaga integritas antara *skin* dan *core*. Secara umum, *matriks* memiliki sifat elastisitas yang lebih rendah dan kekakuan yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan penguat lainnya dalam komposit tersebut. (A. Hidayat et al., 2016).

*Matriks* adalah komponen utama dalam sebuah material komposit yang memiliki peran penting dalam meningkatkan sifat mekaniknya. Selain menjadi bahan dasar, *matriks* juga diharapkan memiliki kemampuan yang baik dalam mengikat *reinforcement*. Secara umum, *matriks* berasal dari

bahan sintetis. Salah satu jenis komposit yang sering digunakan adalah *Polymer Matrix Composite*, yang merupakan komposit polimer yang diperkuat dengan serat. Polimer dalam komposit ini dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama:

#### 1. *Thermoset*

*Thermoset* merupakan jenis polimer yang menunjukkan sifat ketidakmampuan untuk mengalami perubahan suhu. Setelah mengalami proses pengerasan, polimer ini menjadi tidak dapat mengembang kembali. Pemanasan pada suhu yang tinggi dapat mengakibatkan kerusakan pada polimer tersebut, menyebabkan pembentukan arang dan dekomposisi polimer tersebut. Beberapa contoh dari polimer *thermoset* meliputi resin *epoxy* dan *polyester*.

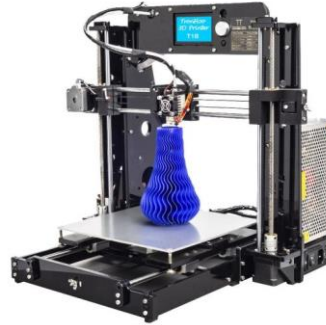
#### 2. *Thermoplastic*

*Thermoplastic* pada umumnya, berperan sebagai bahan penguat dalam industri plastik. Jenis plastik ini ditandai oleh adanya ikatan linear antara monomer-monomernya, sehingga stabilitas struktur kimianya cenderung rendah. *Thermoplastic* adalah jenis plastik yang mampu menyesuaikan diri dengan perubahan suhu. Beberapa contoh dari *thermoplastic* mencakup resin *polyethylene* (PE), resin *polystyrene* (PS), dan resin *polypropylene* (PP).

### **2.2.3 3D Print**

*Additive Layer Manufacturing*, yang juga dikenal sebagai *3D printing*, adalah salah satu teknologi yang memiliki peran yang signifikan dalam pembuatan objek tiga dimensi. Teknologi *3D Printing* mampu digunakan untuk mencetak berbagai jenis objek, termasuk model, prototipe, desain produk, mainan anak-anak, peralatan medis, dan perhiasan. Dalam perkembangan teknologi informasi dan komunikasi saat ini, *3D printing* telah menjadi salah satu tren utama, sejalan dengan meningkatnya kebutuhan manusia yang semakin modern (K. S. Putra & Sari, 2018). Mesin *3D printing*

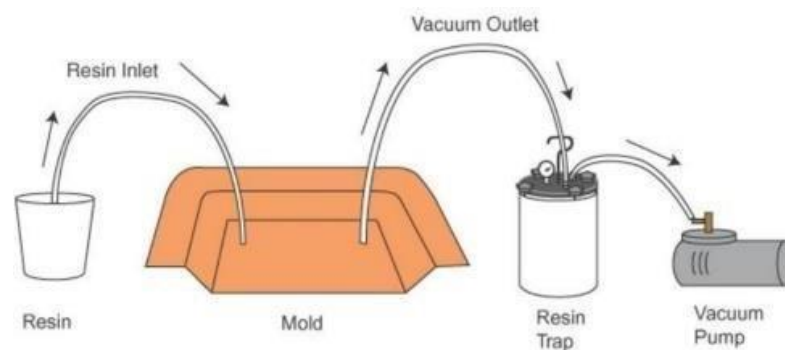
bekerja dengan prinsip yang mirip dengan *printer* laser, dimana objek dibentuk secara bertahap dengan mencetak sejumlah lapisan di atas lapisan sebelumnya.



Gambar 2-4 Mesin 3D print

## 2.2.4 Vacuum Infusion

*Vacuum Infusion* adalah salah satu metode yang digunakan dalam proses pembuatan material komposit dengan memanfaatkan tekanan vakum. Metode *Vacuum Infusion* dapat dianggap sebagai jenis cetakan tertutup karena cetakan tersebut akan diselubungi oleh plastik *bag* yang kemudian diikat dengan pita perekat (*sealing tape*) untuk menciptakan tekanan vakum dalam cetakan tersebut. Tekanan vakum ini bertujuan untuk meminimalkan atau mengurangi kemungkinan terjadinya gelembung udara yang terperangkap dalam cetakan, sementara resin akan mengisi cetakan dengan baik tanpa kelebihan (S. Hidayat, 2020). Dibandingkan dengan metode *hand lay-up* dan *vacuum bagging*, metode *vacuum infusion* memiliki konsentrasi penguatan yang lebih tinggi dan adhesi yang lebih baik antara lapisan-lapisan komposit.



Gambar 2-5 Metode *vacuum infusion*

Metode *Vacuum Infusion* memiliki sejumlah keunggulan dalam proses pembuatannya, seperti tidak memerlukan banyak tenaga manusia, mampu meningkatkan kekuatan hasil komposit, dan menghasilkan penyebaran resin yang lebih merata selama proses pembuatan komposit. Namun, perlu diperhatikan bahwa metode ini juga memiliki kelemahan dalam hal biaya peralatan produksi yang bisa cukup mahal. (S. W. E.Utomo, 2020).

### 2.2.5 Pengujian Bending

Uji lengkung (*Bending Test*) adalah suatu proses yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan keuletan suatu material dalam menahan beban tertentu. Selama proses ini, beban diberikan hingga mencapai titik maksimal untuk memantau perubahan bentuk (deformasi) yang terjadi. Hasil dari pengujian ini memiliki tujuan utama untuk mengevaluasi kualitas suatu material dan menentukan apakah material tersebut cocok untuk digunakan dalam aplikasi tertentu.

Kekuatan *bending* suatu material dipengaruhi oleh jenis material itu sendiri serta metode pembebanan yang digunakan. Ketika suatu benda mengalami tekanan atau lenturan, bagian atasnya akan mengalami tekanan sedangkan bagian bawahnya mengalami tegangan tarik. Untuk material komposit, biasanya, kekuatan tekanannya lebih tinggi daripada kekuatan tariknya. (Aprillio, 2022).



Gambar 2-6 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 (2.3)

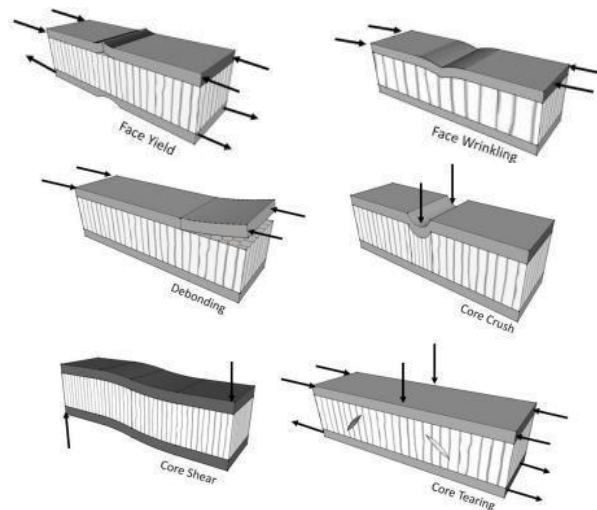
$$D. Spesifik = D/W$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas <i>bending</i>	(N/mm <sup>2</sup> )
P = Beban yang diberikan	(N)
H = Tebal spesimen	(mm)
b = Lebar spesimen	(mm)
W = Berat spesimen	(gram)
L = Jarak point	(mm)
δ = Defleksi	(mm)
I = Momen inersia	(kgm)
D = Kekakuan Bending	(Nmm <sup>2</sup> )

## 2.2.6 Modus Kegagalan Pengujian Bending Komposit

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 2-7 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).

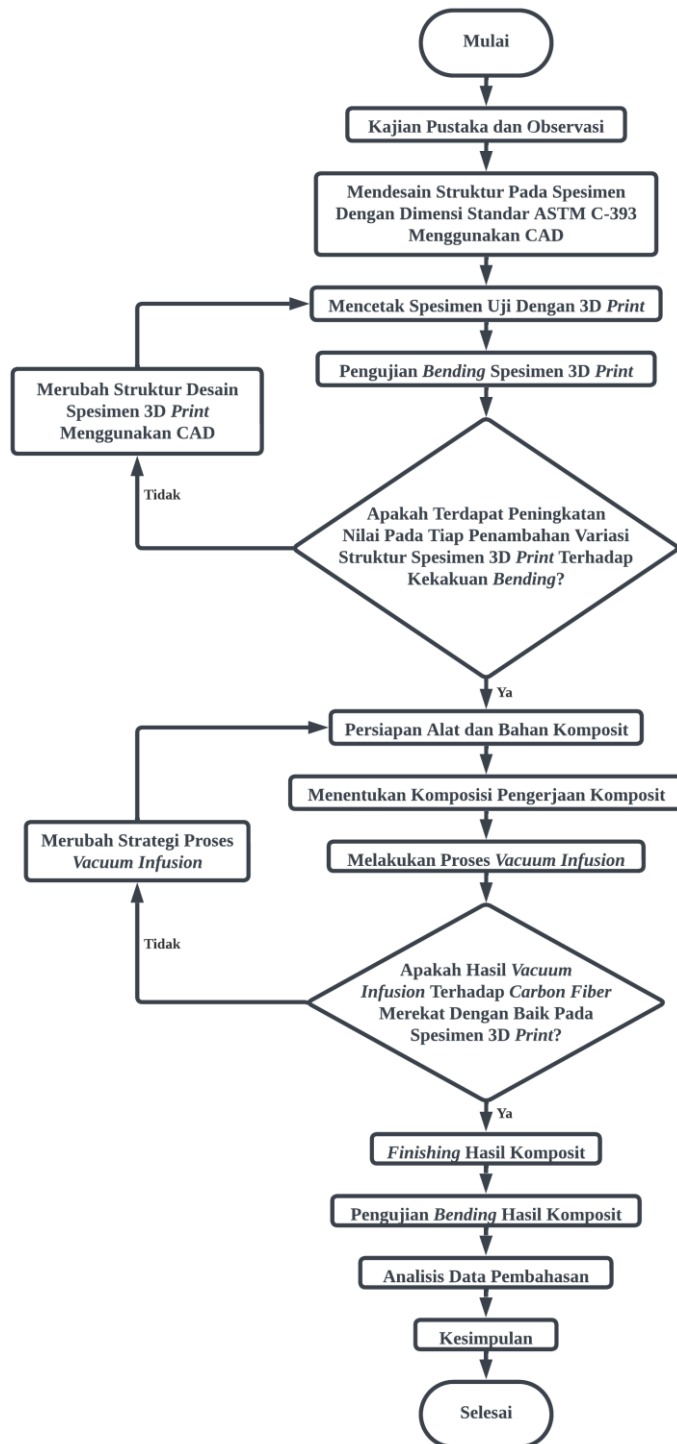
Pada kegagalan *core* terdapat 4 jenis kegagalan, dimana pada kegagalan *debonding* merupakan kegagalan yang terjadi pada lapisan *skin* yang terlepas dari bagian *core* spesimen. Kemudian *core crush* merupakan kegagalan yang terjadi karena adanya perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen. Untuk 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

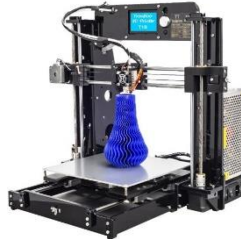


Gambar 3-1 Alur penelitian

## 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 *core* 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 *core* 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. Vacuum Pump

Pada gambar 3-4 adalah *vacuum pump* yang bermerk Krisbow dengan tenaga sebesar ½ HP. Befungsi sebagai penghisap udara pada saat proses *vacuum infusion* dilakukan.



