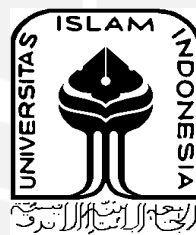


**PENGARUH KETEBALAN *HEXAGONAL RIBS* PADA PRODUK  
*ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE (ABS) 3D PRINTING FUSED  
FILAMENT FABRICATION (FFF) DIPERKUAT KOMPOSIT CARBON FIBER***

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh:**

**Nama : Faiza Syahrul Mubarak**

**No. Mahasiswa : 17525079**

**NIRM : 170716001507031999**

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

**2022**

## PERNYATAAN ORISINALITAS TUGAS AKHIR

Dengan ini saya yang bertanda tangan dibawah ini, Faiza Syahrul Mubarak selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Ketebalaan *Hexagonal Ribs* Pada Produk *Acrylonitrile Butadine Styrene* (ABS) 3D Printing *Fused Filament Fabrication* (FFF) Diperkuat Komposit *Carbon Fiber*” menyatakan bahwa dalam penulisan ini merupakan hasil karya asli penulis. Apabila dalam Tugas Akhir ini terbukti merupakan hasil duplikasi ataupun plagiasi dari penulis lain, penulis bersedia menerima berbagai bentuk sanksi akademik dan hukum sesuai dengan peraturan yang berlaku. Demikian surat pernyataan keaslian ini yang saya buat dalam keadaan sadar, penuh pertanggungjawaban dan tanpa adanya paksaan dari berbagai pihak.

Yogyakarta, 16 November 2022



Faiza Syahrul Muabrok

17525079

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PENGARUH KETEBALAN *HEXAGONAL RIBS* PADA PRODUK  
*ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE (ABS) 3D PRINTING FUSED  
FILAMENT FABRICATION (FFF) DIPERKUAT KOMPOSIT CARBON FIBER***

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh:**

**Nama : Faiza Syahrul Mubarak**

**No. Mahasiswa : 17525079**

**NIRM : 170716001507031999**

Yogyakarta, 16 November 2022

Pembimbing ,



Muhammad Ridlwan S.T., M.M

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**PENGARUH KETEBALAN *HEXAGONAL RIBS* PADA  
PRODUK *ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE (ABS) 3D*  
PRINTING *FUSED FILAMENT FABRICATION (FFF)*  
DIPERKUAT KOMPOSIT *CARBON FIBER***

**TUGAS AKHIR**


**Disusun Oleh:**

**Nama : Faiza Syahrul Mubarak**  
**No. Mahasiswa : 17525079**  
**NIRM : 170716001507031999**

**Tim Penguji**


Muhammad Ridlwan, S.T.,M.T

Ketua

  
Tanggal : 07/12/2022


Santo Ajie Dhewanto, Ir., S.T.,M.M.IPP

Anggota I

  
Tanggal : 07/12/2022

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

Anggota II

  
Tanggal : 08/12/2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

Orang tua saya Bapak Agus Artyanto dan Ibu Suprpti yang telah memberikan nasihat danda yang tulus kepada saya sampai penulisan tugas akhir ini selesai.

Adik saya Mirza Aditya Mahendra yang selalu menjadi penyemangat saat mengerjakan tugas akhir ini



## HALAMAN MOTTO

"Yang namanya manusia itu punya semangat hidup, kau tidak bisa mengukur seseorang sukses dalam sekejap, selama manusia melakukan apa yang bisa ia lakukan dia punya hak untuk merasa bangga."

(Monkey D. Luffy)

"Hidup tidak pernah mudah. Ada pekerjaan yang harus dilakukan dan kewajiban yang harus dipenuhi – kewajiban terhadap kebenaran, keadilan, dan kebebasan."

(John F Kennedy)



## KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Assalamualaikum Wr. Wb

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

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T.,M.T.,IPP. Selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan dukungan dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Agus Artyanto dan Ibu Suprapti selaku orang tua serta Mirza Aditya Mahendra selaku saudara saya yang telah memberikan doa, semangat, perhatian, dankasih sayang yang begitu tulus.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang diberikan selama masa perkuliahan.
6. Teman seperjuangan Yolana Aprillio dan Muhammad Nur Faizun yang sudah saling membantu selama pengerjaan tugas akhir ini.
7. Teman-teman group “ALEX BAR RESTO” yang sudah menghibur dan menemani saya sepanjang mengerjakan tugas akhir ini
8. Untuk teman-teman “Sami Asih Group” yang sudah setia menemani dikala mengerjakan tugas akhir ini
9. Teruntuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terima kasih atas suka duka yang telah diberikan selama penulis berkuliah, semoga kebaikannya dapat diberi balasan oleh Allah SWT.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kesalahan, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam penulisan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

*Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Yogyakarta, 17 November 2022



Faiza Syahrul Mubarak

17525079





## ABSTRACT

*Composite is a material composed of two or more materials that have different mechanical properties between materials produced by a mixing process. Based on the structure, composites can be divided into two, namely layer structures and sandwich structures. In principle, the sandwich composite is a composite composed of 3 parts, namely the middle part as the core and the bottom and top as the skin. In this study, carbon (skin) was used, with ABS cores and ribs glued together using epoxy resin using the vacuum infusion method. This study aims to make sandwich composites combined with ABS material plus ribs using the vacuum infusion method to determine the comparison of the stiffness values of each specimen. The core is made using a 3D printing machine with ABS material with 20% infill and Gyroid pattern fill. Addition of ribs to specimens with various diameters and different thicknesses. Using rib thicknesses of 1 mm, 3 mm and 5 mm, and using variations in diameter of 10 mm, 20 mm and 30 mm for each specimen. 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. After testing, the Bedding Stiffness (D) and Specific Rigidity (D/W) were calculated for the specimens, both ABS and carbon skin specimens. Based on the bending tests that have been carried out, it shows that the specimen with a bending stiffness value is a specimen with 5mm thick ribs with a diameter of 10 mm made of ABS with skin carbon with a value of 11,476,762.99 N.mm<sup>2</sup>. While the highest specific stiffness is the specimen with carbon skin with ribs thickness of 5mm and a diameter of 10 mm with a value of 125,772.96 N.mm<sup>2</sup>*

## ABSTRAK

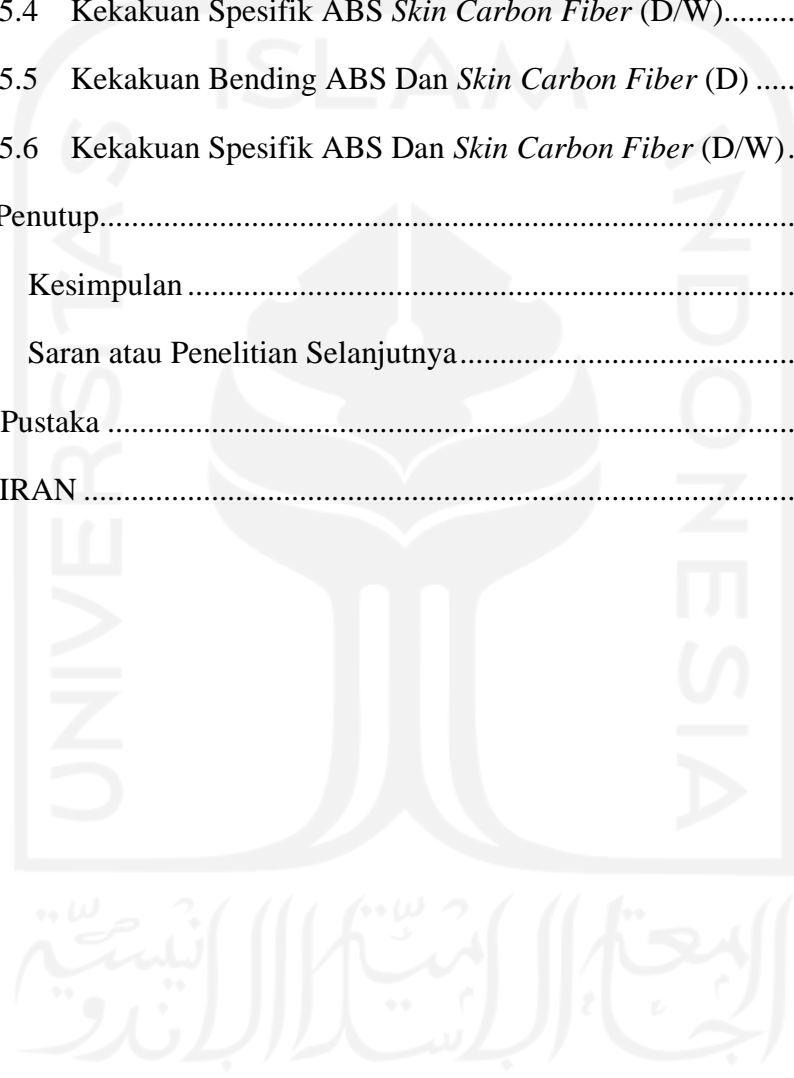
Komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik antar material berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran. Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur lapisan dan struktur sandwich. Pada prinsipnya komposit sandwich merupakan komposit yang tersusun dari 2 bagian yaitu bagian tengah sebagai core dan dibagian bawah serta atas sebagai skin. Pada penelitian ini menggunakan *carbon* (skin), dengan *core* ABS dan *ribs* yang direkatkan menggunakan epoxy resin dengan metode *vacuum infusion*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat komposit sandwich yang digabungkan dengan material ABS yang ditambah dengan *ribs* dengan metode *vacuum infusion* untuk mengetahui perbandingan nilai kekakuan masing-masing spesimen. Core dibuat menggunakan mesin 3D Print dengan bahan ABS dengan *infill* 20% dan *fill pattern Gyroid*. Penambahan *ribs* pada spesimen dengan beragam diameter dan ketebalan berbeda. Menggunakan ketebalan *ribs* 1 mm, 3 mm dan 5 mm, dan menggunakan variasi diameter 10 mm, 20 mm dan 30 mm pada masing-masing specimen. Penelitian ini menggunakan pengujian bending untuk mengetahui kekuatan pada masing – masing spesimen uji. Pengujian bending dilakukan di Laboraturim Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada. Setelah dilakukan pengujian kemudian menghitung Kekakuan Bending (D) dan Kekakuan Spesifik (D/W) pada specimen, baik specimen ABS maupun specimen dengan *skin carbon*. Berdasarkan pengujian bending yang telah dilakukan menunjukkan bahwa spesimen dengan nilai kekakuan bending adalah spesimen dengan tebal *ribs* 5 mm berdiameter 10 mm berbahan ABS dengan skin carbon dengan nilai sebesar 11.476.762,99 N.mm<sup>2</sup>. Sedangkan kekakuan spesifik tertinggi adalah specimen dengan skin carbon dengan tebal *ribs* 5 mm dan diameter 10 mm dengan nilai sebesar 125.772,96 N.mm<sup>2</sup>

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI ..	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iv
HALAMAN MOTTO.....	v
KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH .....	vi
ABSTRACT .....	viii
ABSTRAK .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR NOTASI .....	xvi
Bab 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4

Bab 2 Tinjauan Pustaka .....	5
2.1 Kajian Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori .....	6
2.2.1 Komposit .....	6
2.2.2 Komposit <i>Sandwich</i> .....	7
2.2.3 <i>FDM 3D Print</i> .....	9
2.2.4 <i>Vacuum Infusion</i> .....	9
2.2.5 ASTM C393 .....	10
2.2.6 Pengujian <i>Bending</i> .....	11
2.2.7 Modus Kegagalan Uji Bending Komposit <i>Sandwich</i> .....	13
Bab 3 Metode Penelitian .....	14
3.1 Alur Penelitian .....	14
3.2 Peralatan dan Bahan.....	15
3.3 Penentuan Dimensi Spesimen.....	21
3.3.1 Finite Element .....	21
3.3.2 Dimensi Spesimen .....	24
3.4 Proses Pengerjaan .....	26
3.4.1 Pembuatan <i>Core</i> Dengan Mesin 3D <i>Printing</i> .....	26
3.4.2 Susunan Lapis Komposit Diperkuat Karbon Fiber .....	30
3.4.3 Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	30
3.4.4 Hasil Setelah <i>Vacuum Infusion</i> .....	35
Bab 4 Hasil dan Pembahasan .....	37
4.1 Pengujian <i>Bending</i> .....	37
4.2 Hasil Pengujian Bending .....	38
4.3 Analisis dan Perhitungan .....	40
4.3.1 Analisis Mode Kegagalan.....	40

4.4	Perhitungan .....	44
4.5	Pembahasan .....	46
4.5.1	Kekakuan Bending ABS (D).....	46
4.5.2	Kekakuan Spesifik ABS (D/W).....	47
4.5.3	Kekakuan Bending ABS <i>Skin Carbon Fiber</i> (D).....	48
4.5.4	Kekakuan Spesifik ABS <i>Skin Carbon Fiber</i> (D/W).....	49
4.5.5	Kekakuan Bending ABS Dan <i>Skin Carbon Fiber</i> (D) .....	50
4.5.6	Kekakuan Spesifik ABS Dan <i>Skin Carbon Fiber</i> (D/W).....	51
Bab 5	Penutup.....	52
5.1	Kesimpulan .....	52
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	52
Daftar Pustaka	.....	54
LAMPIRAN	.....	55



## DAFTAR TABEL

Tabel 3 - 1 Tabel Hasil Finite Element .....	21
Tabel 3 - 2 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen .....	25
Tabel 3 - 3 Parameter Proses Pembuatan Core .....	26
Tabel 4 - 1 Data Hasil Pengujian Bending ABS .....	39
Tabel 4 - 2 Data Hasil Pengujian Bending ABS Skin Carbon .....	39
Tabel 4 - 3 Perbandingan Berat, Lebar, dan Tebal setelah Vakum .....	36
Tabel 4 - 4 Perhitungan Kekakuan Bending dan Kekakuan Spesifik ABS.....	44
Tabel 4 - 5 Perhitungan Kekakuan Bending dan Kekakuan Spesifik ABS Lapis CF .....	45
Tabel 4 - 6 Perhitungan Kekakuan Bending ABS.....	46
Tabel 4 - 7 Perhitungan Kekakuan Bending ABS.....	47
Tabel 4 - 8 Perhitungan Kekakuan Bending ABS.....	48
Tabel 4 - 9 Perhitungan Kekakuan Bending ABS.....	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 -1 Struktur Komposit <i>Sandwich</i> .....	7
Gambar 2 -2 Struktur <i>Honeycomb</i> .....	8
Gambar 2 -3Serat Karbon.....	8
Gambar 2 -4 Mesin 3D <i>Print</i> .....	9
Gambar 2 -5 Skema Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	10
Gambar 2 -6 Skema Pembebanan pada Three Point Bending.....	11
Gambar 2 7 Universal Testing Machine.....	12
Gambar 2- 8 Jenis Kegagalan Pada <i>Skin</i> Komposit <i>Sandwich</i> .....	13
Gambar 2 -9 Jenis Kegagalan Pada <i>Core</i> Komposit <i>Sandwich</i> .....	13
Gambar 3- 1 <i>Vacuum Pump</i> .....	15
Gambar 3- 2 <i>Catch Pot</i> .....	15
Gambar 3- 3Timbangan.....	16
Gambar 3- 4 <i>Vacuum Bag</i> .....	16
Gambar 3- 5 <i>Infusion Mesh</i> .....	17
Gambar 3- 6 <i>Peel Ply</i> .....	17
Gambar 3- 7 Selang .....	17
Gambar 3- 8 Selang Spiral .....	18
Gambar 3- 9 Epoxy dan <i>Hardener</i> .....	18
Gambar 3- 10 Butyl Tape .....	19
Gambar 3- 11 Lem Dexton.....	19
Gambar 3- 12 Filament ABS.....	20
Gambar 3- 13 Serat Karbon.....	20
Gambar 3- 14 Finite Element Spesimen 10-1 .....	22
Gambar 3- 15 Finite Element Spesimen 20-3 .....	22
Gambar 3- 16 Finite Element Spesimen 10-1 .....	23
Gambar 3- 17 Dimensi spesimen uji bending .....	21
Gambar 3- 18 Dimensi spesimen uji bending <i>core</i> 5mm dan <i>ribs</i> 15mm.....	24
Gambar 3- 19 Proses Pembuatan <i>Core</i> ABS.....	26
Gambar 3- 20 Hasil Print <i>Core</i> ABS.....	27
Gambar 3- 21 Susunan Lapisan Komposit <i>Sandwich</i> .....	30

Gambar 3- 22 Menyusun Lapisan <i>Carbon Fiber</i> .....	30
Gambar 3- 23 Menyusun Lapisan <i>Carbon Fiber</i> .....	31
Gambar 3- 24 Pemasangan Selang Spiral .....	31
Gambar 3- 25 Pelapisan Dextone .....	32
Gambar 3- 26 Memasukkan Bahan Kedalam Vacuum Bag.....	33
Gambar 3- 27 Pencampuran Epoksi dan Hardener .....	34
Gambar 3- 28 Proses Vacuum Infusion.....	34
Gambar 3- 29 Hasil <i>Core ABS</i> Setelah <i>Vacuum Infusion</i> .....	35
Gambar 4 - 1 Proses Pengujian <i>Three Point Bending</i> .....	37
Gambar 4 - 2 Hasil Pengujian Bending <i>core ABS</i> .....	38
Gambar 4 - 3 Hasil Pengujian Bending <i>core ABS skin carbon</i> .....	38
Gambar 4 - 4 Mode Kegagalan 1 .....	40
Gambar 4 - 5 Contoh Mode Kegagalan 1 Pada Spesimen .....	40
Gambar 4 - 6 Mode Kegagalan 2 .....	41
Gambar 4 - 7 Contoh Mode Kegagalan 2 Pada Spesimen .....	41
Gambar 4 - 8 Mode Kegagalan 3 .....	42
Gambar 4 - 9 Contoh Mode Kegagalan 3 Pada Spesimen .....	42
Gambar 4 - 10 Mode Kegagalan 4 .....	43
Gambar 4 - 11 Contoh Mode Kegagalan 4 Pada Spesimen .....	43
Gambar 4 - 12 Gambar Grafik D Spesimen ABS .....	46
Gambar 4 - 13 Gambar Grafik D/W Spesimen ABS .....	47
Gambar 4 - 14 Gambar Grafik D Spesimen ABS <i>Skin CF</i> .....	48
Gambar 4 - 15 Gambar Grafik D/W Spesimen ABS <i>Skin CF</i> .....	49
Gambar 4 - 16 Gambar Grafik D Spesimen ABS dan ABS <i>Skin CF</i> .....	50
Gambar 4 - 17 Gambar Grafik D/W Spesimen ABS dan ABS <i>Skin CF</i> .....	51



## DAFTAR NOTASI

$P$  = Beban yang diberikan ( N )

$L$  = Jarak antar titik tumpuan ( mm )

$\delta$  = Defleksi (mm)

$D$  = Kekakuan Bending (Nmm<sup>2</sup>)

$D/W$  = Kekakuan Spesifik (Nmm<sup>2</sup>)

$W$  = Berat

$t$  = Tebal *Ribs*

$d$  = Diameter *Ribs*

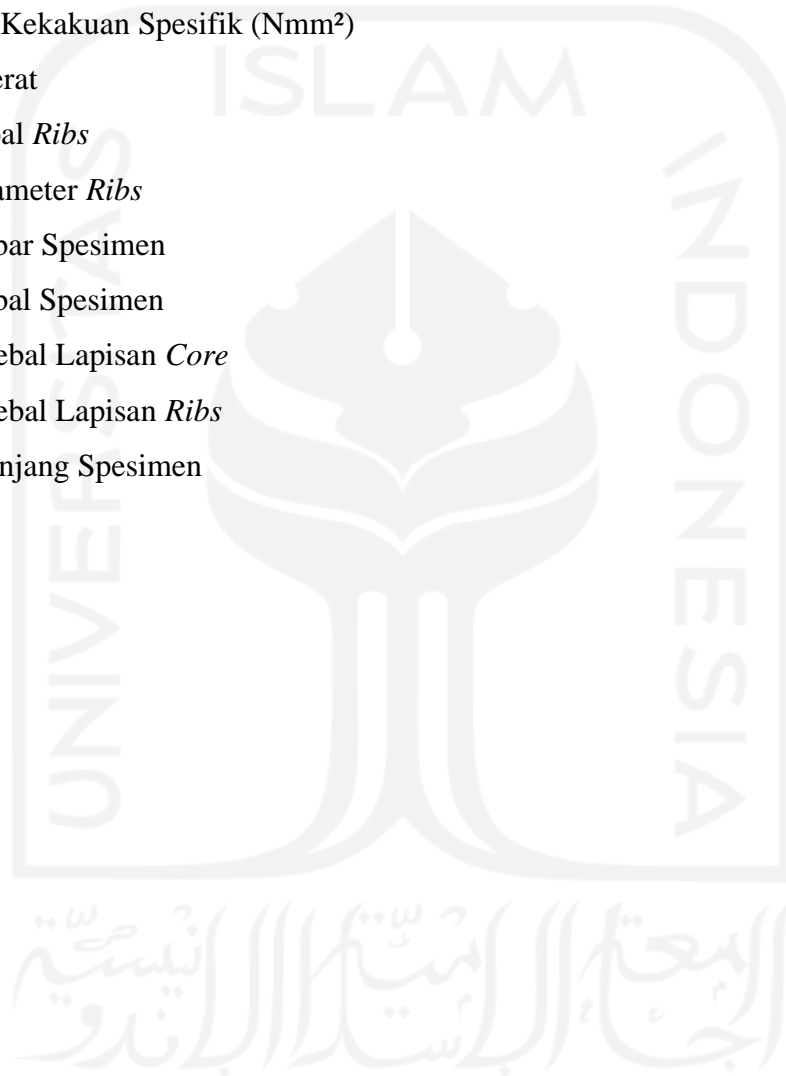
$b$  = Lebar Spesimen

$h$  = Tebal Spesimen

$h1$  = Tebal Lapisan *Core*

$h2$  = Tebal Lapisan *Ribs*

$p$  = Panjang Spesimen



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan semakin berkembang dan majunya zaman diperlukan pengembangan teknologi yang harus seiring sejalan dengan kebutuhan manusia modern. Salah satunya adalah pengembangan teknologi dalam bidang material, Kebutuhan akan material yang memiliki beberapa sifat umum seperti kuat, kaku, dan ringan sangat dibutuhkan pada saat ini. Kebutuhan akan material ini mencakup dalam berbagai bidang kehidupan saat ini 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 material komposit.

Komposit adalah material yang dibentuk dari campuran dua atau lebih material baku dengan tujuan untuk mendapatkan *mechanical properties* atau sifat mekanis yang lebih baik dan lebih bernilai. Dengan kata lain, komposit adalah material baru yang diharapkan memiliki kualitas baik dari material-material baku. Material komposit memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan material yang biasa digunakan seperti kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan berat yang lebih ringan.

*3D Printing* atau biasa juga dikenal dengan *additive layer manufacturing* adalah proses membuat objek pada tiga dimensi atau berbagai bentuk apapun dari model digital. Pada umumnya material dari *3D print* sendiri biasanya menggunakan *filament* PLA. PLA sendiri memiliki kelebihan dan kekurangan dimana kelebihan dari PLA adalah bahan yang banyak dijumpai di pasaran. Namun PLA memiliki kelemahan yaitu daya tahan yang rendah. Untuk itu digunakan material ABS yang memiliki sifat tahan panas yang dapat bertahan pada perubahan mekanis selama proses uji berlangsung, Diharapkan dengan dipilihnya material ABS bisa mendapatkan material terbaik yang kuat, ringan, dan tahan perubahan sifat mekanis.

Beberapa penelitian yang dilakukan para ilmuwan dalam beberapa tahun terakhir ini adalah mencoba menggabungkan keunggulan fleksibilitas sifat mekanik komposit *sandwich* dengan keunggulan fleksibilitas dan kompleksitas geometri produk 3D *printing* dalam satu produk. Penggabungan kedua teknologi ini memberikan peluang bahwa geometri dan sifat mekanik produk dapat dirancang lebih fleksibel disesuaikan dengan penggunaannya dalam sistem mekanik

Namun komposit *sandwich* memiliki nilai kekakuan yang masih rendah dan proses pembuatannya terbilang mahal karena menggunakan 2 *skin* di atas dan dibawah. Dengan adanya kekurangan pada komposit *sandwich* perlu dilakukan inovasi agar mendapatkan material komposit yang lebih kaku dan biaya yang dikeluarkan lebih murah. Ide penambahan *ribs* pada *core* yang diinspirasi dari struktur bangunan bertingkat yang memiliki keunggulan kekakuan yang baik. *Ribs* yang dibuat berbentuk *honeycomb* karena saling berkaitan sehingga kekakuan yang dihasilkan baik. Penambahan *ribs* pada *core* memberikan peluang bahwa geometri dan sifat mekanik produk dapat lebih unggul. Selain itu dalam pembuatan produk *skin* yang digunakan hanya 1 sisi, untuk menekan biaya agar lebih murah dari komposit *sandwich* pada umumnya.

Serat karbon (*carbon fiber*) adalah material penguat pada komposit *sandwich* yang memiliki keunggulan pada rasio kekuatan dengan beratnya yang sangat baik (ringan). Struktur *gyroid* dipilih pada *infill* 3D *print* karena memiliki sifat mekanik yang baik pada arah beban bending. Penggabungan antara kekuatan serat karbon sebagai *skin* dan *core* yang diperkuat dengan *ribs* dengan struktur *gyroid* ini diharapkan dapat menghasilkan komposit *sandwich* yang memiliki sifat mekanik lebih tinggi.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi tebal *ribs* pada spesimen terhadap kekakuan bending?
2. Bagaimana pengaruh nilai kekakuan variasi tebal *ribs* pada spesimen ABS dengan penambahan skin *carbon fiber* pada 3D print *ribs*?

### 1.3 Batasan Masalah

1. Jenis material *core* yang diteliti adalah ABS dengan *skin* serat *carbon fiber* menggunakan metode *vacuum infusion*
2. Pembuatan spesimen menggunakan mesin *3D Print* dengan *infill* 20% dan *fill pattern Gyroid*.
3. Tebal *core* ABS yang digunakan yaitu 5 mm sebagai *core* inti dan 15 mm sebagai *ribs honeycomb* dengan satu lapis *skin* serat *carbon fiber* pada bagian atas
4. *Ribs* menggunakan bentuk *Hexagon / Honeycomb*
5. Spesimen yang diuji menggunakan standar ASTM C393
6. Pengujian hanya menggunakan uji bending
7. *Finite Element* hanya untuk memilih dimensi desain

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pengujian ini, yaitu :

1. Mencari nilai kekakuan bending dan kekakuan spesifik tertinggi dari spesimen uji.
2. Menguji perbedaan beban maksimal, kekakuan bending, kekakuan spesifik antara spesimen dengan *skin carbon fiber* maupun tidak.
3. Menguji beban maksimal, kekakuan bending dan kekakuan spesifik tertinggi dari variasi tebal *ribs* masing-masing spesimen dengan *skin carbon* maupun tidak.
4. Mencari tebal *ribs* yang paling kuat dari masing-masing spesimen.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapat setelah melakukan pengujian ini, yaitu :

1. Mengetahui perbedaan nilai kekakuan masing-masing material dengan yang ditambah skin *carbon fiber* maupun tidak.
2. Mengetahui perbedaan nilai kekakuan spesimen dengan variasi ketebalan *ribs* yang berbeda
3. Hasil penelitian dapat digunakan untuk merancang produk-produk tertutup 3D Print FDM menggunakan *ribs* dan diperkuat *carbon fiber*.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB I Pendahuluan**

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

### **BAB II Tinjauan Pustaka**

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

### **BAB III Metode Penelitian**

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

### **BAB IV Hasil dan Pembahasan**

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

### **BAB V Penutup**

Pada bab ini berisikan tentang Kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka pertama yang dijadikan sebagai dasar penelitian ini yaitu membahas “Studi Sifat Mekanik Komposit *Sandwich Divinycell Foam* dengan Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) untuk Float Pesawat Amfibi” oleh (Lailatul, 2021). Dimana dalam penelitian ini meneliti tentang sifat mekanik dari komposit *sandwich* dengan jumlah *layer-core-layer*, 4:1:2. Berdasarkan hasil penelitian tersebut didapatkan pada spesimen yang telah dilakukan proses *post curing* nilai *flatwise compressive ultimate strenght* lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen tanpa proses *post curing*. Untuk nilai *edgewise compressive ultimate strenght post curing* juga lebih tinggi dibandingkan *non curing*.

Kajian pustaka yang kedua 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 yang ketiga berasal dari penelitian yaitu membahas “Pengaruh Ketebalan *Core (3D Print)* Terhadap Uji Bending Spesimen Komposit *Sandwich* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion*. Oleh (Ashfan, 2022). Pada penelitian tersebut meneliti tentang pengaruh ketebalan *core* komposit *Sandwich* terhadap kekakuan bending menggunakan metode *vacuum infusion*. Penelitian tersebut menggunakan variasi core dengan ketebalan 5 mm, 10 mm, dan 15 mm

dan menggunakan standar ASTM D790. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa nilai kekakuan yang paling tinggi dimiliki oleh spesimen dengan tebal *core* 15 mm. selain itu beban maksimal, luas penampang, momen inersia, tegangan lentur, modulus elastisitas, dan kekakuan spesimen yang dilapisi komposit *sandwich* memiliki nilai yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan spesimen yang tidak dilapisi dengan komposit.

Kajian pustaka keempat 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 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 Komposit**

Komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik antar material berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran. Pencampuran material komposit biasanya merupakan pencampuran antara pengisi dan matrik yang terdiri dari bermacam-macam kombinasi. Pengisi dapat berupa partikel kecil atau berbentuk serat. Saat ini bahan komposit yang diperkuat dengan serat merupakan bahan teknik yang banyak digunakan karena

kekuatan dan kekakuan spesifik yang jauh di atas bahan teknik pada umumnya (Yani, 2019).