Gambar 3-4 Pompa *vacuum*

#### 4. Tabung *Reservoir* (*Catch Pot*)

Pada gambar 3-5 dibawah ini merupakan tabung *reservoir* (*catch pot*) memiliki 2 *input* yang berfungsi sebagai tempat menampung sisa dari resin saat resin mengisi cetakan yang sudah di vakumkan serta untuk mencegah sisa resin memasuki pompa yang bisa menyebabkan kerusakan pada pompa dan juga dapat membaca tekanan saat melakukan proses *vacuum*.



Gambar 3-5 Tabung *reservoir*

#### 5. Timbangan

Pada gambar 3-6 merupakan timbangan yang berfungsi untuk menakar campuran eposksi dan *hardener*. Dan juga diperlukan untuk menimbang berat spesimen sebelum dilapisi komposit dan sesudah dilapisi komposit.



Gambar 3-6 Timbangan

## 6. Katup Bensin

Pada gambar 3-7 dibawah ini merupakan katup bensin yang berfungsi sebagai pembuka dan penutup untuk saluran udara dari cetakan.



Gambar 3-7 Katup bensin

## 7. Vacuum Bag

Pada gambar 3-8 dibawah ini merupakan *vacuum bag* yang berfungsi sebagai tempat diletakkannya spesimen komposit yang akan dilakukan proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-8 Vacuum bag

## 8. Infusion Mesh

Pada gambar 3-9 dibawah ini merupakan *infusion mesh* yang berfungsi untuk mempercepat penyebaran percampuran aliran resin dan hardener agar segera memenuhi bagian dari spesimen.



Gambar 3-9 Infusion mesh

### 9. Peel Ply

Pada gambar 3-10 dibawah ini merupakan *peel ply* yang berfungsi sebagai pembatas antara *Infusion Mesh* dengan serat karbon agar pada saat proses pelepasan spesimen dapat dilepas dengan mudah.



Gambar 3-10 *Peel ply*

### 10. Selang

Pada gambar 3-11 dibawah ini merupakan selang yang berfungsi untuk mengalirkan resin dari wadah kedalam plastik *vacuum* dan sebagai saluran *vacuum* pada *vacuum pump* ke *reservoir trap*.



Gambar 3-11 Selang

### 11. Selang Spiral

Pada gambar 3-12 dibawah ini merupakan selang spiral yang berfungsi sebagai jalur resin agar menyebar memenuhi bagian yang harus terkena resin.



Gambar 3-12 Selang spiral

## 12. Sealent Tape

Pada gambar 3-13 merupakan *sealent tape* yang berfungsi sebagai perekat plastik *vacuum* agar tidak terjadi kebocoran pada proses *vacuum infusion*. Cara kerjanya yaitu sama seperti *double tape*.



Gambar 3-13 Sealent tape

## 13. Serat Karbon

Pada gambar 3-14 dibawah ini merupakan serat *carbon fiber fabric* 3k 2x2 200gsm *plain & twill* berfungsi sebagai *skin* pada penelitian ini.



Gambar 3-14 Serat karbon

## 14. Lem ALF Epoxy Adhesive

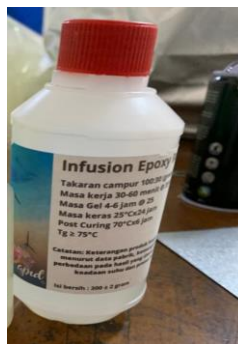
Pada gambar 3-15 merupakan lem ALF Epoxy Adhesive yang berfungsi sebagai perekat antara *core 3D printing* dan serat karbon. Tujuannya agar serat karbon lebih menempel pada *core*.



Gambar 3-15 Lem ALF *epoxy adhesive*

#### 15. Resin *Epoxy*

Pada gambar 3-16 dibawah ini merupakan resin *epoxy*. Resin *epoxy* adalah senyawa kimiawi yang dihasilkan dari proses polimerisasi epoksida. Berfungsi sebagai media perekat antara lapisan *skin* (serat karbon) dengan *core* (spesimen).



Gambar 3-16 Resin *epoxy*

#### 16. *Hardener*

Pada gambar 3-17 dibawah ini merupakan *hardener* berfungsi dapat membantu mempercepat proses pengerasan pada epoksi.



Gambar 3-17 *Hardener*

### 17. Jangka Sorong

Pada gambar 3-18 dibawah ini merupakan jangka sorong yang berfungsi sebagai alat untuk mengukur ketebalan, lebar spesimen sebelum dilapisi *skin* dan setelah dilapisin *skin*.



Gambar 3-18 Jangka sorong

### 18. Gunting

Pada gambar 3-19 dibawah ini merupakan gunting yang berfungsi untuk membuka spesimen setelah proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-19 Gunting

### 19. Gelas Plastik dan Stik Pengaduk

Pada gambar 3-20 dibawah ini merupakan gelas plastik dan stik pengaduk yang berfungsi untuk tempat mencampurkan resin *epoxy* dengan *hardener*.



Gambar 3-20 Gelas plastik dan stick



## 20. Lem *Silicone*

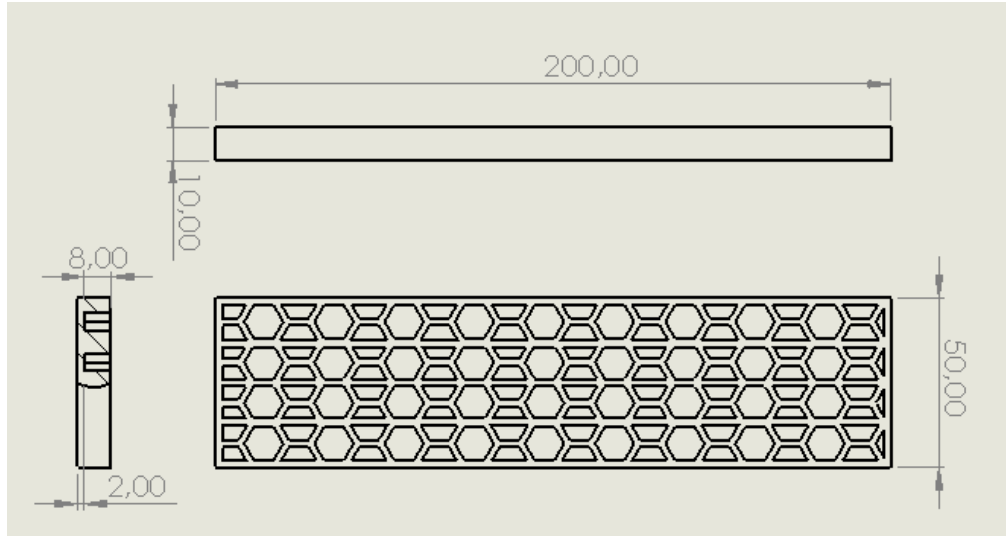
Pada gambar 3-21 dibawah ini adalah lem *silicone* sebagai pelindung dari resin pada saat proses *vacuum* sehingga tidak masuk ke dalam rongga *honeycomb*.



Gambar 3-21 Lem *silicone*

### 3.3 Dimensi Spesimen *Bending*

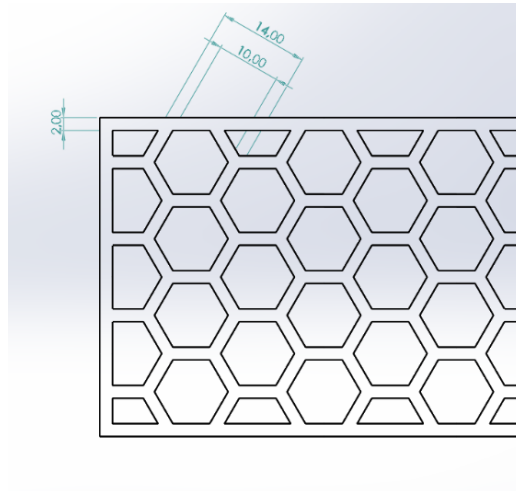
Penelitian ini menggunakan standar ASTM C393 pada spesimen komposit, dengan menggunakan bahan *core* PLA serta *infill* 100% dengan *fill pattern gyroid*.



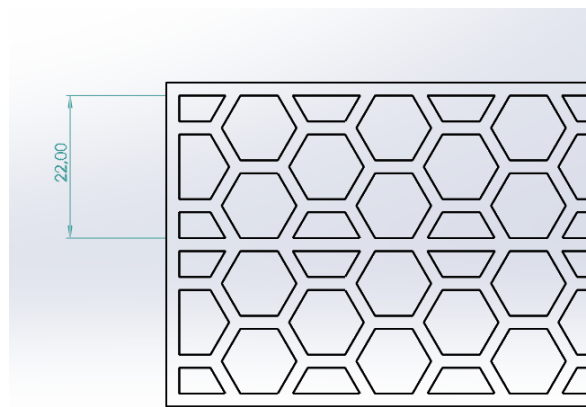
Gambar 3-22 Dimensi spesimen uji *bending core 10 mm*

Pada gambar 3-22 diatas menunjukkan dimensi spesimen yang akan dibuat pada penelitian ini mengacuh pada standar ASTM C393. Pada penelitian ini dibuat *core* dari bahan PLA (*Poly lactid Acid*) dengan ketebalan 10mm, serta desain 3D print tanpa dilapisi komposit sebagai pembanding sebelum dilakukan *vacuum infusion* dan sesudah *vacuum infusion*.

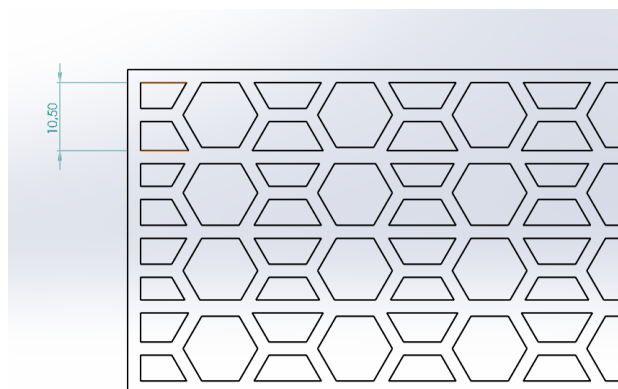
Dimensi spesimen uji *bending* dibuat variasi jumlah *horizontal ribs* pada *honeycomb* pada gambar 3-23, 3-24 dan 3-25.



Gambar 3-23 Spesimen *honeycomb* tanpa *horizontal ribs*



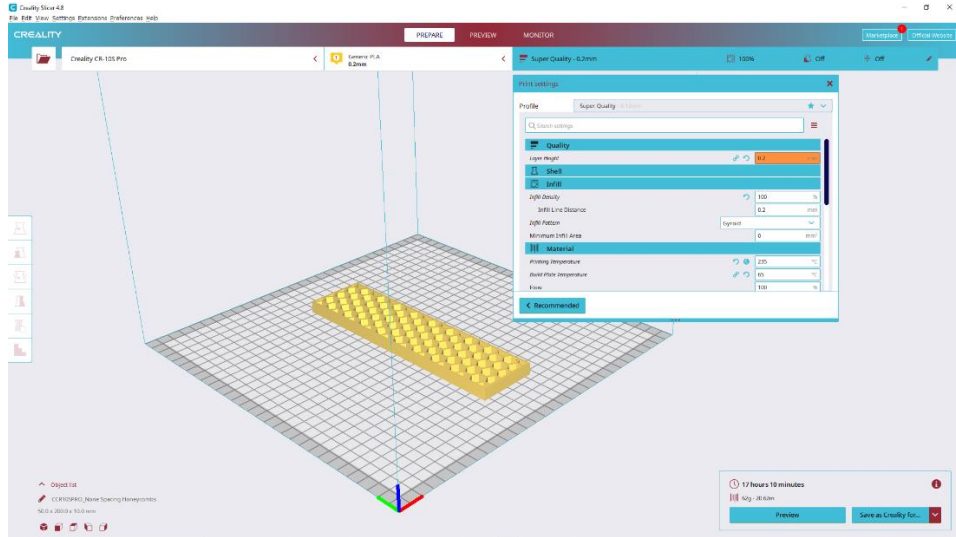
Gambar 3-24 Spesimen *honeycomb* 1 *horizontal ribs*



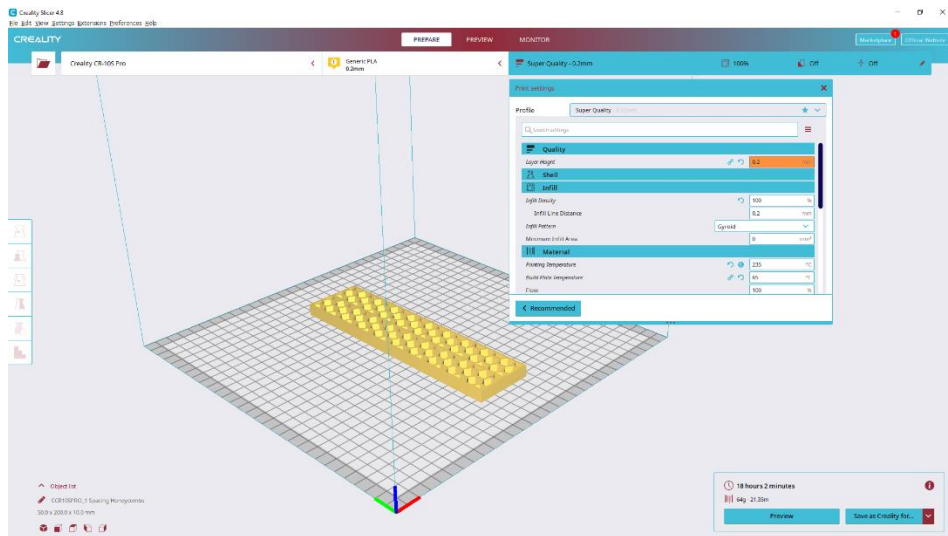
Gambar 3-25 Spesimen *honeycomb* 3 *horizontal ribs*

### 3.4 Proses Pengerjaan

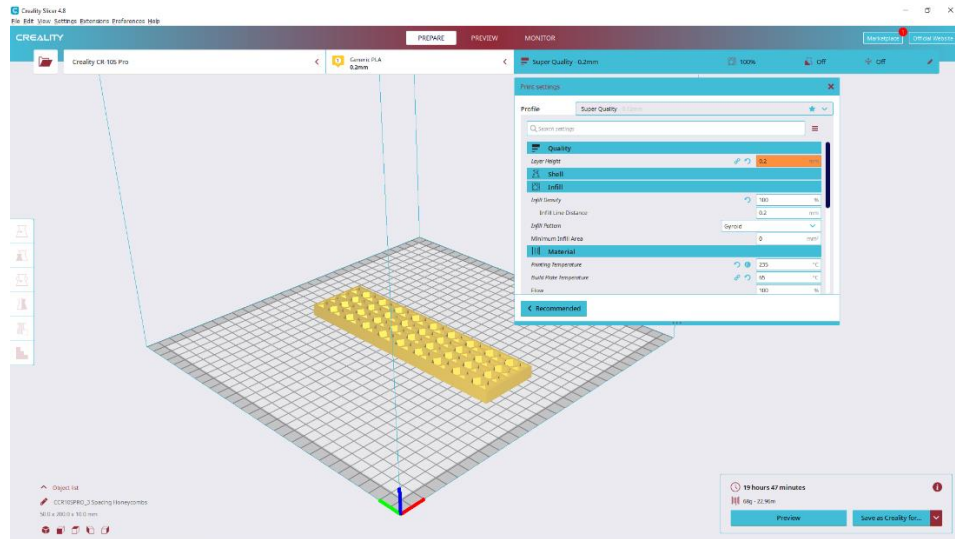
#### 3.4.1 Pembuatan Core Dengan Mesin 3D Print



Gambar 3-26 Hasil penentuan parameter dan waktu 3D *printing fused filament fabrication (FFF)* pada spesimen A1



Gambar 3-27 Hasil penentuan parameter dan waktu 3D *printing fused filament fabrication (FFF)* pada spesimen A2



Gambar 3-28 Hasil penentuan parameter dan waktu 3D printing fused filament fabrication (FFF) pada spesimen A3

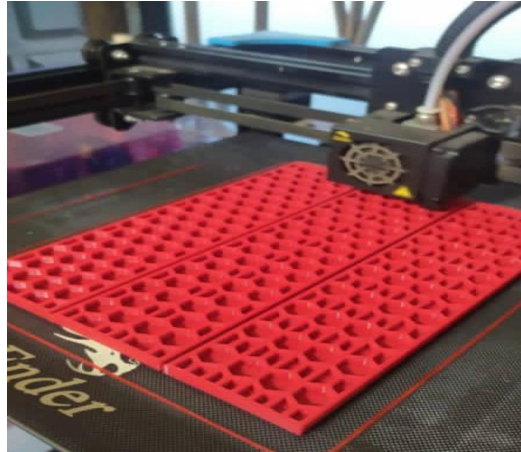
Pada gambar 3-26 sampai 3-28 adalah hasil penentuan parameter dan waktu 3D printing fused filament fabrication (FFF) menggunakan *creality slicer 4.8* dalam format *stereolithography* (STL) pada tiap variasi spesimen yang telah dilakukan proses desain pada *software CAD*.

Tabel 3-1 Tabel parameter dan waktu pembuatan core 3D print

NO	Variasi Spesimen	Bahan	Infill Pattern	Infill	Tebal Layer	Suhu Bed	Suhu Nozzle	Speed Nozzle	Waktu
				%	mm	°C	°C	%	
1	A1	PLA	Gyroid	100	0,2	65	235	100	17 Jam 10 Menit
2	A2	PLA	Gyroid	100	0,2	65	235	100	18 Jam 2 Menit
3	A3	PLA	Gyroid	100	0,2	65	235	100	19 Jam 47 Menit

Pada tabel 3-1 diatas menunjukkan parameter proses print spesimen uji yang dibuat dengan menggunakan bahan PLA (*Poly lactid Acid*), dengan infill 100%, suhu bed 65 °C, suhu nozzle 235 °C, speed 100%, dengan menggunakan *gyroid* sebagai fill patternnya. Untuk waktu printing yang didapat dari slicer pada spesimen A1 (tanpa *horizontal ribs*) adalah 17 jam

10 menit, A2 (1 *horizontal ribs*) 18 jam 2 menit dan A3 (3 *horizontal ribs*) 19 jam 47 menit.



Gambar 3-29 Proses pembuatan *core & ribs*

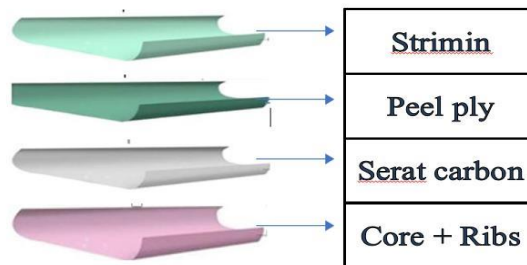
Pada gambar 3-29 diatas menunjukkan proses pembuatan *Core honeycomb* berbahan PLA yang dimensinya mengikuti standar ASTM C-393 dengan menggunakan mesin *3D print*.

Tabel 3-2 Hasil perhitungan dimensi awal spesimen sebelum dilakukan proses *vacuum infusion*

Kode Spesimen	Tebal	Lebar	Berat	Material	Material
	(mm)	(mm)	(g)	<i>Core</i>	Skin
A1.1	10,25	50,30	57,13	PLA	NO SKIN
A1.2	10,36	50,25	57,43	PLA	
A1.3	10,27	50,20	58,25	PLA	
A2.1	10,36	50,30	59,17	PLA	
A2.2	10,28	50,27	59,17	PLA	
A2.3	10,18	50,08	60,23	PLA	
A3.1	10,05	50,90	63,56	PLA	
A3.2	10,19	50,17	63,42	PLA	
A3.3	10,23	50,06	64,32	PLA	
A3 SKIN	11,95	50,40	73,89	PLA	SKIN CARBON FIBER

Pada tabel 3-2 menunjukkan perhitungan dimensi awal spesimen sebelum dilakukan proses *vacuum infusion*. Pada tiap spesimen memiliki variasi A1 (tanpa *horizontal ribs*), A2 (satu *horizontal ribs*), A3 (tiga *horizontal ribs*). Masing-masing variasi dilakukan tiga kali pengujian, maka spesimen yang dibuat adalah sebanyak 9 spesimen tanpa *skin* dan 1 spesimen menggunakan *skin carbon fiber*.

### 3.4.2 Susunan Lapisan Vacuum Infusion

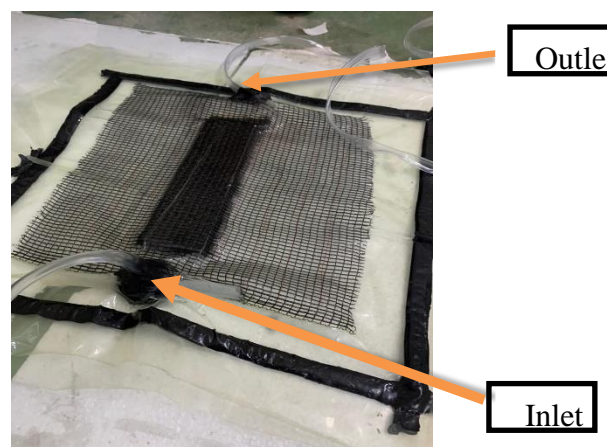


Gambar 3-30 Susunan lapisan *vacuum infusion*

Pada gambar 3-30 menunjukkan susunan lapisan komposit dengan ketebalan *core* 10 mm dimana lapisan serat karbon sebanyak 1 lapis dan selanjutnya akan dilakukan proses *vacuum infusion*.