Material komposit memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan material yang biasa digunakan seperti kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan berat yang lebih ringan

### 2.2.2 Komposit *Sandwich*

Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur lapisan dan struktur *sandwich*. Pada prinsipnya komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 2 bagian yaitu bagian tengah sebagai *core* dan dibagian bawah serta atas sebagai *skin*. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. (Hidayat dkk., 2016). Struktur komposit *sandwich* ditunjukkan oleh gambar 2-1



Gambar 2 - 1 Struktur Komposit *Sandwich*

(Sumber Foto: [www.id.wikipedia.org](http://www.id.wikipedia.org))

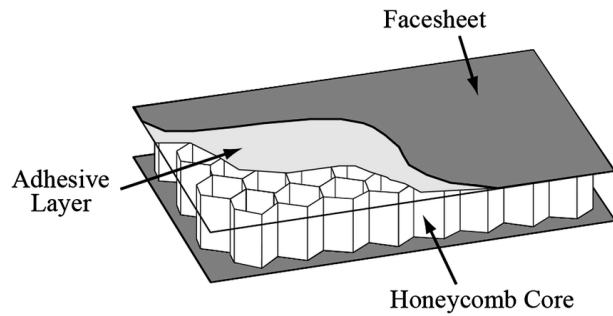
*Core* digunakan untuk memperkuat komposit sehingga sifat mekaniknya dapat lebih kaku, kuat, dan tangguh bila dibandingkan dengan tidak menggunakan *core*.

*Skin* merupakan struktur *sandwich* yang berfungsi sebagai pelapis *core* pada saat melakukan komposit *sandwich*. Untuk melakukan metode ini *skin* harus direkatkan secara rapat ke *core* dengan menggunakan resin dan katalis untuk perekatannya.

#### 2.2.2.1 *Core*

Salah satu bagian yang penting dari komposit *sandwich* adalah *core*, dimana bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Dengan kekakuannya *core* diharapkan harus mampu menahan geseran agar tidak terjadi *slide* antar permukaan. Struktur *core honeycomb* ditunjukkan oleh gambar 2-2.





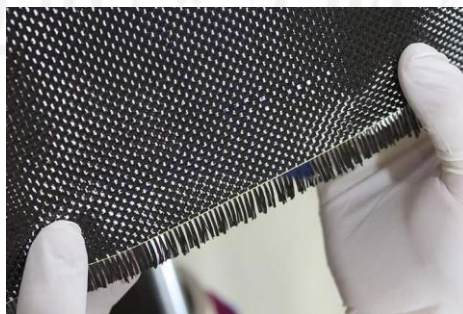
Gambar 2 – 2 Struktur *Honeycomb*  
(Sumber Foto: [www.id.wikipedia.org](http://www.id.wikipedia.org))

Berbagai jenis bentuk *core* telah banyak diterapkan pada struktur *sandwich*. Salah satu bentuk *core* yang paling banyak digunakan pada struktur *sandwich* yaitu bentuk sarang lebah (*honeycomb*) (Marsono dkk., 2019). Struktur *honeycomb* memiliki ketahanan kompresi dan gaya geser yang lebih besar jika dibandingkan dengan struktur lainnya.

#### 2.2.2.2 *Skin*

*Skin* merupakan bagian dari struktur komposit *sandwich* dimana *skin* terletak pada bagian terluar atau biasanya bagian yang melapisi *core*. *Skin* berfungsi untuk menahan *tensile* dan *compressive stress*.

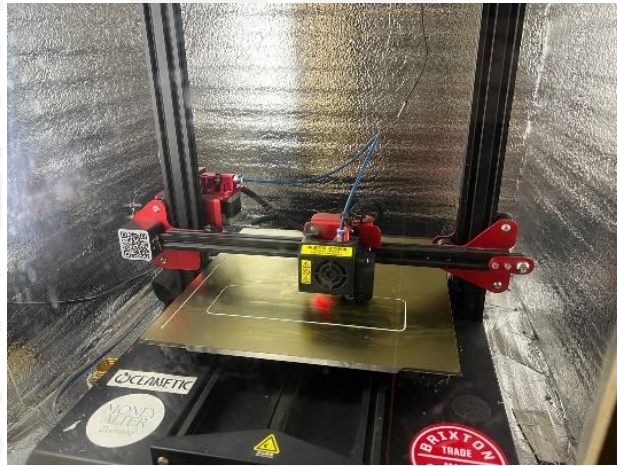
Beberapa jenis material lainnya dapat dijadikan sebagai bahan untuk *skin* seperti plat logam, baja, aluminium, dan *polymer* yang diperkuat oleh serat. Pemilihan material yang akan digunakan sebagai *skin* juga sangat penting. Kekuatan mekanis struktur *sandwich* sangat bergantung pada material penyusunnya, oleh sebab itu untuk meningkatkan sifat mekanis kekuatan bending struktur *sandwich* salah satunya dapat dilakukan dengan cara pemilihan jenis material *skin* yang tepat.



Gambar 2 - 3 Serat Karbon (Sumber Foto: [www.google.com](http://www.google.com))

### 2.2.3 FDM 3D Print

3D Printing atau biasa juga dikenal dengan *additive layer manufacturing* adalah proses membuat objek pada tiga dimensi atau berbagai bentuk apapun dari model digital. 3D printer ini bisa mencetak, modelling, purwarupa / pemodelan, alat-alat peraga untuk pendidikan, model perhiasan, alat-alat penunjang kesehatan, desain produk, mainan anak-anak dan berbagai kebutuhan untuk mencetak bentuk dalam tiga dimensi. *Fused deposition modeling* (FDM) 3D printing, atau yang biasa juga dikenal dengan *fused filament fabrication* (FFF) adalah proses *additive manufacturing* yang masuk ke dalam kategori metode ekstrusi. FDM menghasilkan produk dengan menambahkan lapis demi lapis material leleh pada jalur yang telah ditentukan. Gambar 2- 4 menunjukkan gambar mesin 3d print yang digunakan dalam mencetak spesimen

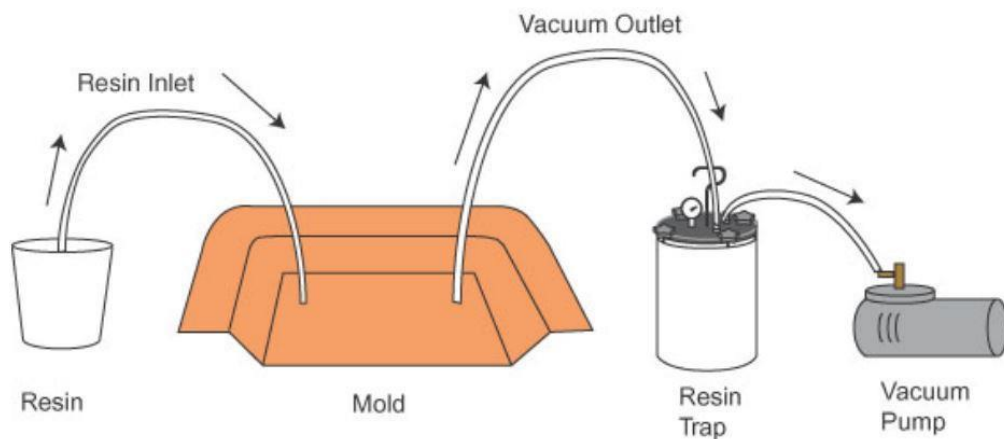


Gambar 2 - 4 Mesin 3D Print

### 2.2.4 Vacuum Infusion

Untuk membuat material komposit terdapat banyak metode salah satu diantaranya yaitu dengan *vacuum infusion*. *Vacuum Infusion* adalah salah satu metode manufaktur untuk membuat material komposit dimana metode ini memanfaatkan kevakuman udara atau biasa disebut juga proses cetakan tertutup karena cetakan ini nanti di tutup oleh plastik *bag* yang diberi perekat (*sealing-tape*) agar udara dalam cetakan tervakum, yang nantinya aliran dari resin akan mengalir

masuk dan mengisi cetakan tersebut. Gambar 2-5 adalah skema proses *vacuum infusion*



Gambar 2 - 5 Skema Proses *Vacuum Infusion*

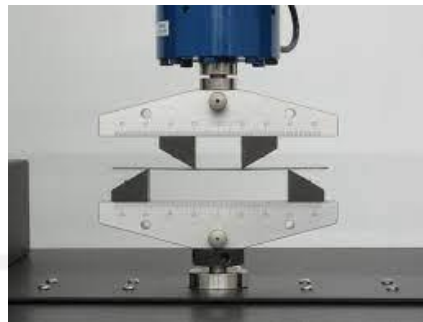
(Sumber Foto: [www.id.wikipedia.org](http://www.id.wikipedia.org))

Penggunaan metode *vacuum infusion* ini memiliki manfaat dan keunggulan karena dalam proses pembuatannya tidak perlu banyak campuran tangan manusia. Manusia hanya menyiapkan bahan-bahannya saja dan memantau kinerja dari alat tersebut. Dengan metode ini mampu membuat benda kerja yang memiliki tingkat ketelitian yang cukup sulit.

### 2.2.5 ASTM C393

ASTM C393 adalah standar atau metode pengujian yang dirancang untuk menentukan sifat geser *core* dari konstruksi *sandwich*. Sifat geser ditentukan melalui uji bending yang dilakukan dalam kondisi pembebanan di 1 sampai 2 titik. Standar pengujian ini memerlukan peralatan uji bending dengan bantalan dan tekanan untuk membantu memberikan hasil sifat geser inti yang paling akurat dan konsisten, bahkan dengan hasil konstruksi *sandwich* yang terkadang sulit

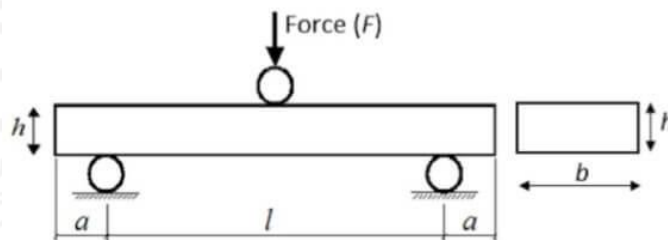
teridentifikasi. Gambar 2-6 adalah gambar peralatan uji yang menggunakan standar ASTM C393



Gambar 2 6 ASTM C393 (Sumber Foto: [www.admet.com](http://www.admet.com))

### 2.2.6 Pengujian *Bending*

Uji lengkung (*bending test*) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan pada suatu titik ditengah-tengah spesimen yang ditahan diatas dua tumpuan. Pada pengujian bending spesimen bagian atas mengalami gaya tekan, sedangkan bagian bawah mengalami tegangan tarik. Proses pengujian bending memiliki 2 macam pengujian, yaitu *three point bending* dan *four point bending* (Beliu dkk., 2016). Gambar 2-7 adalah gambar skema pembebanan pada *three point bending*



Gambar 2 - 7 Skema Pembebanan pada Three Point Bending



Gambar 2 - 8 Universal Testing Machine

Rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan bending sebagai berikut:

1. Besar Tegangan Maksimal

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

2. Persamaan Defleksi Maksimal

$$\delta = \frac{p \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_{Sandwich}} \quad (2.2)$$

3. Modulus Elastisitas

$$E = \frac{p \cdot L^3}{48 \cdot \delta \cdot I_{Sandwich}} \quad (2.3)$$

4. Kekakuan Bending

$$D = E \cdot I_{sandwich} = \frac{p \cdot L^3}{48 \cdot \delta} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$\sigma$  = Tegangan bending maksimal (MPa)

E = Modulus elastisitas bending (N/mm<sup>2</sup>)

P = Beban yang diberikan (N)

L = jarak point (mm)

b = lebar benda uji (mm)

h = ketebalan benda uji (mm)

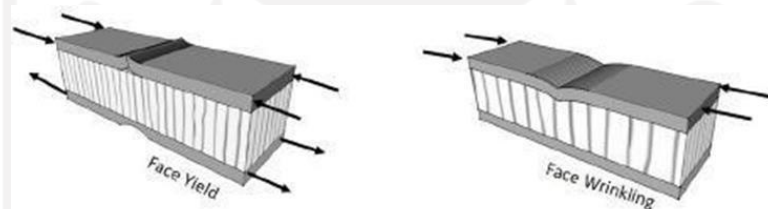
$\delta$  = Defleksi (mm)

I = Momen Inersia (kgm)

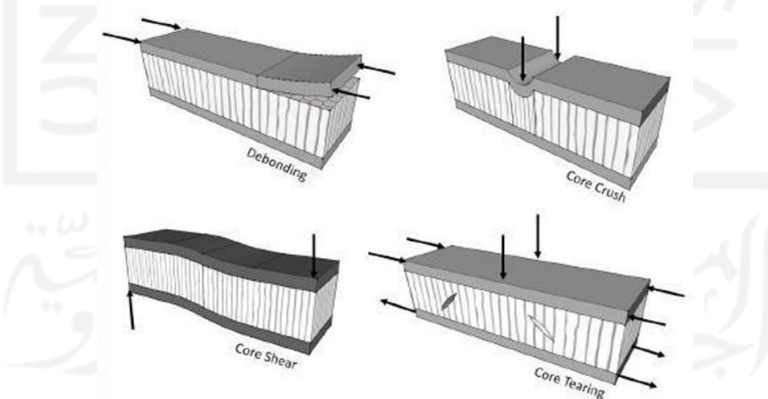
A = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)

### 2.2.7 Modus Kegagalan Uji Bending Komposit *Sandwich*

Dalam pengaplikasiannya pada bidang rekayasa, komposit *sandwich* mengalami berbagai macam beban mekanik, seperti misalnya beban tarik, tekan, lentur, geser dan puntir. Tidak jarang pula pada keadaan dilapangan terkadang beban yang diterima oleh material ini melebihi beban pada saat perancangan sehingga mengakibatkan terjadinya kegagalan pada material ini. Gambar 2-9 dan 2-10 berikut adalah kegagalan yang terjadi pada komposit *sandwich*:



Gambar 2- 9 Jenis Kegagalan Pada *Skin* Komposit *Sandwich*

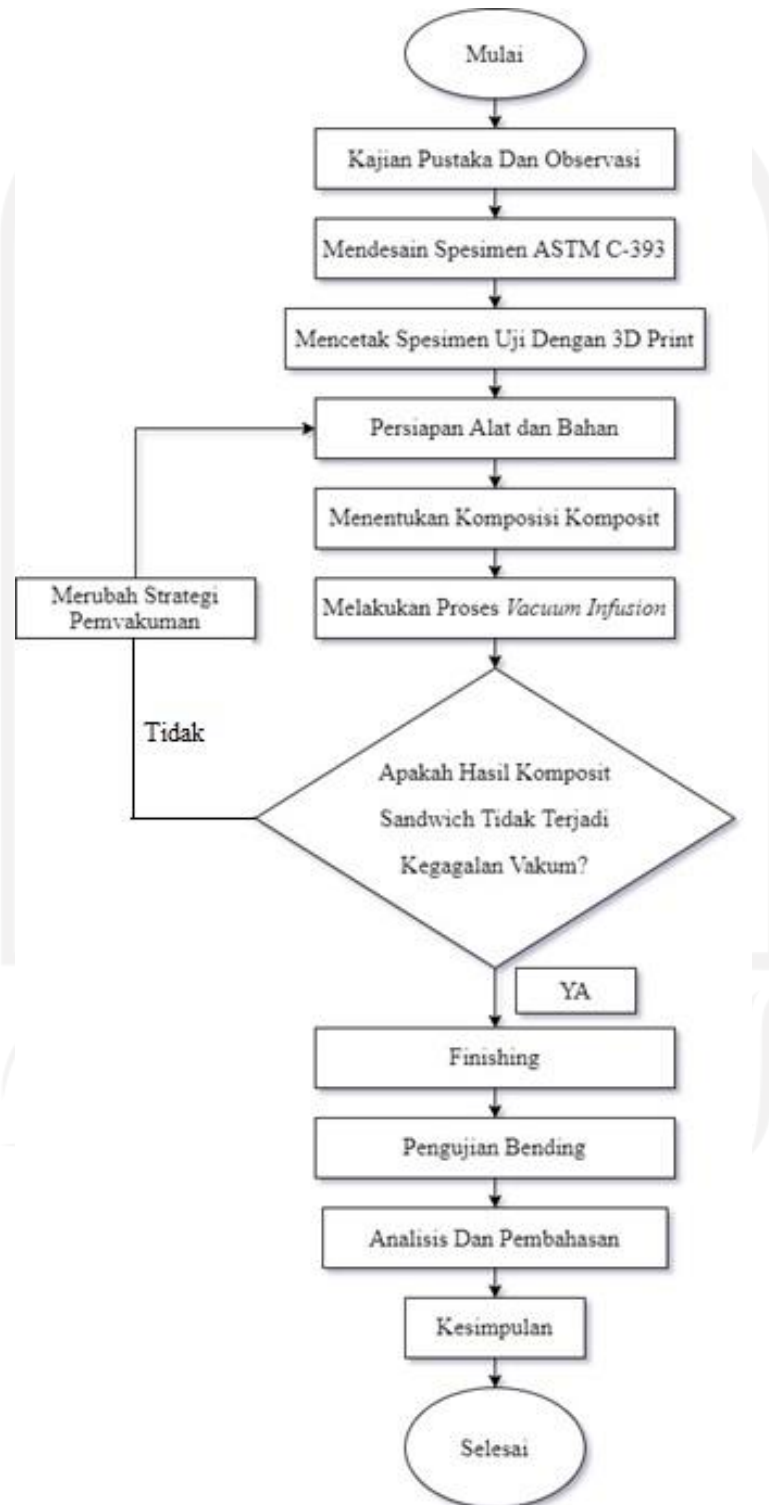


Gambar 2 - 10 Jenis Kegagalan Pada *Core* Komposit *Sandwich*

# BAB 3

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian



## 3.2 Peralatan dan Bahan

### 1. Pompa Vakum

Pada gambar 3-1 dibawah ini menunjukkan pompa vakum dengan tenaga sebesar  $\frac{1}{2}$  HP yang berfungsi sebagai penghisap udara pada saat proses *vacuum infusion*. Gambar 3-1 adalah gambar *vacuum pump* yang digunakan selama proses *vacuum infusion*.



Gambar 3- 1 *Vacuum Pump*

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

Tabung Reservoir (*Catch pot*) adalah tabung yang memiliki 1 input dan 1 output yang berfungsi untuk menampung sisa dari resin saat resin mengisi cetakan yang sudah di vakumkan dan juga untuk mencegah sisa resin memasuki pompa yang bisa menyebabkan kerusakan pada pompa, serta untuk membaca tekanan saat melakukan proses vakum, seperti terlihat pada gambar 3-2



Gambar 3- 2 *Catch Pot*



### 3. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk menakar campuran epoxy dan *hardener*. Dan juga diperlukan untuk menimbang berat spesimen sebelum dilapisi dan sesudah dilapisi. Gambar 3-3 adalah gambar timbangan yang digunakan



Gambar 3- 3 Timbangan

### 4. *Vacuum Bag*

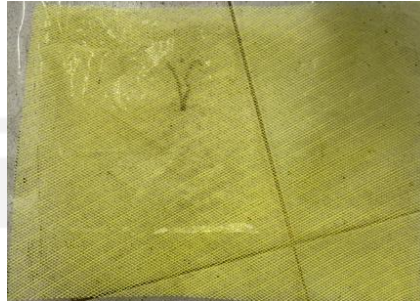
*Vacuum Bag* berfungsi sebagai tempat diletakkannya spesimen komposit yang akan dilakukan proses *vacuum infusion*. *Vacuum bag* juga berfungsi untuk mencegah adanya udara yang masuk pada saat proses *vacuum infusion*. Gambar 3-4 adalah gambar *vacuum bag* selama proses *vacuum*



Gambar 3- 4 *Vacuum Bag*

#### 5. *Infusion Mesh*

*Infusion mesh* berfungsi sebagai media penyebaran campuran epoxy dan *hardener* agar dapat berjalan dengan lancar. Gambar 3-5 adalah gambar *infusion mesh* yang digunakan selama proses *vacuum infusion*



Gambar 3- 5 *Infusion Mesh*

#### 6. *Peel Ply*

*Peel Ply* berfungsi sebagai pembatas antara *infusion mesh* dengan *carbon fiber* agar pada saat pelepasan spesimen dapat dilepas lebih mudah seperti yang terlihat pada gambar 3-6 adalah *peel ply* yang digunakan.



Gambar 3- 6 *Peel Ply*

#### 7. Selang

Selang berfungsi untuk mengalirkan resin dari wadah kedalam *vacuum bag* dan sebagai saluran *vacuum* pada *vacuum pump* ke *catch pot*. Selang yang digunakan seperti yang terlihat pada gambar 3-7



Gambar 3- 7 Selang

## 8. Selang Spiral

Selang spiral berfungsi untuk mengalirkan resin ke semua bagian dalam cetakan dan menyalurkan aliran tekanan dari *vacuum pump*. Selang spiral yang digunakan seperti yang terlihat pada gambar 3-8



Gambar 3- 8 Selang Spiral

## 1. Epoxy dan *Hardener*

Epoxy merupakan senyawa kimiawi yang didapatkan dari proses polimerisasi epoksida. Epoxy berfungsi sebagai perekat antara *core 3D printing* dan serat karbon. *Hardener* merupakan senyawa kimia yang dapat membantu mempercepat proses pengerasan pada epoxy. Epoxy dan hardener yang digunakan terlihat pada gambar 3-9.



Gambar 3- 9 Epoxy dan *Hardener*

## 2. Butyl Tape

*Butyl Tape* berfungsi untuk merekatkan plastik vakum di setiap sisi agar tidak terjadi kebocoran yang dapat menyebabkan udara dari luar masuk ke dalam plastik vakum. Gambar 3-10 adalah *butyl tape* yang digunakan selama proses *vacuum infusion*.



Gambar 3- 10 *Butyl Tape*

## 3. Lem Dextone

Lem dextone berfungsi sebagai perekat antara *core 3D printing* dan serat karbon sebelum dilakukan *vacuum infusion* agar serat karbon lebih menempel pada *core*. Gambar 3-11 adalah gambar lem dextone.



Gambar 3- 11 Lem Dexton

(Sumber Foto:www.google.com)

#### 4. *Filament ABS*

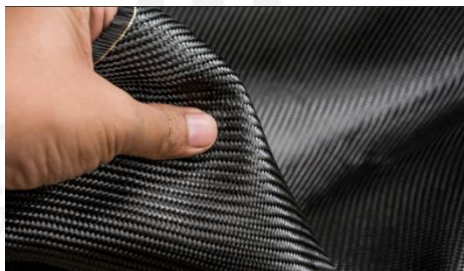
*Filament ABS* yang digunakan pada penelitian ini yaitu merk esun dengan tebal filament 1,75 mm . Gambar 3-12 adalah gambar filament ABS yang digunakan.



Gambar 3- 12 Filament ABS  
(Sumber Foto: [www.google.com](http://www.google.com))

#### 5. Serat Karbon

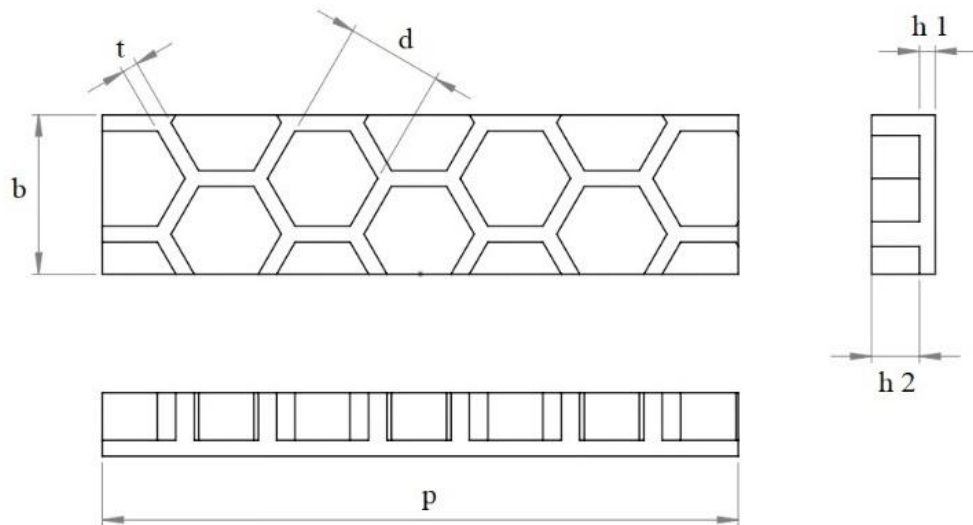
Serat karbon yang digunakan pada penelitian ini menggunakan serat karbon kevlar fiber fabric 3k 2x2 200 gsm plain & twill. Carbon fiber yang digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada gambar



Gambar 3- 13 Serat Karbon

### 3.3 Penentuan Dimensi Spesimen

#### 3.3.1 Finite Element



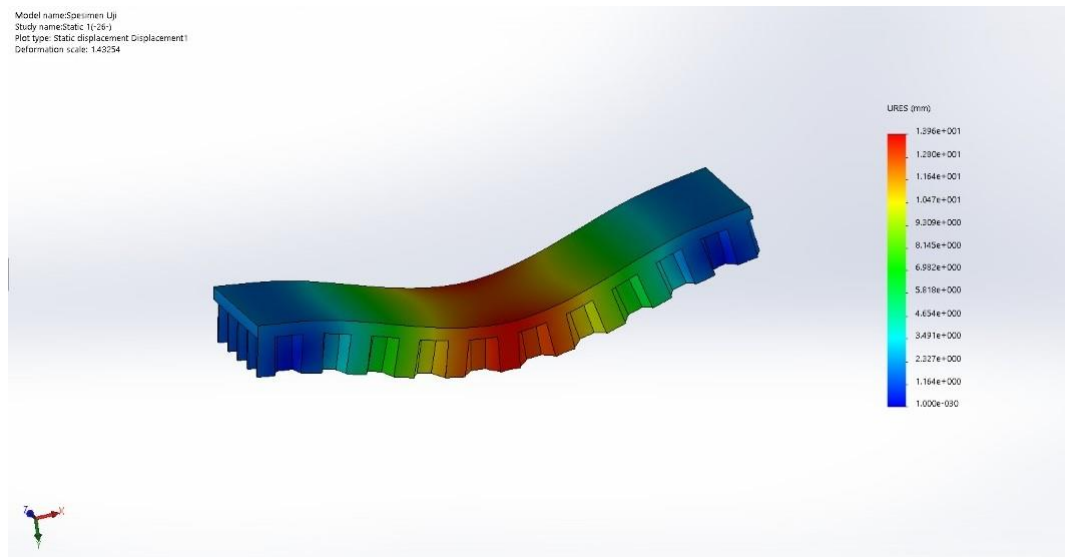
Gambar 3- 14 Dimensi spesimen *finite element*

h 1 : h 2	d	t	Defleksi Vertikal Maksimum	Weight	Flexural Rigidity	
			$\delta$	W	D	D/W
mm	mm	mm	mm	g	N.mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>
5 : 15	10	1	6,97E-02	94	29,87E04	31,78E02
5 : 15	10	3	3,05E-02	108	68,21E04	63,16E02
5 : 15	10	5	2,63E-02	106	79,09E04	74,62E02
5 : 15	20	1	7,31E-02	75	28,49E04	37,99E02
5 : 15	20	3	4,45E-02	86	46,78E04	54,39E02
5 : 15	20	5	3,87E-02	88	53,83E04	61,18E02
5 : 15	30	1	9,48E-02	68	21,98E04	32,33E02
5 : 15	30	3	5,22E-02	77	39,95E04	51,88E02
5 : 15	30	5	4,82E-02	78	43,24E04	55,43E02

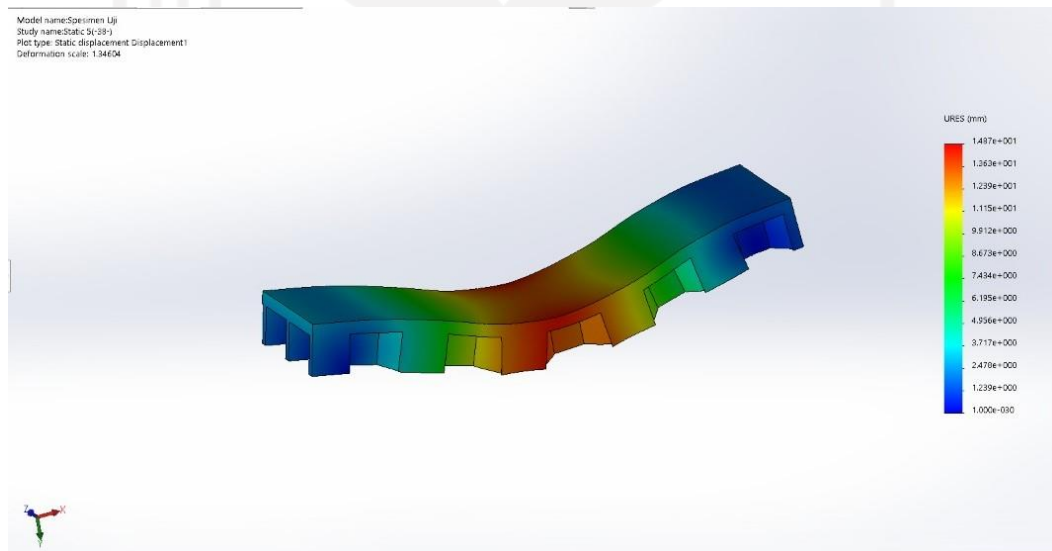
Tabel 3 - 1 Tabel Hasil Finite Element

Sebelum menentukan dimensi spesimen, terlebih dahulu dilakukan *finite element* dan didapat hasil seperti diatas. Data diatas dipilih dari total 75 desain dengan berbagai ukuran dan didapat 15 data dengan hasil terbaik. Setelah itu Kembali dipilih dimensi untuk tebal *ribs* dan diambil tebal *ribs* dengan perbedaan masing-masing 2 mm untuk mendapatkan variasi data yang lebih beragam setelah