### 3.4.3 Proses Vacuum Infusion

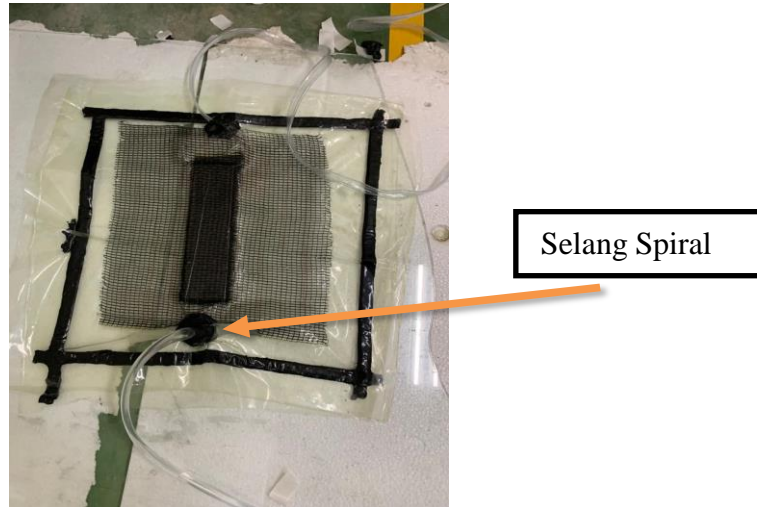
1. Menyusun *carbon fiber*, *infusion mesh*, *butyl tape*, dan *peel ply*



Gambar 3-31 Susunan komposit

Pada gambar 3-31 menunjukkan susunan komposit sesuai dengan gambar 3-30 dengan menggunakan satu lapisan serat karbon pada bagian atas.

## 2. Pemasangan Selang Spiral



Gambar 3-32 Pemasangan selang spiral

Pemasangan selang spiral bertujuan untuk pada saat proses pemvakuman resin dapat menyebar ke semua media yang akan dilapisi komposit.

## 3. Pelapisan Lem ALF *Epoxy Adhesive*

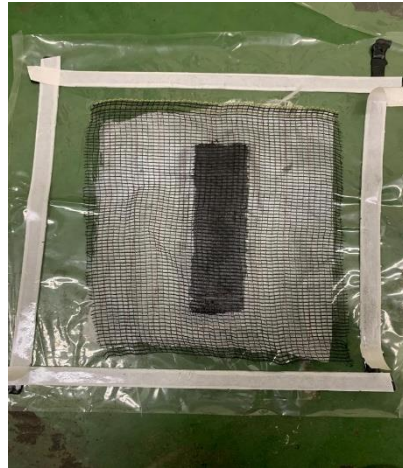


Gambar 3-33 Pelapisan lem ALF *epoxy adhesive*

Pada proses ini dilakukan sebelum semua bahan dimasukkan kedalam *vacuum bag*, proses ini bertujuan untuk agar *core* dan serat karbon menempel lebih kuat.



4. Menyusun Bahan Kedalam Plastik *Vacuum*



Gambar 3-34 Memasukkan bahan kedalam *vacuum bag*

Pada proses ini seluruh bahan yang akan digunakan untuk proses pemvakuman kedalam plastik *vacuum* tersusun sesuai dengan urutan pada gambar 3-30.

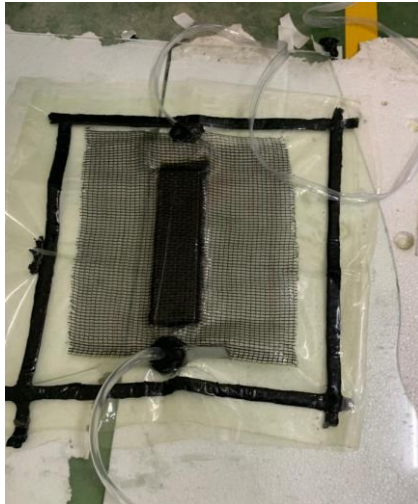
5. Proses Pencampuran *Epoxy* dan *Hardener*



Gambar 3-35 Proses pencampuran

Pada gambar 3-35 menunjukkan proses pencampuran resin *epoxy* dan *hardener* dengan perbandingan 100:30.

## 6. Proses *Vacuum Infusion*



Gambar 3-36 Proses *vacuum infusion*

Pada gambar 3-36 dapat dilihat bahwa pada proses *vacuum infusion* menggunakan satu *inlet* dan satu *outlet*.

## 7. Hasil Dari Proses *Vacuum Infusion*



Gambar 3-37 Hasil *vacuum infusion*

Pada Gambar 3-37 diatas ini menunjukkan hasil dari *vacuum infusion* yang telah dilakukan pelepasan plastik, *strimin* dan kain *peelply*.

### 3.4.4 Hasil Proses Pengerjaan

Hasil dari proses pembuatan spesimen dengan *3D printing* dan hasil dari proses *Vacuum Infusion* adalah sebagai berikut:

#### 1. Spesimen Tanpa *Skin Carbon Fiber*



Gambar 3-38 Spesimen tanpa *skin carbon fiber*

Pada Gambar 3-38 diatas menunjukkan spesimen tanpa *skin* karbon. Spesimen hanya berupa hasil dari *3D printing* tanpa dilapisi komposit karbon. Setiap variasi desain spesimen di cetak 3 kali.

#### 2. Spesimen Dengan *Skin Carbon Fiber*



Gambar 3-39 Spesimen dengan *skin carbon fiber*

Pada gambar 3-39 diatas menunjukkan gambar spesimen uji yang telah dilakukan proses *vacuum infusion* dan telah dilakukan proses pemotongan pada spesimen.

## 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 dilapisi *skin*. 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 C-393 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 dan gambar 4-3 di bawah ini.



Gambar 4-2 Hasil pengujian tanpa *skin*



Gambar 4-3 Hasil pengujian dengan *skin carbon fiber*

Pada gambar 4-2 dan gambar 4-3 diatas adalah hasil dari pengujian *bending* yang telah dilakukan. Dari gambar tersebut juga dapat terlihat modus kegagalan pada tiap spesimen.

Tabel 4-1 Data hasil pengujian *bending*

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (kN)	Defleksi (mm)	Teg. Bending (MPa)
1	A1.1	10,25	50,30	0,60	5,44	17,03
2	A1.2	10,36	50,25	0,77	4,6	21,42
3	A1.3	10,27	50,20	0,87	6,85	24,65
4	A2.1	10,36	50,30	0,68	4,81	18,89
5	A2.2	10,28	50,27	0,83	5,28	23,44
6	A2.3	10,18	50,08	0,87	5,82	25,14
7	A3.1	10,05	50,90	0,69	4,77	20,13
8	A3.1	10,19	50,17	0,73	4,19	21,02
9	A3.2	10,23	50,06	0,72	4,70	20,61
10	A3 SKIN	11,95	50,40	0,92	3,94	19,17

Pada tabel 4-1 hasil data yang terkumpul setelah melalui proses pengujian *bending* menunjukkan bahwa spesimen dengan kode A3 *Skin*, yang merupakan *honeycomb* dengan tiga *horizontal ribs* yang dilapisi dengan *skin carbon fiber*, mampu menahan beban maksimal tertinggi sebesar 0,92 kN. Sementara itu, defleksi tertinggi tercatat pada spesimen A1.3, yang merupakan *honeycomb* tanpa *horizontal ribs* dan *skin*, dengan nilai mencapai 6,85 mm. Tegangan *bending* tertinggi terjadi pada spesimen A2.3, yakni *honeycomb* dengan dua *horizontal ribs* tanpa *skin*, dengan nilai mencapai 25,14 MPa.

Tabel 4-2 Perbandingan spesimen setelah proses *vacuum infusion*

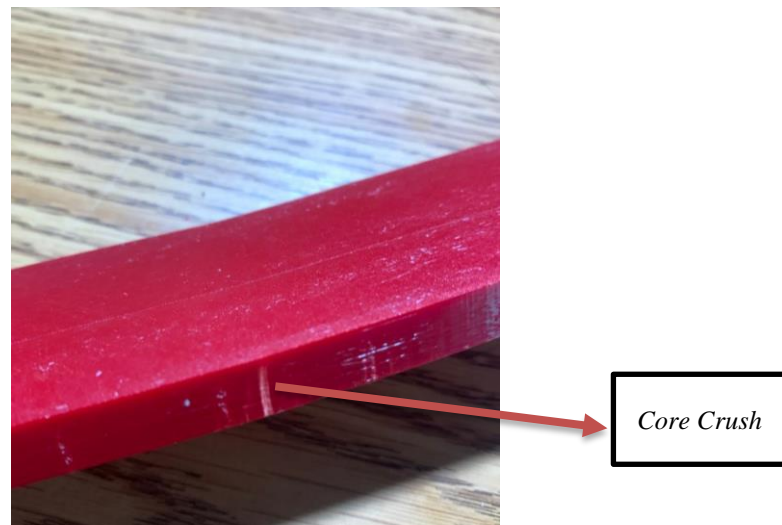
No.	Variasi Spesimen	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Lebar Awal (mm)	Lebar Akhir (mm)	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)
1	A3 SKIN	10,26	11,95	50,40	50,40	64,77	73,89

Pada tabel 4-2 di atas menggambarkan perubahan dalam dimensi dan massa spesimen sebelum dan setelah pengaplikasian komposit *carbon fiber* menggunakan metode *vacuum infusion*. Secara khusus, spesimen A3 *Skin*, yang awalnya memiliki ketebalan *core honeycomb* dengan tiga *horizontal ribs* dan *skin* tebal awal sebesar 10,26 mm, mengalami peningkatan menjadi 11,95 mm setelah dilapisi dengan komposit melalui proses *vacuum infusion*. Demikian pula, berat awal spesimen yang sebesar 64,77 gram meningkat menjadi 73,89 gram setelah perlakuan yang sama.

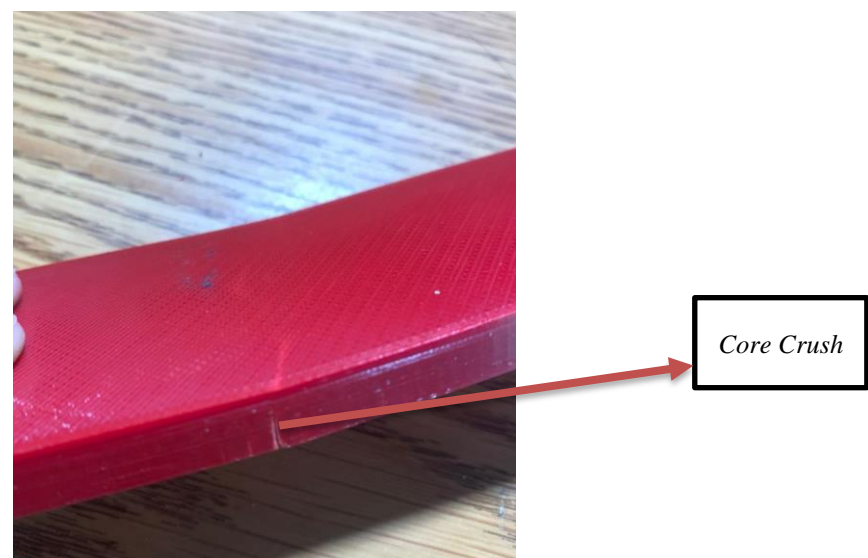
### 4.3 Analisis dan Perhitungan

Gagalnya komposit adalah insiden kerusakan yang terjadi ketika komposit tersebut dikenakan tekanan 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*.

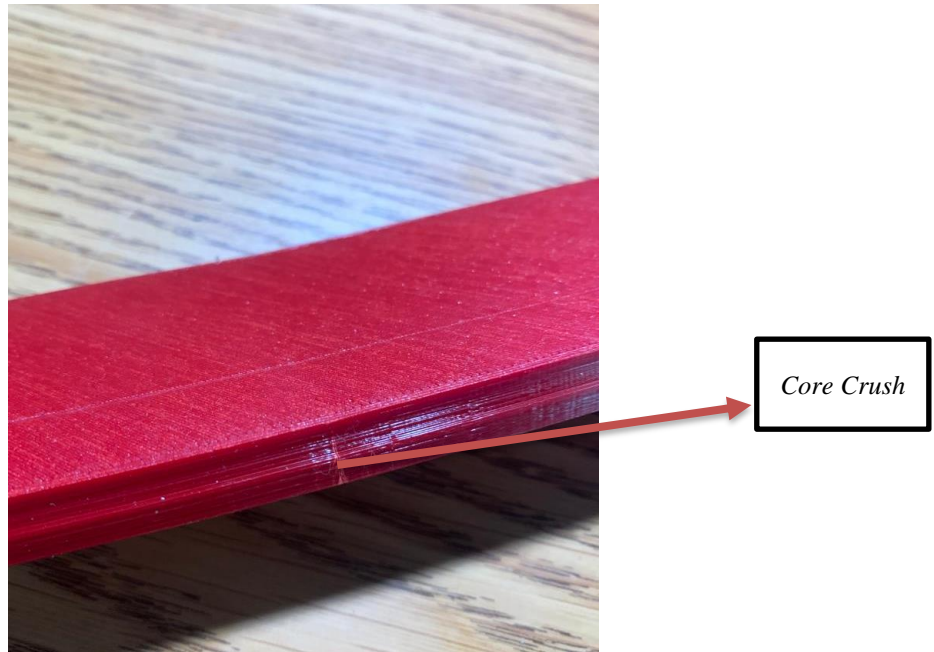
#### 4.3.1 Analisis Modus Kegagalan *Core* Tanpa *Skin*



Gambar 4-4 Spesimen tanpa *horizontal ribs* dan tanpa *skin*



Gambar 4-5 Spesimen 1 *horizontal ribs* tanpa *skin*



Gambar 4-6 Spesimen 3 *horizontal ribs* tanpa *skin*

Pada gambar 4-4 sampai 4-6 diatas dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit tanpa *skin* mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen A1, A2 dan A3 mengalami kegagalan *core crush*.

#### 4.3.2 Analisis Modus Kegagalan *Core* Dengan *Skin*



Gambar 4-7 Spesimen 3 *horizontal ribs* dengan *skin*

Pada gambar 4-7 diatas dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit A3 dengan *skin carbon fiber* mengalami kegagalan yang serupa yaitu *core crush*.



#### 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 dengan persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3.

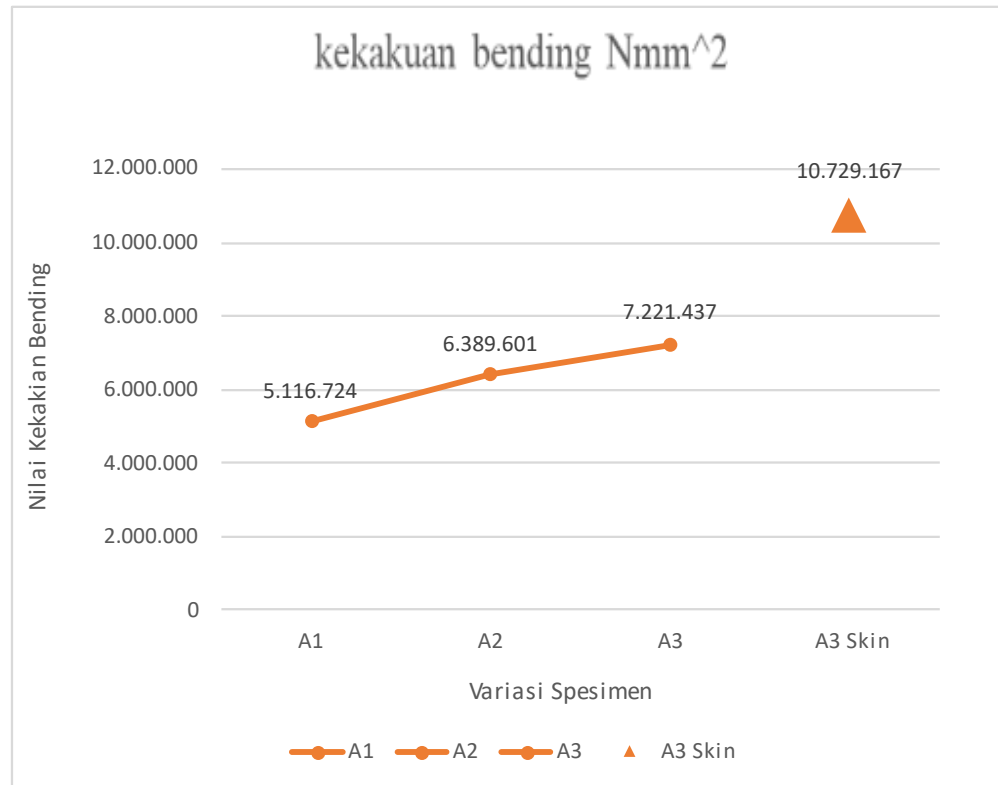
Tabel 4-3 Hasil perhitungan *bending* spesimen

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	57,13	467	2,23	17,03	4.362.855	76.366
2	A1.2	57,43	737	2,63	21,42	5.838.086	101.656
3	A1.3	58,25	697	2,82	24,65	5.149.232	88.399
4	A2.1	59,17	522	2,53	18,89	4.298.419	72.645
5	A2.2	59,17	749	2,02	23,44	7.724.835	130.553
6	A2.3	60,23	758	2,21	25,14	7.145.551	118.638
7	A3.1	63,56	605	2,21	20,13	5.703.243	89.730
8	A3.2	63,42	831	1,97	21,02	8.788.071	138.569
9	A3.3	64,32	816	2,37	20,61	7.172.996	111.520
10	A3 SKIN	73,89	1030	2	19,17	10.729.167	145.205

Dari tabel 4-3 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 tanpa komposit dengan kode A3.2 yaitu *honeycomb* tiga *horizontal ribs* memiliki nilai kekakuan *bending* sebesar 8.788.071 Nmm<sup>2</sup> dan kekakuan *bending* spesifiknya memiliki nilai sebesar 138.569 Nmm<sup>2</sup>/g, sedangkan untuk spesimen yang telah dilakukan komposit *carbon fiber* dengan kode A3 *Skin* yaitu *honeycomb* tiga *horizontal ribs* memiliki nilai sebesar 10.729.167 Nmm<sup>2</sup> dan nilai kekakuan *bending* spesifiknya mencapai 145.205 Nmm<sup>2</sup>/g.

## 4.5 Pembahasan

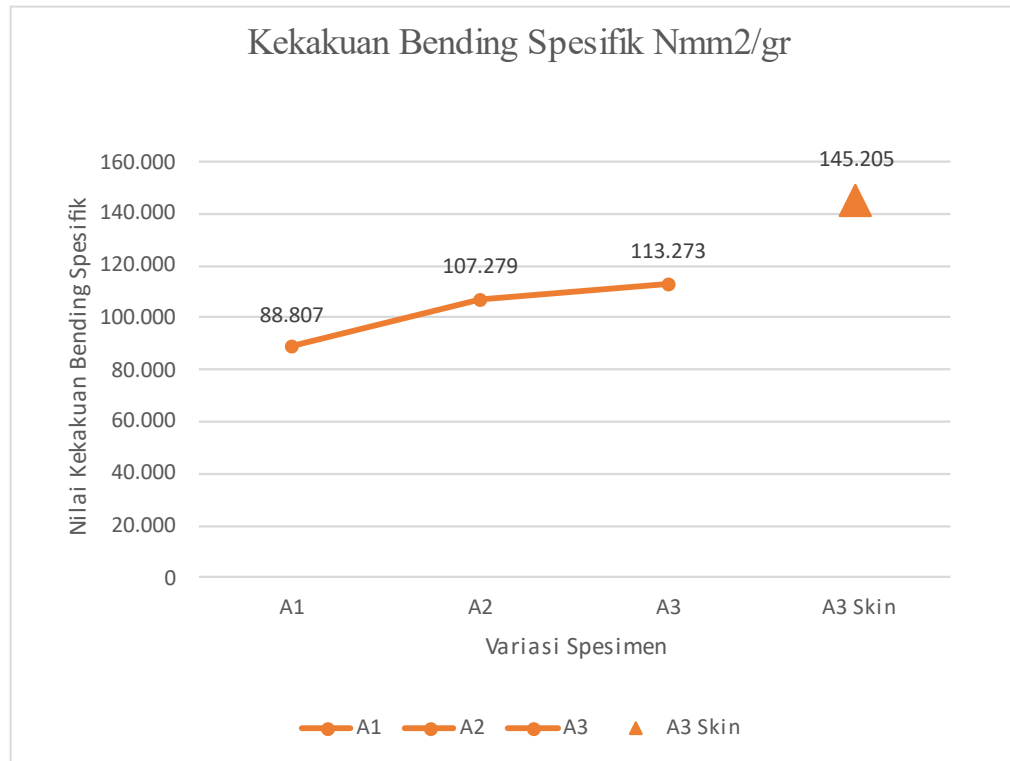
### 4.5.1 Kekakuan *Bending*



Gambar 4-8 Grafik kekakuan *bending*

Pada gambar 4-8 diatas menunjukkan grafik kekakuan *bending*, dimana pada grafik garis yang berwarna oranye menunjukkan spesimen tanpa *skin* sedangkan bentuk segitiga berwarna oranye menunjukkan spesimen dengan komposit *carbon fiber*. Dari grafik dapat dibaca kekakuan *bending* yang paling tinggi di dapatkan pada spesimen *honeycomb* tiga *horizontal ribs* dengan *skin carbon fiber* yang memiliki nilai kekakuan *bending* sebesar 10.729.167 Nmm<sup>2</sup> dan kekakuan *bending* yang paling rendah didapatkan pada spesimen *honeycomb* tanpa *horizontal ribs* dan *skin* dengan nilai kekakuan sebesar 5.116.724 Nmm<sup>2</sup>. Dari data kekakuan *bending* rata-rata, jumlah *horizontal ribs* sangat berpengaruh dalam meningkatkan kekakuan *bending* dan kekuatan pada *core*. Sedangkan spesimen tanpa komposit nilai tertinggi didapatkan dengan spesimen *honeycomb* tiga *horizontal ribs* dengan nilai kekakuan *bending* sebesar 7.221.437 Nmm<sup>2</sup>/g.