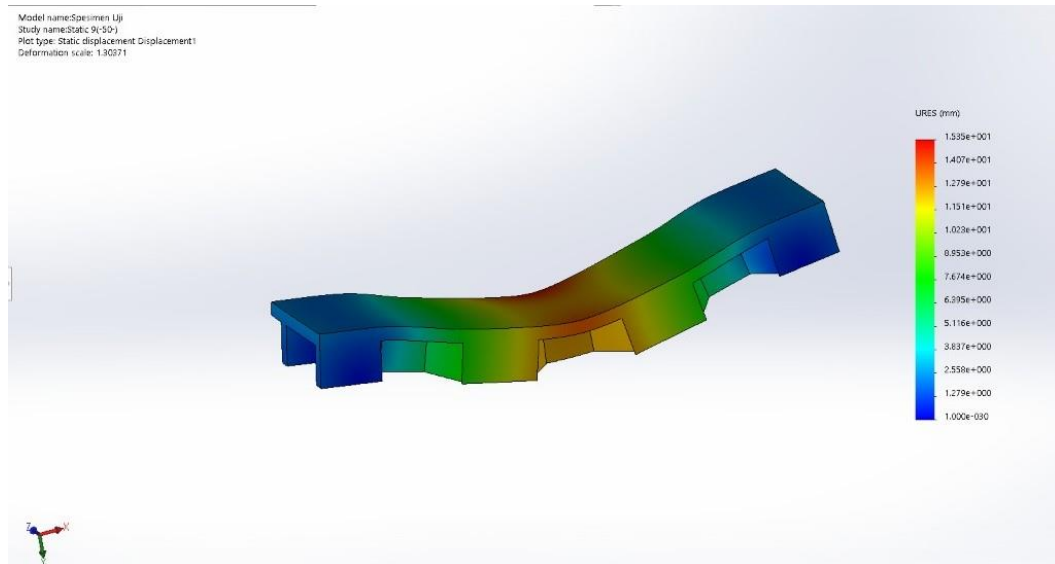
dilakukan uji bending nantinya. Dan dipilih dimensi spesimen dengan tebal 1 mm, 3 mm, dan 5 mm (Faizun, 2022).



Gambar 3- 15 Finite Element Spesimen 10-1



Gambar 3- 16 Finite Element Spesimen 20-3



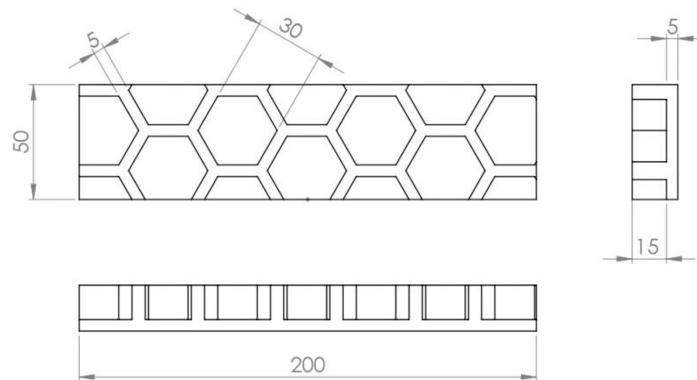
Gambar 3- 17 Finite Element Spesimen 10-1

Gambar 3-15 sampai 3-17 adalah hasil dari pengujian Finite Element menggunakan aplikasi Solidworks. Finite element digunakan sebagai acuan awal dipilihnya dimensi spesimen dan gambaran hasil pengujian beban, sebelum nantinya didapatkan hasil dari pengujian bending. Proses finite element dilakukan dalam satu kelompok tugas akhir sebelum fokus pada masing-masing topik.



### 3.3.2 Dimensi Spesimen

Spesimen komposit *sandwich* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan standar ASTM C393, dengan bahan core ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) serta *infill* 20% dengan *fill pattern gyroid*.



Gambar 3- 18 Dimensi spesimen uji bending *core* 5mm dan *ribs* 15mm

Pada gambar 3- 18 menunjukkan dimensi spesimen yang akan dibuat pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM C393. Pada penelitian ini dibuat ini *ribs* dibuat dengan variasi dimensi yang berbeda yaitu dengan tebal 1 mm, 3 mm dan 5 mm, dengan diameter 10 mm, 20 mm dan 30 mm serta desain 3D print tanpa dilapisi komposit sebagai nilai pembandingan sebelum dilakukan *vacuum infusion* dan sesudah *vacuum infusion*.

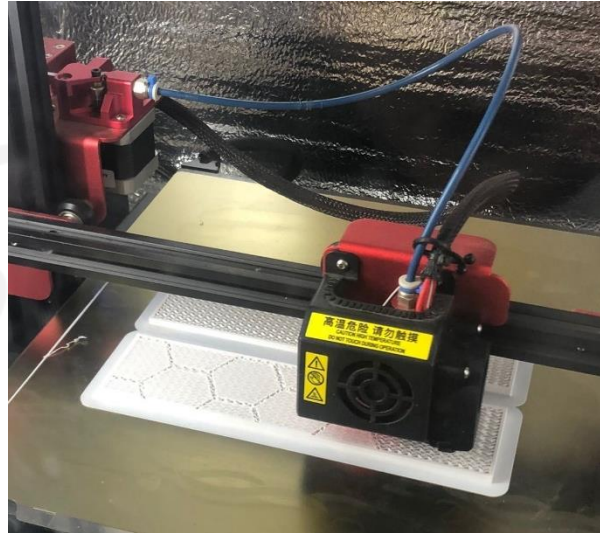
Tabel 3 - 2 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen

No	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Berat
		t	b	W
		(mm)	(mm)	(g)
1	A10-1	19,755	49,72	52,835
2	A10-3	19,82	49,94	84,905
3	A10-5	19,755	50,1	84,435
4	A20-1	19,725	49,91	39,985
5	A20-3	20,01	49,785	60,94
6	A20-5	20,01	49,97	63,1
7	A30-1	19,945	49,92	34,765
8	A30-3	20,05	49,83	51,11
9	A30-5	19,7	49,86	56,945

Tabel 3-2 diatas adalah tabel perhitungan awal tebal, lebar dan berat awal spesimen. Dengan memberi keterangan untuk setiap spesimen yaitu A yang berarti spesimen ABS diikuti angka 10, 20, 30 yang berarti diameter *ribs* dari masing-masing spesimen dan angka terakhir 1, 3, 5 yang berarti tebal *ribs* dari masing-masing spesimen

### 3.4 Proses Pengerjaan

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



Gambar 3- 19 Proses Pembuatan Core ABS

Kode	Infill (%)	Suhu bed (°C)	Suhu nozzle (°C)	Speed (°C)
ABS	20	65	235	80

Tabel 3 - 3 Parameter Proses Pembuatan Core

Pada tabel 3- 3 dan gambar 3-19 diatas menunjukkan parameter proses 3D print spesimen uji yang dibuat dengan menggunakan bahan ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), dengan *infill* 20%, *layer thickness* 0,2 mm, suhu *bed* 55 °C, suhu *nozzle* 235 °C, *speed* 80% dengan menggunakan *gyroid* sebagai *fill* patternnya



Gambar 3- 20 Hasil Print *Core* ABS

Pada gambar 3- 20 menunjukkan gambar spesimen uji yang telah dilakukan proses 3D Print *Fused Filament Fabrication* (FFF). Pada gambar 3- 20 dengan kode A10.1 memiliki pengertian *core* ABS dengan diameter 10 mm *ribs* dan tebal *ribs* 1 mm. Kode A10. 3 memiliki pengertian *core* ABS dengan diameter 10 mm *ribs* dan tebal *ribs* 3 mm. Kode A10. 5 memiliki pengertian *core* ABS dengan diameter *ribs* 10 mm dan tebal *ribs* 5 mm, dan seterusnya hingga A 30. 5 yang berarti diameter *ribs* 30 mm dengan tebal *ribs* 5 mm. Selanjutnya spesimen komposit ini akan diperkuat dengan *skin carbon fiber* dengan menggunakan metode *vacuum infusion*



Gambar 3- 21 Potongan Hasil 3D Print Bagian Dalam



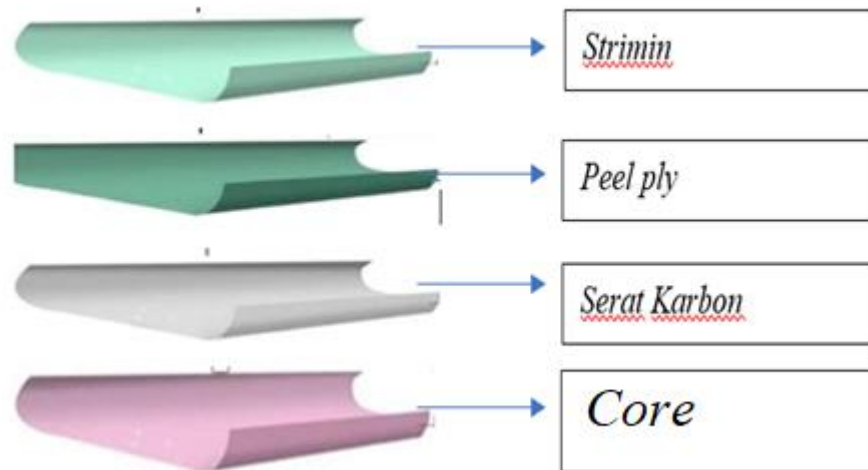
Gambar 3- 22 Potongan Hasil 3D Print Bagian Dalam



Gambar 3- 23 Gambar Hasil 3D Print Bagian Dalam Infill *Gyroid*

Gambar 3-21 sampai 3-23 diatas adalah hasil potongan spesimen untuk mengetahui hasil 3D print pada pada bagian dalam spesimen. Pemotongan spesimen dilakukan setelah dilakukan proses *vacuum infusion* dan uji bending.

### 3.4.2 Susunan Lapis Komposit Diperkuat Karbon Fiber



Gambar 3- 24 Susunan Lapis Komposit *Sandwich*

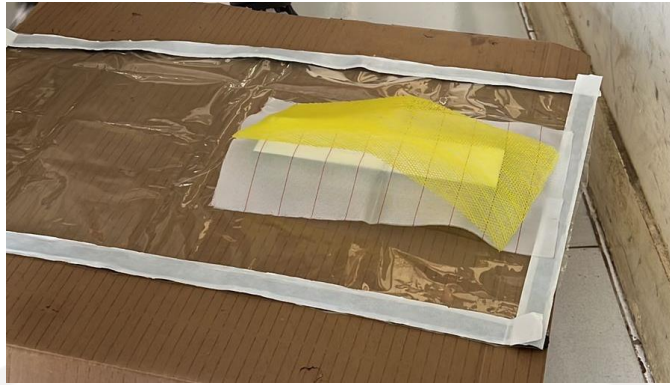
Pada gambar 3- 24 diatas menunjukkan susunan lapisan komposit dengan ketebalan *core* 5 mm dan *ribs* 15 mm dimana lapisan serat karbon sebanyak 1 lapis dan selanjutnya akan dilakukan proses *vacuum infusion*.

### 3.4.3 Proses *Vacuum Infusion*

1. Menyusun serat karbon, *infusion mesh*, *butyl tape*, dan *peel ply*



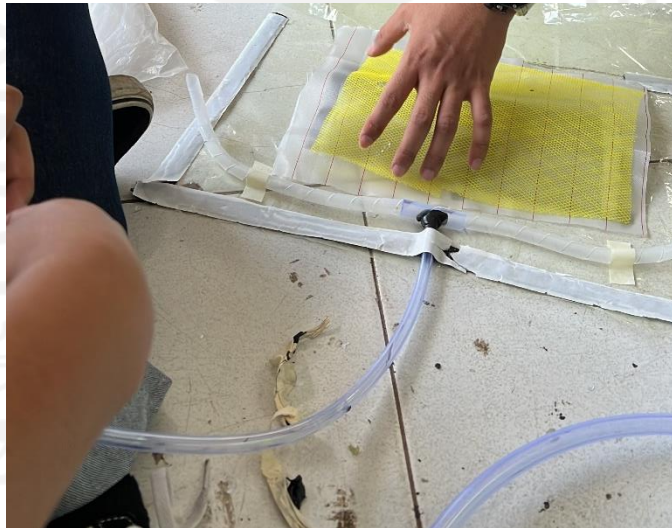
Gambar 3- 25 Menyusun Lapisan *Carbon Fiber*



Gambar 3- 26 Menyusun Lapisan *Carbon Fiber*

Pada gambar 3- 25 dan 3- 26 diatas menunjukkan susunan komposit *sandwich* sesuai dengan gambar 3- 24 dengan menggunakan satu lapisan serat karbon dibagian atas core yang kemudian ditutup kain peel ply dan strimin yang membuat cairan resin cepaat menyebarkan menutupi seluruh spesimen.

## 2. Pemasangan selang spiral



Gambar 3- 27 Pemasangan Selang Spiral

Gambar 3-27 diatas adalah pemasangan selang spiral berbentuk huruf U bertujuan agar saat proses pemvakuman resin dapat cepaat menyebarkan ke semua media yang akan dilapisi komposit. Selain itu pemasangan selang



spiral ini juga membantu menarik udara yang terperangkap didalam vacuum bag yang membuat hasil pemvakuman menjadi lebih maksimal.

### 3. Pelapisan Lem



Gambar 3- 28 Pelapisan Lem

Gambar 28 adalah proses pengeleman core menggunakan dextone. Proses ini dilakukan sebelum memasukkan semua bahan kedalam *vacuum bag*. Dextone dioleskan dan diratakan diatas *core* bangan atas yang akan dilapisi oleh *carbon fiber*. Hal yang bertujuan agar *core* dengan *carbon fiber* menempel lebih kuat.

#### 4. Menyusun Bahan Kedalam Plastik Vakum



Gambar 3- 29 Memasukkan Bahan Kedalam Vacuum Bag

Gambar 2-29 adalah proses memasukkan bahan kedalam *vacuum bag*. Pada proses ini menyusun seluruh bahan yang digunakan untuk proses pemvakuman kedalam *plastic vacuum* sesuai urutan pada gambar 3-29. Setelah itu mulai porses pemvakuman dengan resin *inlet* pada bagian atas dan resin *outlet* pada bagian bawah. Pada resin *outlet* terdapat *vacuum pum* yang digunakan untuk menarik udara dan resin, sehingga resin dapat masuk ke *vacuum bag*.