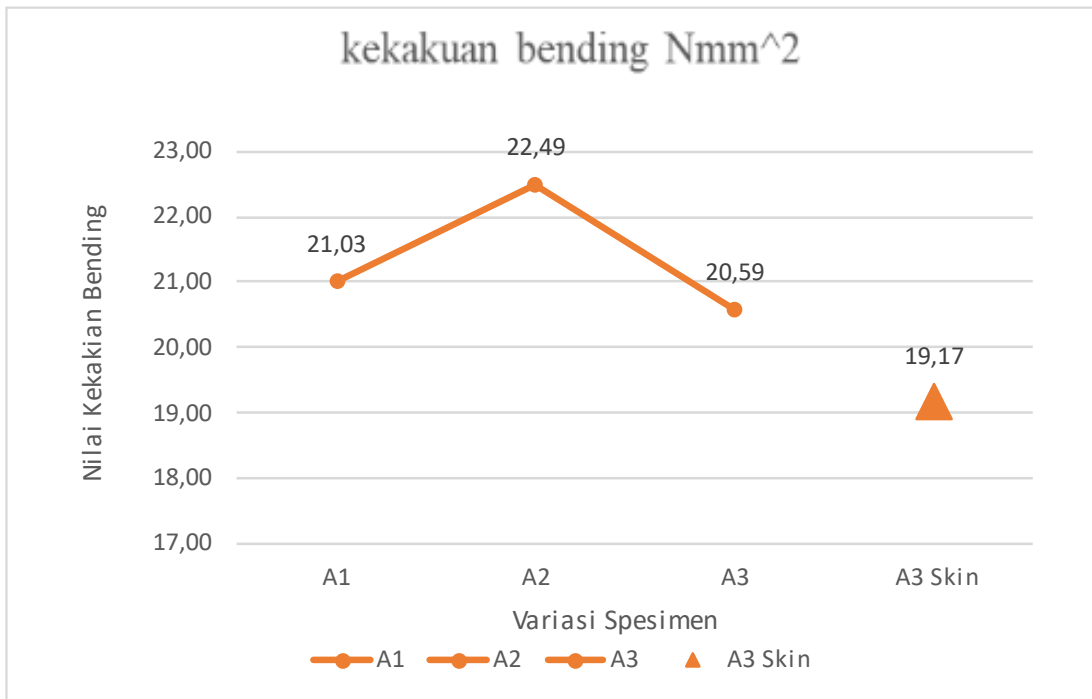
## 4.5.2 Kekakuan *Bending* Spesifik



Gambar 4-9 Grafik kekakuan *bending* spesifik

Pada gambar 4-9 diatas menunjukkan grafik kekakuan *bending* spesifik, dimana pada grafik garis yang berwarna oranye menunjukkan spesimen tanpa skin sedangkan bentuk segitiga berwarna oranye menunjukkan spesimen dengan komposit *carbon fiber*. Dari grafik dapat dibaca kekakuan *bending* spesifik yang paling tinggi di dapatkan pada spesimen *honeycomb* tiga *horizontal ribs* dengan *skin carbon fiber* yang memiliki nilai kekakuan *bending* spesifik sebesar 145.205  $Nmm^2/g$  dan kekakuan *bending* spesifik yang paling rendah didapatkan pada *honeycomb* tanpa *horizontal ribs* dan *skin* memiliki nilai kekakuan spesifik sebesar 88.807  $Nmm^2/g$ . Sedangkan spesimen tanpa komposit nilai tertinggi didapatkan dengan spesimen *honeycomb* tiga *horizontal ribs* dengan nilai kekakuan *bending* spesifik sebesar 113.273  $Nmm^2/g$ .

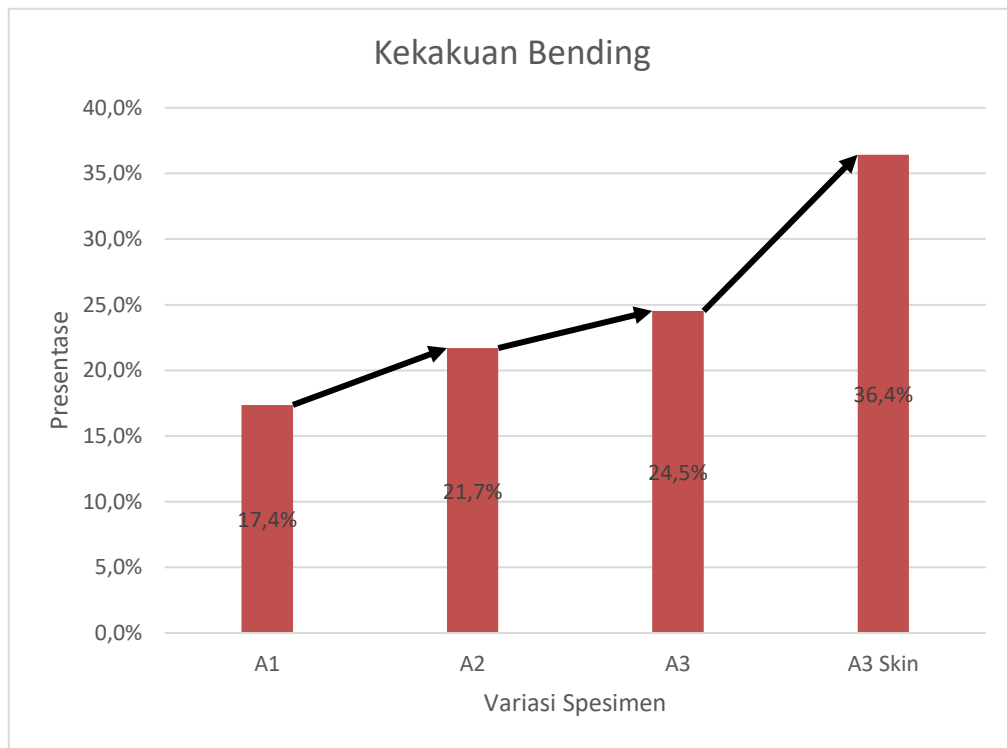
### 4.5.3 Tegangan *Bending*



Gambar 4-10 Grafik tegangan *bending* maksimal

Pada gambar 4-10 diatas menunjukkan grafik tegangan *bending*, dimana pada grafik garis yang berwarna oranye menunjukkan spesimen tanpa komposit sedangkan bentuk segitiga berwarna oranye menunjukkan spesimen dengan komposit *carbon fiber*. Dari grafik dapat dibaca tegangan *bending* yang paling tinggi didapatkan pada spesimen *honeycomb* dengan dua *horizontal ribs* sebesar 22 Mpa dan tegangan *bending* yang paling rendah didapatkan pada spesimen *honeycomb skin* dengan tiga *horizontal ribs* sebesar 19 Mpa.

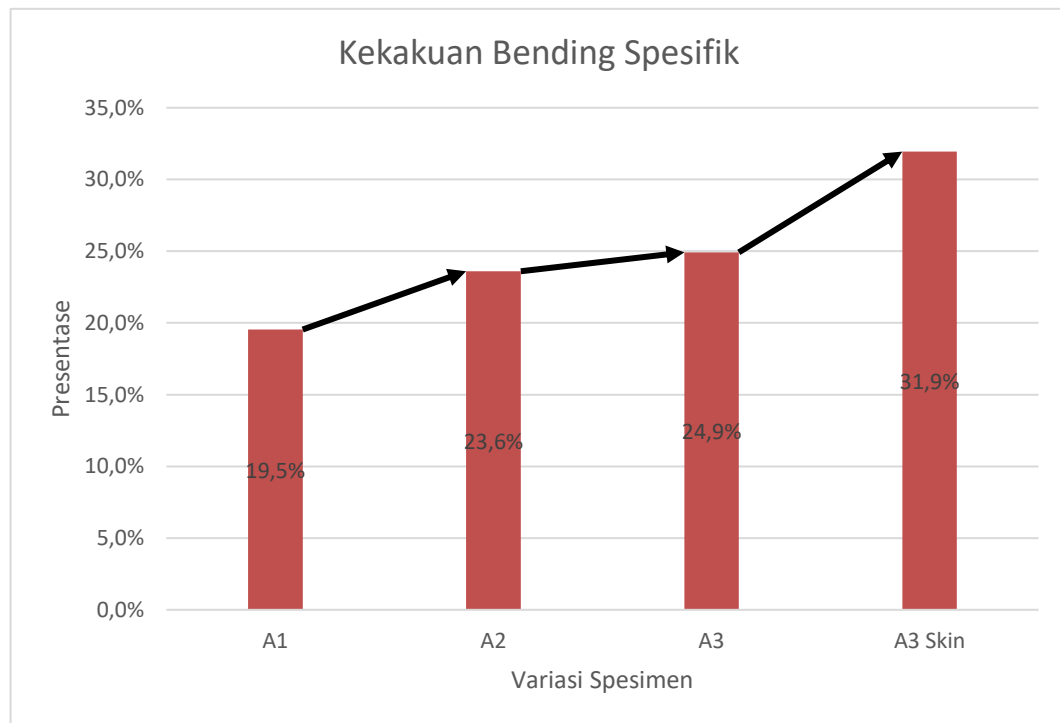
#### 4.5.4 Presentase Kenaikan Kekakuan *Bending*



Gambar 4-11 Grafik presentase kekakuan *bending* spesifik

Pada gambar 4-11 adalah grafik presentase kekakuan *bending*, terlihat untuk kenaikan setiap variasi penambahan *horizontal ribs* mengalami kenaikan yang cukup signifikan terutama pada *tiga horizontal ribs* dengan *skin carbon fiber*. Untuk spesimen A1 (tanpa *horizontal ribs*) memiliki presentase 17,4% dari total rata-rata kekakuan *bending*, sedangkan untuk A2 (1 *horizontal ribs*) presentasinya sebesar 21,7% sehingga presentase kenaikan spesimen A2 terhadap spesimen A1 sebesar 4,3%. Untuk spesimen A3 (3 *horizontal ribs*) kenaikannya sebesar 24,5% sehingga presentase kenaikan spesimen A3 terhadap spesimen A2 adalah 2,8%. Kemudian untuk spesimen yang menggunakan *skin carbon fiber* A3 Skin (3 *horizontal ribs*) kenaikannya sangat signifikan, yaitu sebesar 36,4% dan jika dibandingkan dengan spesimen A3 *non skin* maka perbandingan presentasinya sebesar 11,9%. Dari data presentase tersebut, variasi struktur yang memiliki nilai kekakuan *bending* yang paling baik adalah 3 *horizontal ribs*.

#### 4.5.5 Presentase Kenaikan Kekakuan *Bending* Spesifik



Gambar 4-12 Grafik presentase kekakuan *bending* spesifik

Pada gambar 4-12 adalah grafik presentase kekakuan *bending* spesifik, terlihat untuk kenaikan setiap variasi penambahan *horizontal ribs* mengalami kenaikan yang cukup baik terutama pada *tiga horizontal ribs* dengan *skin carbon fiber*. Untuk spesimen A1 (tanpa *horizontal ribs*) memiliki presentase 19,5% dari total rata-rata kekakuan *bending*, sedangkan untuk A2 (1 *horizontal ribs*) presentasinya sebesar 23,6% sehingga presentase kenaikan spesimen A2 terhadap spesimen A1 sebesar 4,1%. Untuk spesimen A3 (3 *horizontal ribs*) kenaikannya sebesar 24,9% sehingga presentase kenaikan spesimen A3 terhadap spesimen A2 adalah 1,3%. Kemudian untuk spesimen yang menggunakan *skin carbon fiber* A3 Skin (3 *horizontal ribs*) kenaikannya sangat signifikan, yaitu sebesar 31,9% dan jika dibandingkan dengan spesimen A3 *non skin* maka perbandingan presentasinya sebesar 7%. Dari data presentase tersebut, variasi struktur yang memiliki nilai kekakuan *bending* yang paling baik adalah 3 *horizontal ribs*.