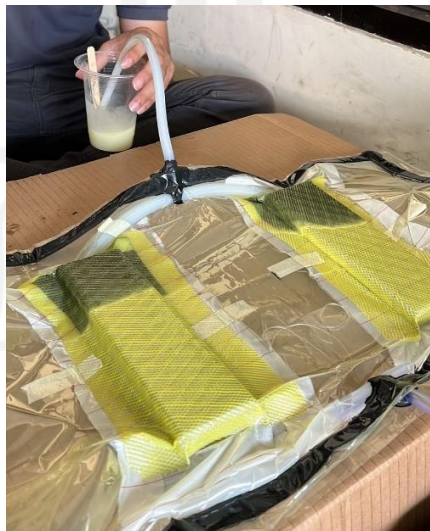
## 5. Proses Pencampuran Epoxy dan *Hardener*



Gambar 3- 30 Pencampuran Epoxy dan *Hardener*

Pada gambar 3- 30 menunjukkan proses mencampurkan epoxy dengan *hardener* dengan perbandingan 3:1, yaitu 90 gram epoxy dengan 30 gram. Sebelumnya kami melakukan beberapa kali percobaan untuk mendapatkan hasil perbandingan yang pas, bahan epoxy dan *hardener* dengan karakteristik dan jumlah pengukuran menunjukkan fluktuasi yang cenderung meningkat (Syakur A dkk.,2008).

## 6. Proses *Vacuum Infusion*



Gambar 3- 31 Proses *Vacuum Infusion*

Pada gambar 3- 31 dapat dilihat bahwa proses *vacuum infusion* menggunakan satu *inlet* dan satu *outlet*.

### 3.4.4 Hasil Setelah *Vacuum Infusion*



Gambar 3- 32 Hasil *Core ABS* Setelah *Vacuum Infusion*

Pada gambar 3- 32 menunjukkan gambar spesimen uji yang telah dilakukan proses *vacuum infusion* dan telah dilakukan proses pemotongan pada tiap spesimen. Terdapat *skin carbon fiber* yang berada diatas *core*. Pada gambar 3- 29 dengan kode CA10.1 memiliki pengertian *core ABS* diperkuat *carbon fiber* dengan diameter ribs 10 dan tebal ribs 1 mm

Tabel 3 - 4 Perbandingan Berat, Lebar, dan Tebal setelah Vakum

No	Variasi Spesimen	Tebal Awal	Tebal Akhir	Lebar Awal	Lebar Akhir	Berat Awal	Berat Akhir
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(g)	(g)
1	CA10-1	19,6	20	49,8	50,1	53,76	59,2
2	CA10-3	19,6	20,01	49,9	50,3	86,25	91,61
3	CA10-5	19,7	20,02	49,8	49,9	84,22	91,25
4	CA20-1	19,8	20,02	49,6	49,6	40,13	46
5	CA20-3	19,7	20	49,8	49,9	60,56	68,18
6	CA20-5	19,7	20,02	49,7	49,7	64	70,63
7	CA30-1	19,9	20,02	49,9	49,8	35,36	42,58
8	CA30-3	19,8	20,01	49,7	49,7	51,82	58,57
9	CA30-5	19,8	20,01	50	50	54,63	60,91

Pada tabel 3-4 diatas dapat dilihat perubahan dimensi dari spesimen sebelum dan sesudah dilapisi oleh komposit *sandwich* dengan metode *vacuum infusion*. berat spesimen uji rata-rata pada material ABS bertambah berat 32 – 33 gram, lebar specimen rata – rata bertambah 1 – 1,6 mm dan tebal specimen rata-rata bertambah 0,7mm.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengujian *Bending*

Pengujian spesimen yang dilakukan adalah pengujian bending, dimana tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mencari nilai kekakuan dari spesimen. Pengujian bending ini mengacu 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 ada proses pengujian *three point bending* yaitu:

1. Pastikan spesimen yang sudah dirapikan dan sesuai dengan standar ASTM C393 dikumpulkan menurut variasi nya masing-masing.
2. Letakkan spesimen uji yang sudah dibuat pada alat uji bending dengan jarak antar titik tumpuan 170 mm dengan panjang spesimen 200 mm.
3. Mesin uji bending akan memberikan beban maksimal secara perlahan hingga spesimen patah.
4. Hasil pengujian akan otomatis tercatat pada kertas yang tersedia di panel mesin uji

## 4.2 Hasil Pengujian Bending

Dari proses pengujian *three point bending* pada spesimen uji yang dilakukan pada Laboratorium Bahan Teknik UGM mendapatkan hasil seperti pada gambar 4- 2 dan 4-3 dibawah ini.



Gambar 4 - 2 Hasil Pengujian Bending *core* ABS



Gambar 4 - 3 Hasil Pengujian Bending *core* ABS skin carbon

Pada gambar 4- 2 dan 4-3 diatas menunjukkan spesimen setelah dilakukan pengujian *bending*. Spesimen diberi kode A yang berarti spesimen ABS dan CA yang berarti spesimen ABS *skin carbon*. Jika dilihat pada masing-masing spesimen

yang telah dilakukan pengujian, terjadi beberapa modus kegagalan yang berbeda , baik yang belum diperkuat skin *carbon fiber* maupun yang sudah.

Tabel 4 - 1 Data Hasil Pengujian Bending ABS

HASIL PENGUJIAN BENDING ABS							
No	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending
		(mm)	(mm)	W (g)	P max (N)	$\delta$ (mm)	(Mpa)
1	A10-1	19,755	49,72	52,835	355	14,78	4,67
2	A10-3	19,82	49,94	84,905	620	13,295	8,06
3	A10-5	19,755	50,1	84,435	375	4,945	4,88
4	A20-1	19,725	49,91	39,985	215	22,26	2,69
5	A20-3	20,01	49,785	60,94	300	16,735	3,84
6	A20-5	20,01	49,97	63,1	260	10,76	3,29
7	A30-1	19,945	49,92	34,765	140	23,02	1,80
8	A30-3	20,05	49,83	51,11	255	18,295	3,25
9	A30-5	19,7	49,86	56,945	180	8,57	2,37

Tabel 4 - 2 Data Hasil Pengujian Bending ABS Skin Carbon

HASIL PENGUJIAN BENDING ABS SKIN CARBON							
No	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending
		(mm)	(mm)	W (g)	P max (N)	$\delta$ (mm)	(Mpa)
1	CA10-1	20	50,1	59,2	420	11,12	5,34
2	CA10-3	20,01	50,3	91,61	650	7,37	8,23
3	CA10-5	20,02	49,9	91,25	490	4,37	6,25
4	CA20-1	20,02	49,6	46	250	13,39	3,21
5	CA20-3	20	49,9	68,18	340	7,33	4,34
6	CA20-5	20,02	49,7	70,63	340	6,18	4,35
7	CA30-1	20,02	49,8	42,58	180	11,52	2,3
8	CA30-3	20,01	49,7	58,57	320	12,77	4,1
9	CA30-5	20,01	50	60,91	240	8,94	3,06

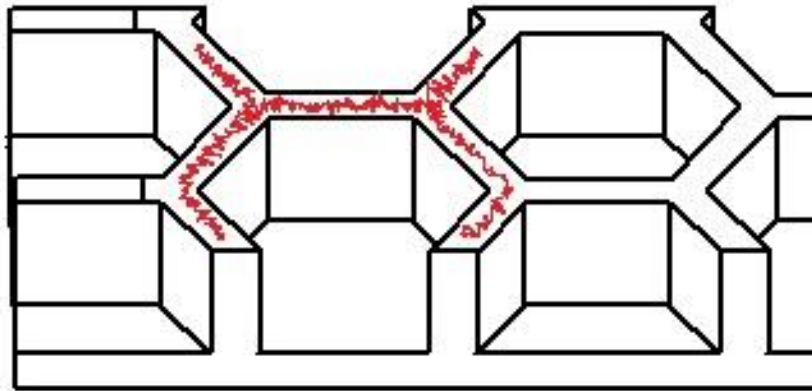
Pada tabel 4-1 menunjukkan data yang didapat setelah melakukan pengujian bending. Dapat dilihat bahwa beban maksimal tertinggi yang diterima oleh spesimen yaitu pada spesimen A10-3 dengan tegangan bending 8.06 Mpa, untuk defleksi maksimal tertinggi pada spesimen A30-1 dengan defleksi 23.02 mm. Sedangkan pada table 4-2 yang menunjukkan hasil pengujian bending ABS yang sudah diberi skin *carbon*, hasil tegangan bending tertinggi yang diterima spesimen yaitu pada spesimen CA10-3 dengan 8,23 Mpa, untuk defleksi maksimal tertinggi yaitu pada spesimen CA20-3 dengan 13,39 mm



### 4.3 Analisis dan Perhitungan

#### 4.3.1 Analisis Mode Kegagalan

##### 1. Mode Kegagalan 1



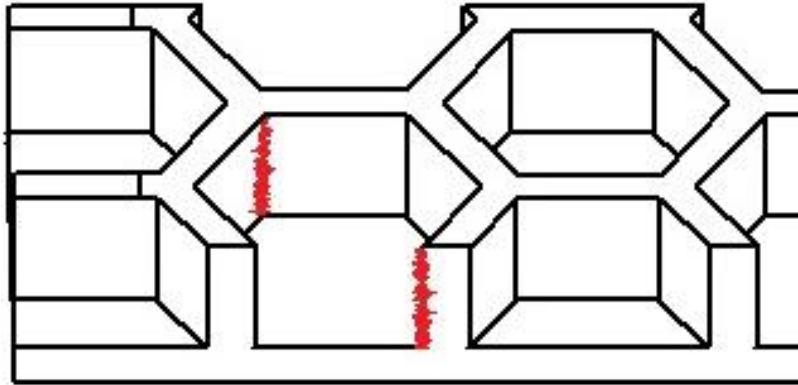
Gambar 4 - 4 Mode Kegagalan 1



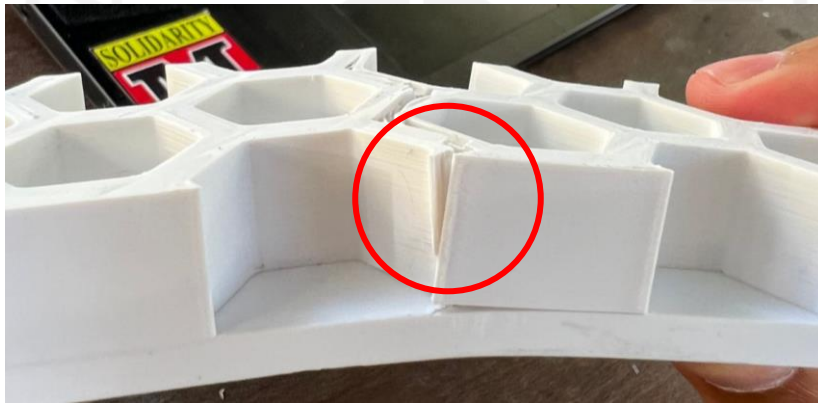
Gambar 4 - 5 Contoh Mode Kegagalan 1 Pada Spesimen

Pada gambar 4-4 dan 4-5 diatas adalah mode kagagalan yang terjadi pada spesimen uji bending. Tampak kerusakan pada *ribs* bagian atas akibat uji beban bending. Spesimen yang mengalami kerusakan ini adalah spesimen uji A10-3, A10-5, A20-1, A20-3, A20-5, A30-5, CA10-5, CA 20-5, dan CA30-5

## 2. Mode Kegagalan 2



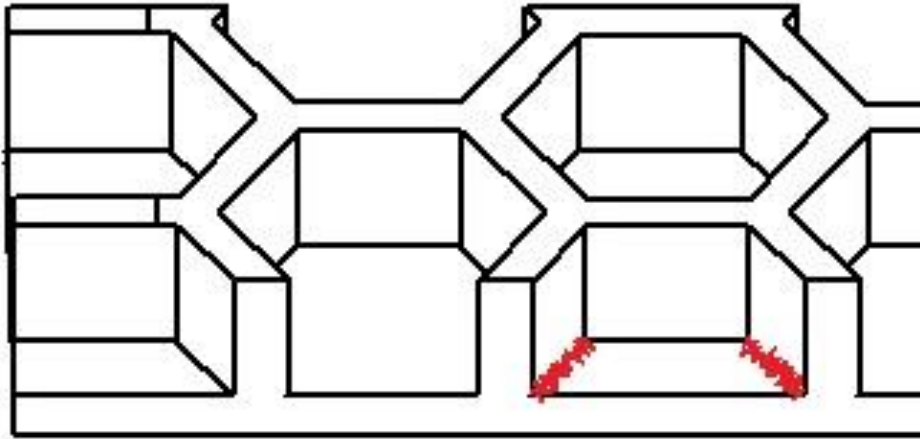
Gambar 4 - 6 Mode Kegagalan 2



Gambar 4 - 7 Contoh Mode Kegagalan 2 Pada Spesimen

Pada gambar 4-6 dan 4-7 diatas adalah mode kagagalan yang terjadi pada spesimen uji bending. Tampak kerusakan pada *ribs* bagian samping akibat uji beban bending. Spesimen yang mengalami kerusakan ini adalah spesimen uji A10-1, A20-1, dan A20-5

### 3. Mode Kegagalan 3



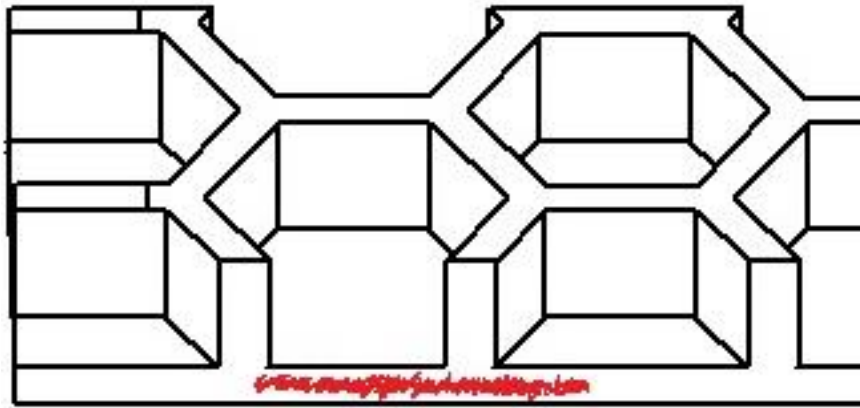
Gambar 4 - 8 Mode Kegagalan 3



Gambar 4 - 9 Contoh Mode Kegagalan 3 Pada Spesimen

Pada gambar 4-8 dan 4-9 diatas adalah mode kegagalan yang terjadi pada spesimen uji bending. Tampak kerusakan pada *ribs* bagian bagian bawah akibat uji beban bending. Spesimen yang mengalami kerusakan ini adalah spesimen uji A20-1, A20-3, A20-5, A30-1, CA20-1, CA 30-1.