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Dari hasil pengujian, nilai rata-rata kekakuan *bending* tertinggi pada variasi spesimen A3 *honeycomb 3 horizontal ribs* tanpa *skin carbon fiber* sebesar 8.788.071 Nmm<sup>2</sup> dan mengalami presentase kekakuan *bending* 24,5%. Sedangkan untuk variasi spesimen A3 yang telah dilapisi *carbon fiber* memiliki nilai sebesar 10.729.167 Nmm<sup>2</sup> dan presentasinya sebesar nya sebesar 36,4%.
2. Hasil analisis perubahan dimensi pada spesimen 3D *print* yang terbuat dari PLA dengan struktur *honeycomb* digabungkan, kemudian diperkuat dengan menambahkan *horizontal ribs* dan melakukan proses komposit menggunakan metode *vacuum infusion*, terjadi perubahan dimensi yang signifikan. Hasilnya, pada spesimen A3 terjadi peningkatan berat sebesar 9,12 gram dan penambahan ketebalan spesimen sebesar 1,69 mm setelah dilakukan pelapisan komposit satu sisi menggunakan serat *carbon fiber*.
3. Analisis kegagalan pada setiap spesimen adalah *core crush*, kegagalan tersebut terjadi pada bagian *core* yang menyebabkan keretakan akibat beban yang diterima.

### 5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

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

1. Dalam proses penempelan spesimen dengan serat karbon, sebaiknya spesimen dibersihkan terlebih dahulu agar serat karbon dapat menempel dengan baik.
2. Jauhkan media *vacuum bag* dari benda-benda tajam disekitar saat melakukan proses *vacuum* agar tidak mengalami kebocoran.
3. Pada saat proses *finishing* sebaiknya menggunakan perlengkapan K3 yang sesuai seperti kacamata dan sarung tangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah, Y. I. (2021). Analisis Uji *Bending* Komposit *Sandwich* Yang Digabungkan *3D Printing*.  
<https://dspace.uui.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.uui.ac.id/handle/123456789/41697>
- Ashfan M, (2022). Pengaruh Ketebalan Core (3D Print) Dengan Bahan PLA (Polyactic-Acid) Terhadap Uji Bending Spesimen Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Infusion. Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
- 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.
- Faizun, M. (2022). Pengaruh Penambahan *Skin Carbon* Terhadap Kekakuan *Bending 3D Printed ABS (Acrylonitrile Butadine Styrene) Honeycomb Ribs*.
- 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.
- Hidayat, S. (2020). Aplikasi Perangkat *Vacuum Infusion* Untuk Pembuatan Komponen Berbahan Komposit.  
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/13638>
- Marsono, M., Ali, A., & Luwis, N. (2019). Karakteristik Mekanik Panel *Honeycomb Sandwich* Berbahan Komposit *Fibreglass* dengan Dimensi *CellPitch* 40mm dan *Cell-Height* 30mm. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 3(2).  
<https://doi.org/10.26760/jrh.v3i2.3144>
- Mubarok, F. (2022). Pengaruh Ketebalaan *Hexagonal Ribs* Pada Produk *Acrylonitrile Butadine Styrene (ABS) 3D Printing Fused Filament*



*Fabrication (FFF) Diperkuat Komposit Carbon Fiber.*

- 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>
- Oliviandes F, (2022). Analisis Pengaruh Jumlah Lapisan *Skin* Pada Komposit *Sandwich* Terhadap Uji *Bending* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
- 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



**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	10.25	50.30	0.60	5.44	17.03
2	A2	10.36	50.30	0.68	4.81	18.89
3	A3	10.05	50.90	0.69	4.77	20.13

*Keterangan:*

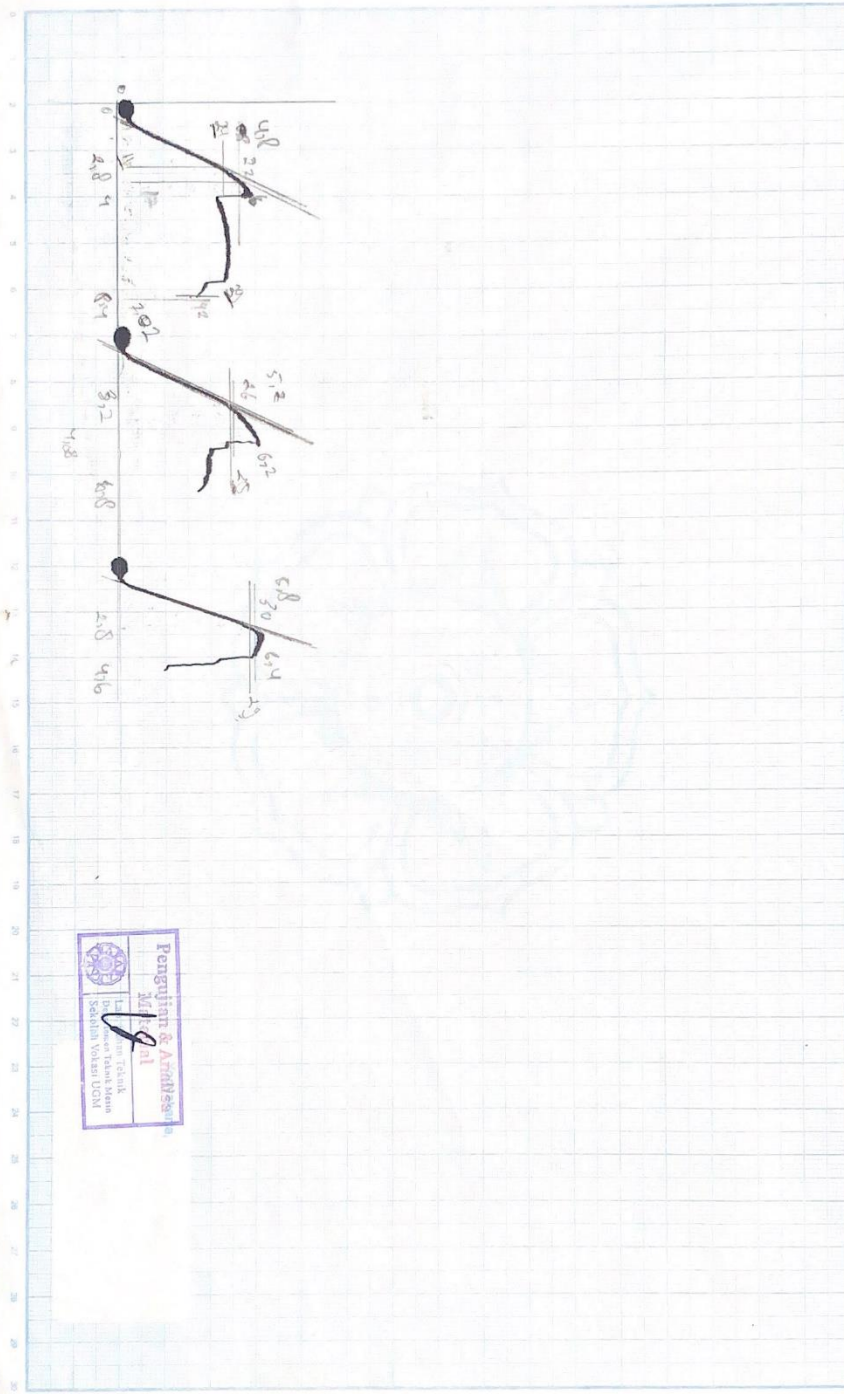
1. Pengujian dilakukan tanggal 27 Mei 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 27 Mei 2023  
Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian Analisa  
Mesin  
L. b. ...  
Dr. Lilik Dwi Setiawan, S.T., M.T  
NIP. 197703312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281



Pengujian & Analisis  
M. A. I.  
Tahap  
Pusat Teknik Mesin  
Sedih Volan UGM



**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	10.36	50.25	0.77	4.6	21.42
2	A1.2	10.27	50.20	0.87	6.85	24.65
3	A2.1	10.28	50.27	0.83	5.28	23.44
4	A2.2	10.18	50.08	0.87	5.82	25.14
5	A3.1	10.19	50.17	0.73	4.19	21.02
6	A3.2	10.23	50.06	0.72	4.70	20.61

Lembar asli, tidak untuk digandakan

*Keterangan:*

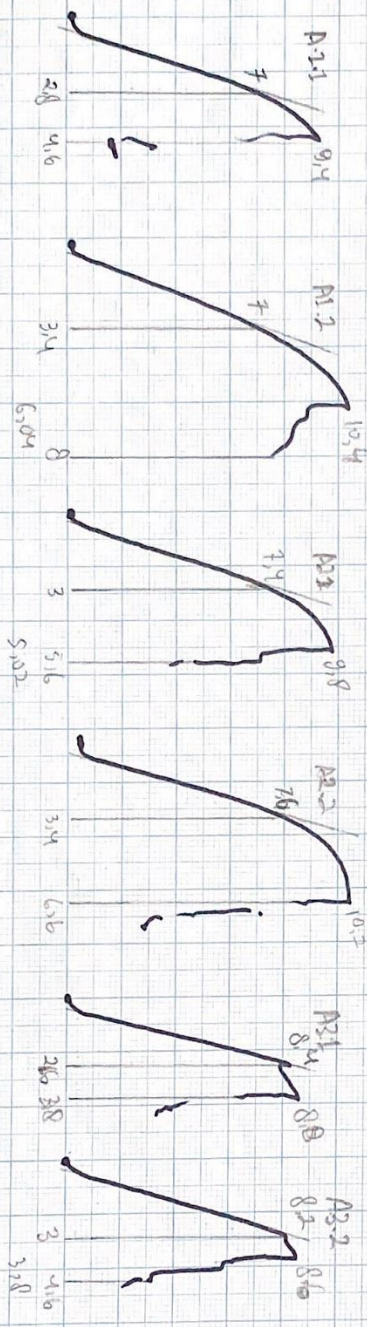
1. Pengujian dilakukan tanggal 19 Juli 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 19 Juli 2023  
Staf Laboratorium Bahan Teknik



Dr. I. H. S. S.  
NIP. 197703312002121002

AC





**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	A3	11.95	50.40	0.92	3.94	19.17

*Keterangan:*

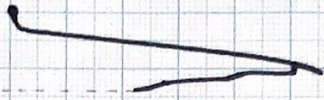
1. Pengujian dilakukan tanggal 21 Agustus 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Yogyakarta, 21 Agustus 2023  
Staf Laboratorium Bahan Teknik