#### 4. Mode Kegagalan 4



Gambar 4 - 10 Mode Kegagalan 4



Gambar 4 - 11 Contoh Mode Kegagalan 4 Pada Spesimen

Pada gambar 4-10 dan 4-11 diatas adalah mode kagagalan yang terjadi pada spesimen uji bending. Tampak kerusakan pada *core* akibat uji beban bending. Spesimen yang mengalami kerusakan ini adalah spesimen uji A20-3, A30-1, CA10-1, CA1—3, CZ20-3, CA20-5, CA30-1, CA30-3.

#### 4.4 Perhitungan

Dari data yang didapat melalui pengujian bending, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai luas penampang, momen inersia, modulus elastisitas, kekakuan bending, dan kekakuan bending spesifik dari tiap kode spesimen.

Tabel 4 - 3 Perhitungan Kekakuan Bending dan Kekakuan Spesifik ABS

HASIL PENGUJIAN BENDING ABS							
No	Variasi Spesimen	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending	Flexural Rigidity	Rigidity Spesific
		W	P max	$\delta$		D	D/W
		(g)	(N)	(mm)	(Mpa)	N.mm <sup>2</sup>	$\frac{mm^2}{g}$
1	A10-1	52,835	355	14,78	4,67	2.458.439,05	46.530,50
2	A10-3	84,905	620	13,295	8,06	4.773.191,68	56.218,03
3	A10-5	84,435	375	4,945	4,88	7.761.943,88	91.928,04
4	A20-1	39,985	215	22,26	2,69	988.595,95	24.724,17
5	A20-3	60,94	300	16,735	3,84	1.834.852,11	30.109,16
6	A20-5	63,1	260	10,76	3,29	2.473.241,95	39.195,59
7	A30-1	34,765	140	23,02	1,80	622.484,07	17.905,48
8	A30-3	51,11	255	18,295	3,25	1.426.636,38	27.913,06
9	A30-5	56,945	180	8,57	2,37	2.149.795,80	37.752,14

Dari tabel 4- 3 menunjukkan hasil perhitungan beban maksimal, defleksi, tegangan bending, kekakuan bending, dan kekakuan bending spesifik dari spesimen yang telah dilakukan pengujian *three point bending* diatas dapat dilihat bahwa kekakuan bending spesimen ABS tertinggi berada pada spesimen A10-5 dengan diameter *ribs* 10 mm dan tebal *ribs* 5 mm yaitu 7.761.943,88 N.mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk kekakuan spesifik tertinggi juga berada pada spesimen A10-5 dengan diameter *ribs* 10 mm dan tebal *ribs* 5 mm yaitu 91.928,04 N.mm<sup>2</sup>

Tabel 4 - 4 Perhitungan Kekakuan Bending dan Kekakuan Spesifik ABS Lapis CF

HASIL PENGUJIAN BENDING ABS LAPIS CARBON							
No	Variasi Spesimen	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending	Flexural Rigidity	Rigidity Spesific
		W	P max	$\delta$		D	D/W
		(g)	(N)	(mm)	(Mpa)	N.mm <sup>2</sup>	$\frac{mm^2}{g}$
1	CA10-1	59,2	420	11,12	5,34	3.865.894,78	65.302,28
2	CA10-3	91,61	650	7,37	8,23	9.027.165,31	98.539,08
3	CA10-5	91,25	490	4,37	6,25	11.476.782,99	125.772,96
4	CA20-1	46	250	13,39	3,21	1.911.018,80	41.543,89
5	CA20-3	68,18	340	7,33	4,34	4.747.669,40	69.634,34
6	CA20-5	70,63	340	6,18	4,35	5.631.135,38	79.727,25
7	CA30-1	42,58	180	11,52	2,3	1.599.283,85	37.559,51
8	CA30-3	58,57	320	12,77	4,1	2.564.865,57	43.791,46
9	CA30-5	60,91	240	8,94	3,06	2.747.762,86	45.111,85

Dari tabel 4- 4 menunjukkan hasil perhitungan beban maksimal, defleksi, tegangan bending, kekakuan bending, dan kekakuan bending spesifik dari spesimen yang telah dilakukan pengujian *three point bending* diatas dapat dilihat bahwa kekakuan bending spesimen ABS dengan lapis *skin carbon* tertinggi berada pada spesimen A10-5 dengan diameter *ribs* 10 mm dan tebal *ribs* 5 mm yaitu 11.476.782,99 N.mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk kekakuan spesifik tertinggi juga berada pada spesimen A10-5 dengan diameter *ribs* 10 mm dan tebal *ribs* 5 mm yaitu 125.772,96 N.mm<sup>2</sup>

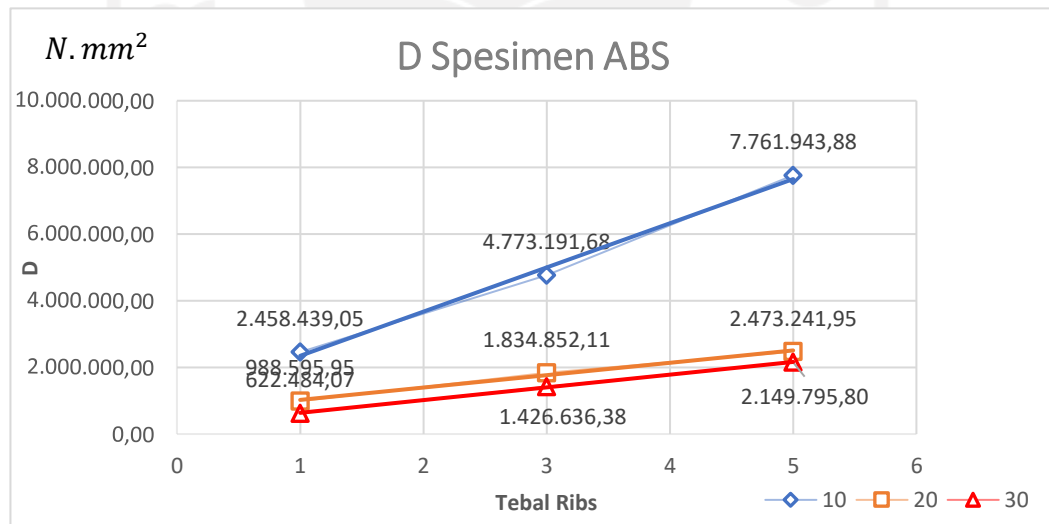
## 4.5 Pembahasan

### 4.5.1 Kekakuan Bending ABS (D)

Tabel 4 - 5 Perhitungan Kekakuan Bending ABS

HASIL PENGUJIAN BENDING ABS						
No	Variasi Spesimen	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending	Flexural Rigidity
		w	P max	$\delta$		D
		(g)	(N)	(mm)	(Mpa)	N.mm <sup>2</sup>
1	A10-1	52,835	355	14,78	4,67	2.458.439,05
2	A10-3	84,905	620	13,295	8,06	4.773.191,68
3	A10-5	84,435	375	4,945	4,88	7.761.943,88
4	A20-1	39,985	215	22,26	2,69	988.595,95
5	A20-3	60,94	300	16,735	3,84	1.834.852,11
6	A20-5	63,1	260	10,76	3,29	2.473.241,95
7	A30-1	34,765	140	23,02	1,80	622.484,07
8	A30-3	51,11	255	18,295	3,25	1.426.636,38
9	A30-5	56,945	180	8,57	2,37	2.149.795,80

Gambar 4 - 12 Gambar Grafik D Spesimen ABS

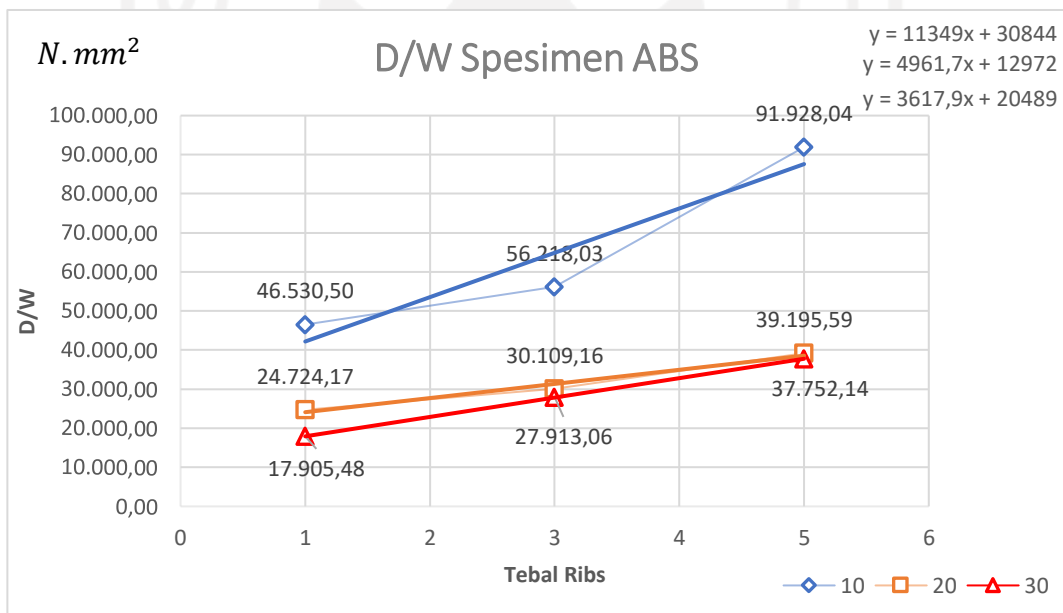


Dari data tabel 4-5 dan gambar grafik 4-12 diatas dapat dilihat kekakuan bending dari masing masing spesimen dengan ketebalan *ribs* yang berbeda. Tampak pada grafik, spesimen dengan *ribs* paling tebal yang mempunyai kekakuan bending tertinggi, yaitu pada spesimen A10-5 atau spesimen dengan diameter *ribs* 10 mm dan tebal *ribs* 5 mm, pada angka 7.761.943,88 N.mm<sup>2</sup>

## 4.5.2 Kekakuan Spesifik ABS (D/W)

Tabel 4 - 6 Perhitungan Kekakuan Bending ABS

HASIL PENGUJIAN BENDING ABS						
No	Variasi Spesimen	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending	Rigidity Specific
		W	P max	$\delta$		D/W
		(g)	(N)	(mm)	(Mpa)	$\frac{mm^2}{g}$
1	A10-1	52,835	355	14,78	1,855	46.530,50
2	A10-3	84,905	620	13,295	3,2	56.218,03
3	A10-5	84,435	375	4,945	1.925	91.928,04
4	A20-1	39,985	215	22,26	1.065	24.724,17
5	A20-3	60,94	300	16,735	1,545	30.109,16
6	A20-5	63,1	260	10,76	1,33	39.195,59
7	A30-1	34,765	140	23,02	0,72	17.905,48
8	A30-3	51,11	255	18,295	1,305	27.913,06
9	A30-5	56,945	180	8,57	0,94	37.752,14



Gambar 4 - 13 Gambar Grafik D/W Spesimen ABS

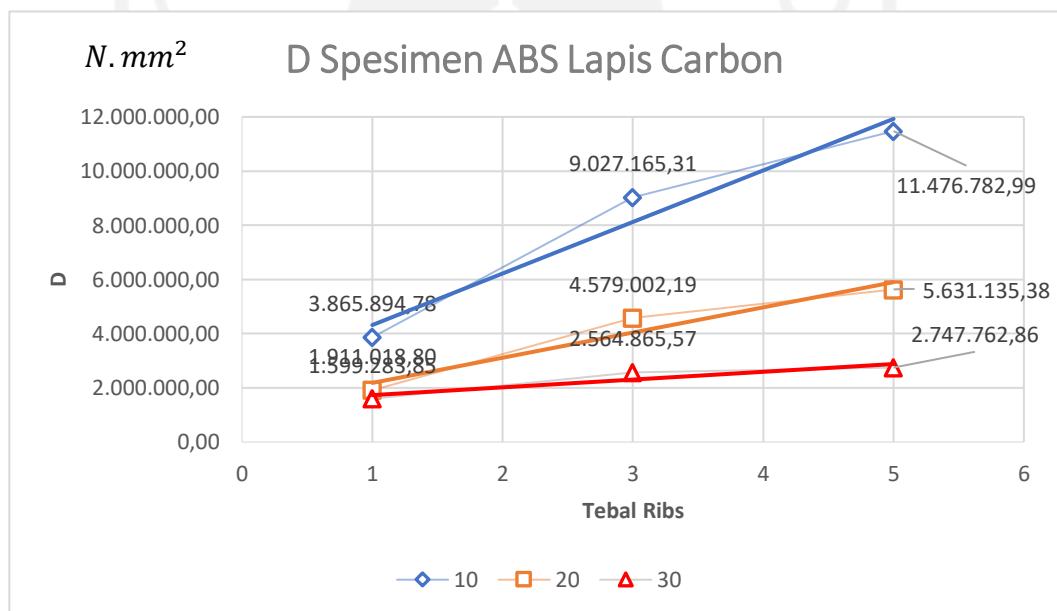
Dari data tabel 4-6 dan gambar grafik 4-13 diatas dapat dilihat kekaakuan bending spesifik dari masing masing spesimen dengan ketebalan *ribs* yang berbeda. Tampak pada grafik, spesimen dengan *ribs* paling tebal yang mempunyai kekakuan bending tertinggi, yaitu pada spesimen A10-5 atau spesimen dengan diameter *ribs* 10 mm dan tebal *ribs* 5 mm, pada angka 91.928,04  $N. mm^2$



### 4.5.3 Kekakuan Bending ABS Skin Carbon Fiber (D)

Tabel 4 - 7 Perhitungan Kekakuan Bending ABS

HASIL PENGUJIAN BENDING ABS LAPIS CARBON						
No	Variasi Spesimen	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending	Flexural Rigidity
		W	P max	$\delta$		D
		(g)	(N)	(mm)	(Mpa)	N.mm <sup>2</sup>
1	CA10-1	59,2	420	11,12	5,34	3.865.894,78
2	CA10-3	91,61	650	7,37	8,23	9.027.165,31
3	CA10-5	91,25	490	4,37	6,25	11.476.782,99
4	CA20-1	46	250	13,39	3,21	1.911.018,80
5	CA20-3	68,18	340	7,33	4,34	4.747.669,40
6	CA20-5	70,63	340	6,18	4,35	5.631.135,38
7	CA30-1	42,58	180	11,52	2,3	1.599.283,85
8	CA30-3	58,57	320	12,77	4,1	2.564.865,57
9	CA30-5	60,91	240	8,94	3,06	2.747.762,86