Dr. Lili Dwi Setyaningsih, S.T., M.T.  
NIP. 197703312002121002

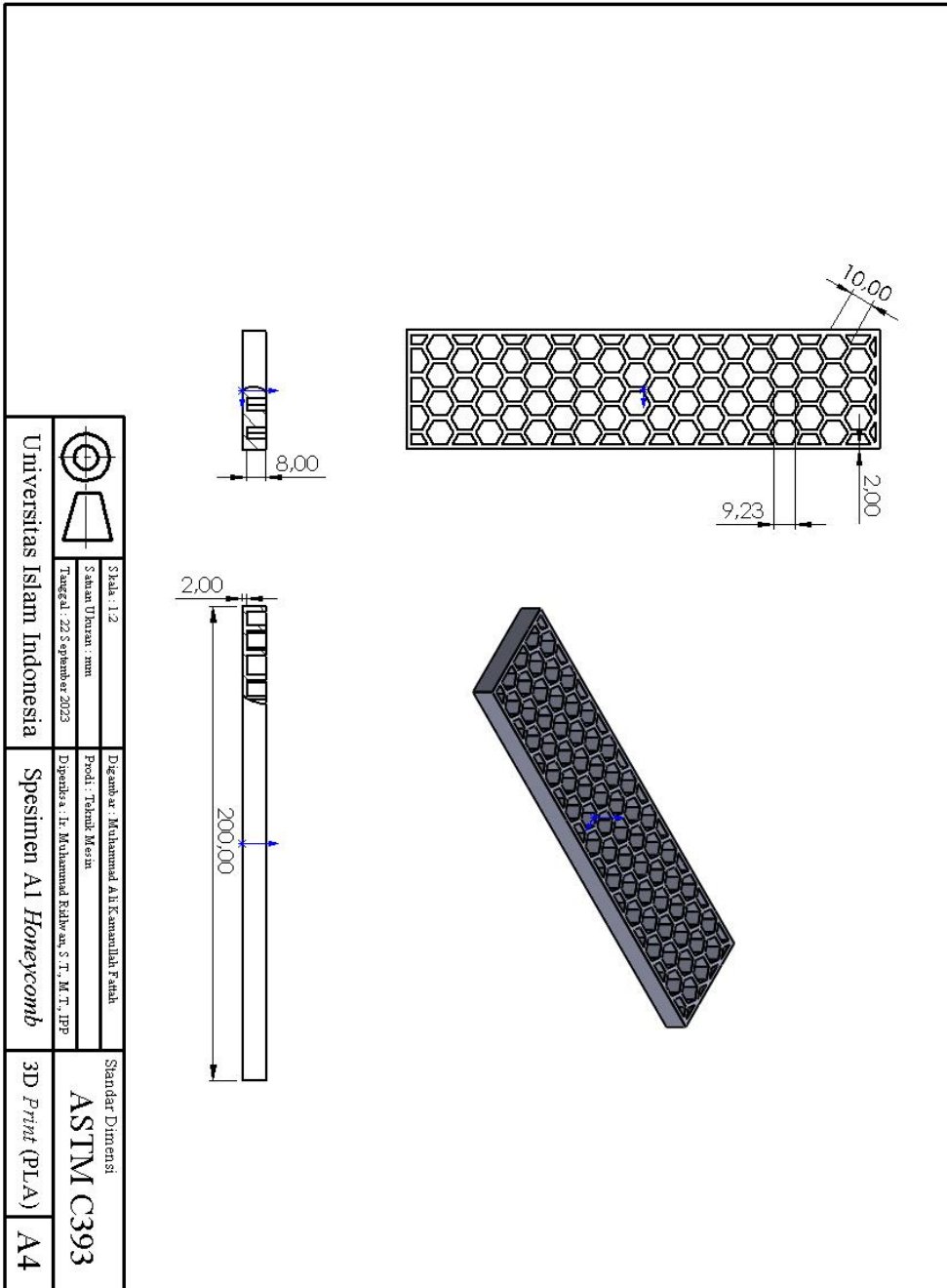


P : 0.52 cm  
d1 : 3.54 mm.



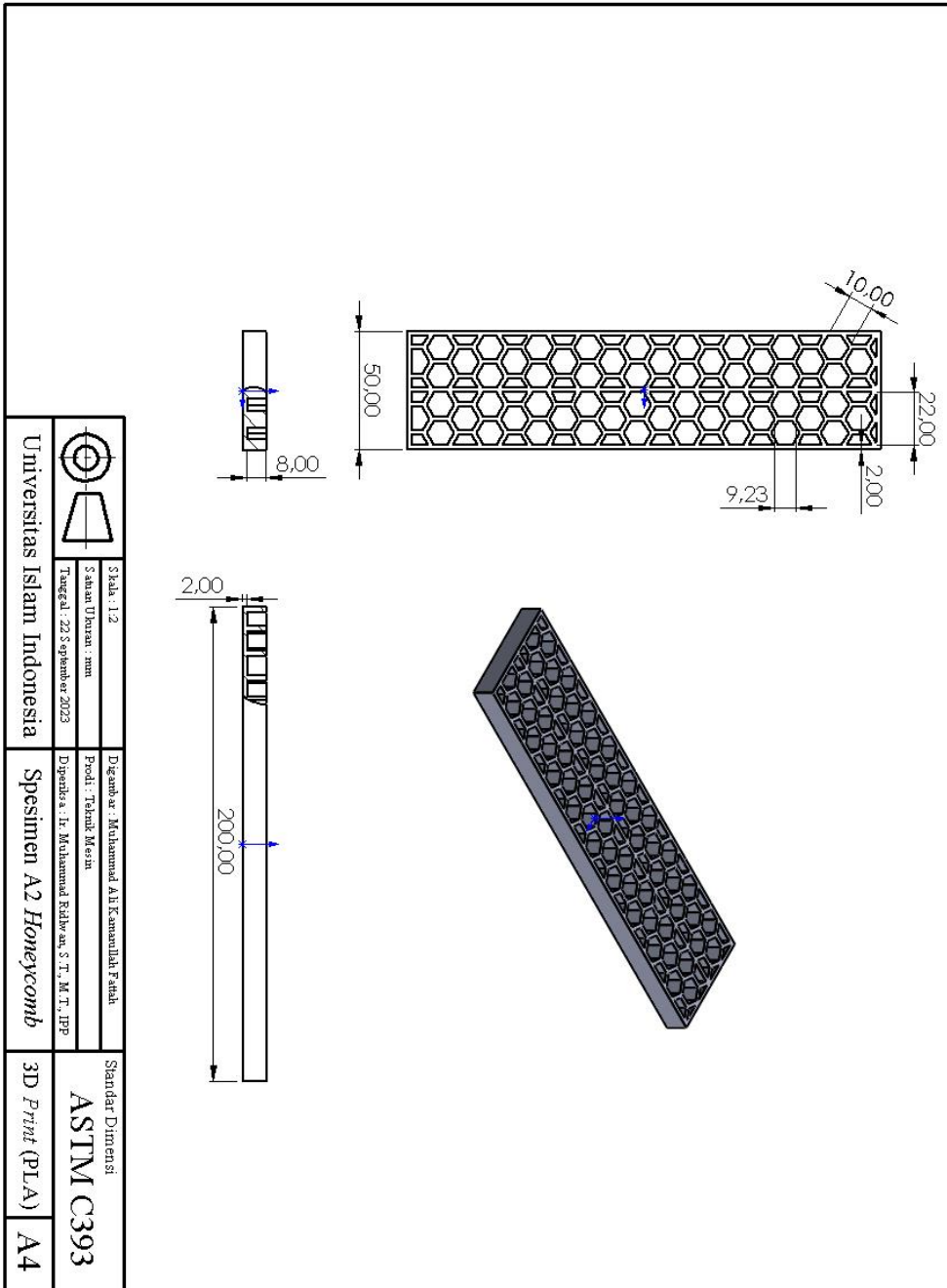


\*



\*

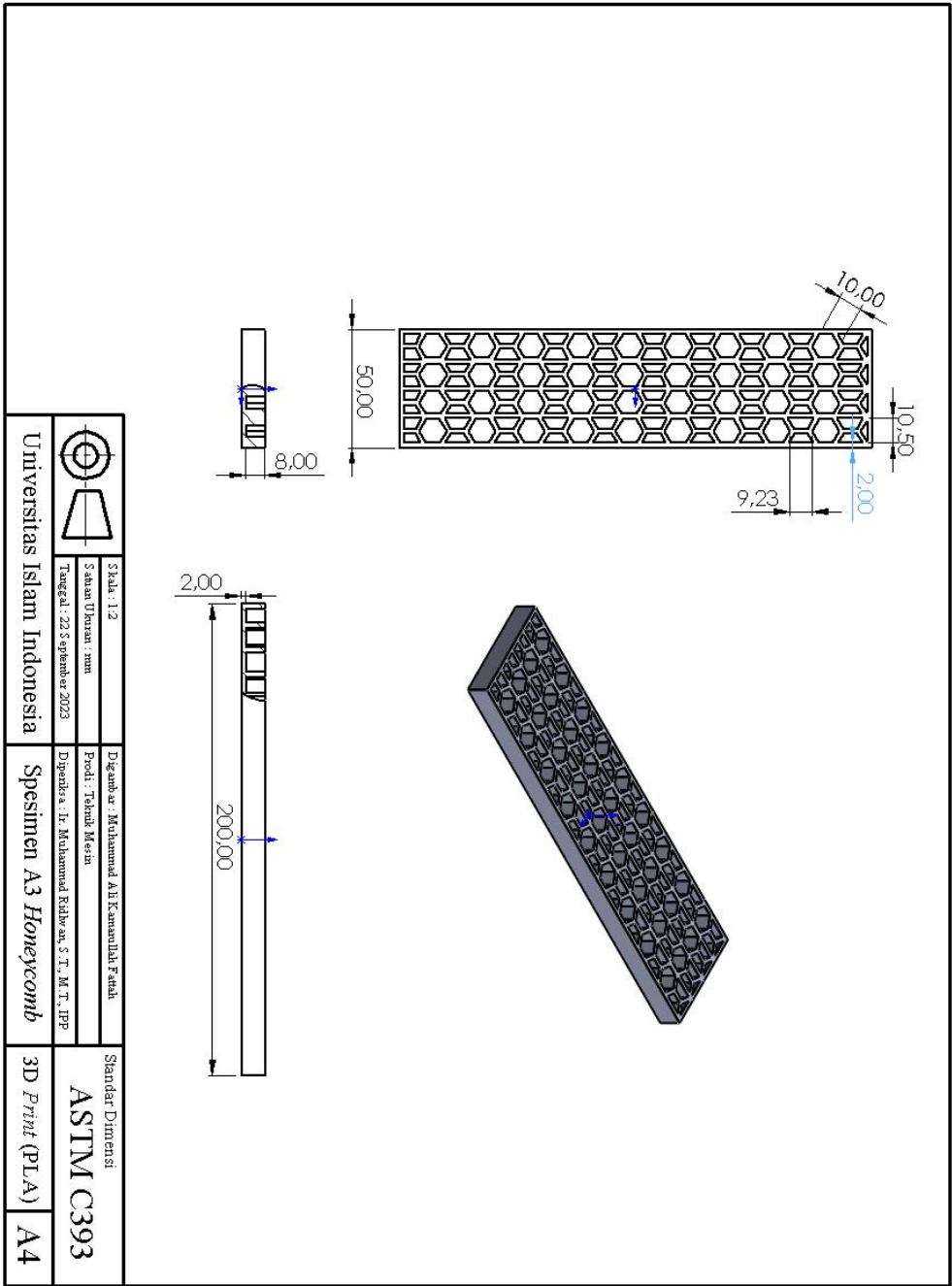
\*




\*

	Skala : 1:2	Digambar : Muhammad Ali Kamuliah Fala	Standar Dimensi
	Satuan Ukur : mm	Prodi : Teknik Mesin	ASTM C393
Universitas Islam Indonesia	Tanggal : 22 September 2023	Diperiksa : Ir. Muhammad Ridwan, S.T., M.T., I.PP	3D Print (PLA)
			A4

\*



\*

	Skala : 1:2 Satuan Ukur : mm Tanggal : 22 September 2023	Disenikan : Muhammad Ali Kamuliah Fala Prodi : Teknik Mesin	Standar Dimensi <b>ASTM C393</b>
	Universitas Islam Indonesia	Spesimen A3 Honeycomb	3D Print (PLA)