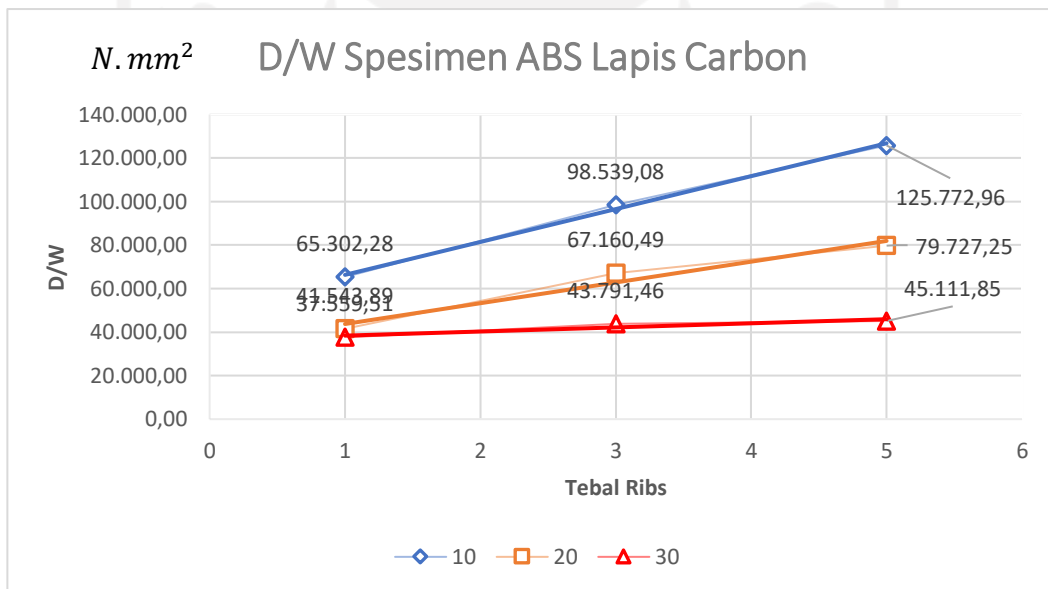
Gambar 4 - 14 Gambar Grafik D Spesimen ABS Skin CF

Dari data tabel 4-7 dan grafik diatas dapat dilihat kekakuan bending bending dari masing masing spesimen dengan ketebalan ribs yang berbeda. Tampak pada grafik, spesimen dengan ribs paling tebal yang mempunyai kekakuan bending tertinggi, yaitu pada spesimen CA10-5 atau spesimen dengan diameter ribs 10 mm dan tebal ribs 5 mm, pada angka 11.476.782,99 N.mm<sup>2</sup>

#### 4.5.4 Kekakuan Spesifik ABS Skin Carbon Fiber (D/W)

Tabel 4 - 8 Perhitungan Kekakuan Bending ABS

HASIL PENGUJIAN BENDING ABS LAPIS CARBON						
No	Variasi Spesimen	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending	Rigidity Spesific
		W	P max	$\delta$		D/W
		(g)	(N)	(mm)	(Mpa)	$\frac{mm^2}{g}$
1	CA10-1	59,2	420	11,12	5,34	65.302,28
2	CA10-3	91,61	650	7,37	8,23	98.539,08
3	CA10-5	91,25	490	4,37	6,25	125.772,96
4	CA20-1	46	250	13,39	3,21	41.543,89
5	CA20-3	68,18	340	7,33	4,34	69.634,34
6	CA20-5	70,63	340	6,18	4,35	79.727,25
7	CA30-1	42,58	180	11,52	2,3	37.559,51
8	CA30-3	58,57	320	12,77	4,1	43.791,46
9	CA30-5	60,91	240	8,94	3,06	45.111,85

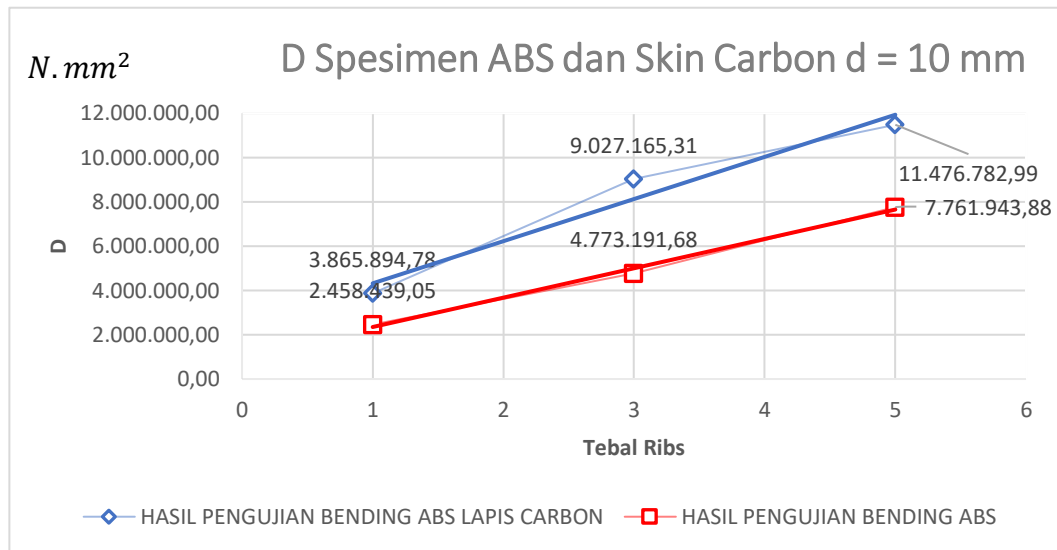


Gambar 4 - 15 Gambar Grafik D/W Spesimen ABS Skin CF

Dari data tabel 4-8 dan gambar grafik 4-15 diatas dapat dilihat kekakuan bending spesifik dari masing masing spesimen dengan ketebalan ribs yang berbeda. Tampak pada grafik, spesimen dengan ribs paling tebal yang mempunyai kekakuan bending tertinggi, yaitu pada spesimen A10-5 atau spesimen dengan diameter ribs 10 mm dan tebal ribs 5 mm, pada angka 125.772,96  $N. mm^2$

#### 4.5.5 Kekakuan Bending ABS Dan Skin Carbon Fiber (D)

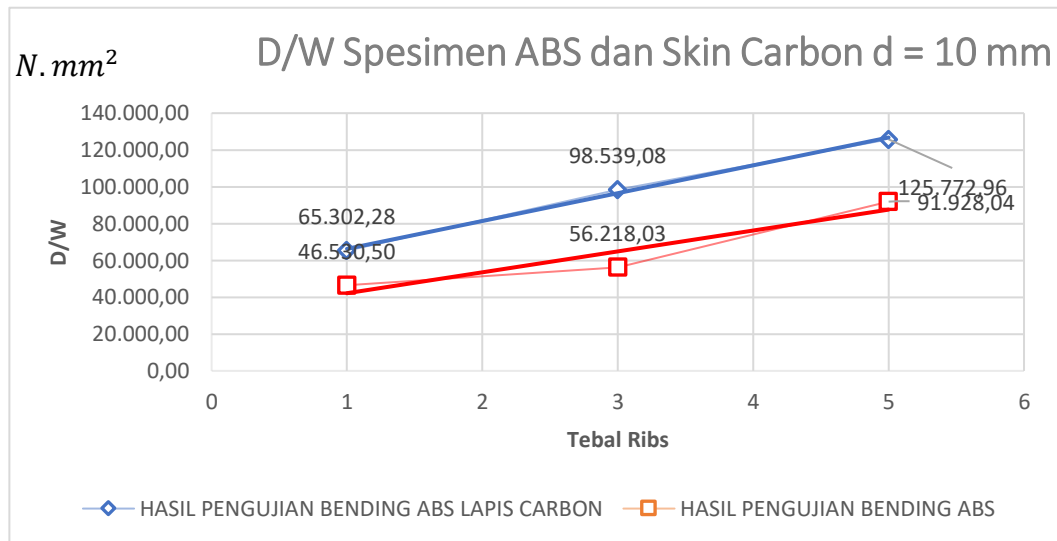
Gambar 4 - 16 Gambar Grafik D Spesimen ABS dan ABS Skin CF



Dari gambar grafik 4-16 diatas dapat dilihat kekaakuan bending dari masing masing spesimen dengan ketebalan *ribs* yang berbeda. Grafik diatas menampilkan hasil perhitungan kekakuan bending spesimen ABS tanpa *skin* dan yang sudah dilapisi *skin carbon fiber*, Tampak pada nilai kekakuan bending terbesar yaitu pada spesimen CA10-5 atau spesimen dengan diameter *ribs* 10 mm dan tebal *ribs* 5 mm, pada angka 11.476.782,99 N.mm<sup>2</sup>

#### 4.5.6 Kekakuan Spesifik ABS Dan Skin Carbon Fiber (D/W)

Gambar 4 - 17 Gambar Grafik D/W Spesimen ABS dan ABS Skin CF



Dari gambar grafik 4-17 diatas dapat dilihat kekaakuan spesifik dari masing masing spesimen dengan ketebalan *ribs* yang berbeda. Grafik diatas menampilkan hasil perhitungan kekakuan spesifik spesimen ABS tanpa *skin* dan yang sudah dilapisi *skin carbon fiber*, Tampak pada nilai kekakuan bending terbesar yaitu pada spesimen CA10-5 atau spesimen dengan diameter *ribs* 10 mm dan tebal *ribs* 5 mm, pada angka  $125.772,96 N.mm^2$

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Nilai rata-rata kekakuan bending tertinggi pada material *core* ABS didapatkan pada ketebalan *ribs* 5mm dengan diameter *ribs* 10mm dengan nilai 7.761.943,88 Nmm<sup>2</sup>. Pada material ABS + *skin carbon* nilai rata-rata kekakuan bending tertinggi didapatkan pada ketebalan *ribs* 5mm dengan diameter *ribs* 10mm dengan nilai 11.476.782,99 Nmm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk kekakuan spesifik pada core ABS dengan tebal *ribs* 5mm dan diameter 10mm didapatkan hasil 91.928,04 Nmm<sup>2</sup> dan untuk core ABS dengan *skin carbon* + tebal *ribs* 5mm dan diameter *ribs* 10mm didapat hasil 125.772,96 Nmm<sup>2</sup>
2. Hasil analisis dan perhitungan beban maksimal, kekakuan bending, dan kekakuan spesifik pada spesimen yang menggunakan *skin* memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai spesimen yang tidak menggunakan *skin*.
3. Hasil analisis dan perhitungan beban maksimal, kekakuan bending, dan kekakuan spesifik pada spesimen yang menggunakan *skin carbon* dengan *ribs* paling tebal dan diameter terkecil memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai spesimen yang tidak menggunakan *skin* dengan tebal dan diameter *ribs* yang sama.
4. Hasil analisis menunjukkan bahwa *ribs* yang paling tebal yaitu 5mm adalah *ribs* yang paling kuat baik untuk specimen ABS maupun dengan menggunakan *skin carbon*

#### **5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya**

1. Perlu dilakukan penelitian tentang interface antara *core* dan *ribs* kompositagar ketika diberikan beban uji bending *skin dan ribs* tidak terlepas dari *core* atau kegagalan debonding.

- 2.. Sebaiknya saat pencampuran resin dan hardener harus sesuai dengan standar agar resin tidak cepat mengeras dan panas, juga tidak boleh kurang, karena jika kurang maka resin tidak mengeras sempurna
3. Sebelum memulai proses vakum pastikan dicoba dahulu untuk mengetahui ada kebocoran atau tidak.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ashfan. (2022). Pengaruh Ketebalan *Core (3D Print)* Terhadap Uji Bending Spesimen Komposit *Sandwich* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion*
- Azissyukhron, M., & Hidayat, S. (n.d.). Perbandingan Kekuatan Material Hasil Metode Hand Lay-up dan Metode Vacuum Bag Pada Material Sandwich Composite.
- Izma Y. (2021). Analisis Uji Bending Komposit *Sandwich* yang Digabungkan *3D Printing*
- Marsono. (2021). Kaji Eksperimental Sifat Mekanik *Honeycomb Sandwich* Komposit Serat Karbon dengan Uji Bending
- Marsono, M., Ali, A., & Luwis, N. (2019). Karakteristik Mekanik Panel *Honeycomb Sandwich* Berbahan Komposit Fibreglass dengan Dimensi Cell-Pitch 40mm dan Cell-Height 30mm. *Jurnal Rekayasa Hijau*,
- Mutasiana. (2014). Pengaruh Variasi Ketebalan Core Terhadap Karakteristik Bending Komposit *Sandwich* Serat *Cantula* dengan Core *Honeycomb* Kardus tipe A- *flute*
- Lailatul. (2021). Studi Sifat Mekanik Komposit *Sandwich Divinycell Foam* dengan Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI)* untuk Float Pesawat Amfibi
- Prayoga, A. (2018). Pengaruh Ketebalan Skin Terhadap Kekuatan Bending dan Tarik Komposit Sandich dengan *Honeycomb Polypropylene* Sebagai Core

## LAMPIRAN



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

#### HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Pmax	Defleksi	Tegangan Bending
		(mm)	(mm)	(KN)	(mm)	(MPa)
1	A10-1-I	19.88	49.59	0.36	15.16	4.68
2	A10-1-II	19.63	49.85	0.35	14.40	4.65
3	A10-3-I	19.73	49.90	0.62	13.99	8.14
4	A10-3-II	19.91	49.98	0.62	12.60	7.98
5	A10-5-I	19.50	50.17	0.37	5.28	4.95
6	A10-5-II	20.05	50.03	0.38	4.61	4.82
7	A20-1-I	19.75	49.88	0.21	22.31	2.75
8	A20-1-II	19.70	49.94	0.20	22.21	2.63
9	A20-3-I	20.05	49.60	0.29	15.17	3.71
10	A20-3-II	19.97	49.97	0.31	18.30	3.97
11	A20-5-I	19.84	49.70	0.25	12.75	3.26
12	A20-5-II	20.01	49.97	0.26	10.76	3.31
13	A30-1-I	19.97	49.91	0.14	22.46	1.79
14	A30-1-II	19.92	49.93	0.14	23.58	1.80
15	A30-3-I	20.08	49.74	0.25	16.79	3.18
16	A30-3-II	20.02	49.92	0.26	19.80	3.31
17	A30-5-I	19.70	49.82	0.18	9.82	2.37
18	A30-5-II	19.70	49.90	0.18	7.32	2.37

Lembar asli, tidak untuk digandakan

**Keterangan:**

1. Pengujian dilakukan tanggal 28 Mei 2022
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 28 Mei 2022

Staf Laboratorium Bahan Teknik

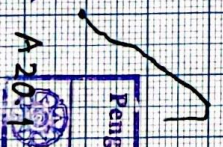
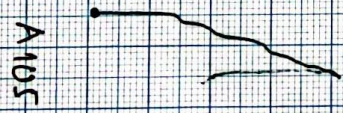
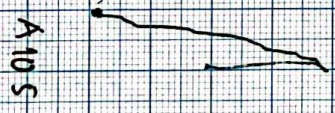
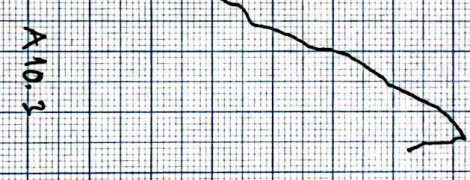
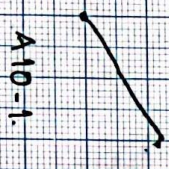
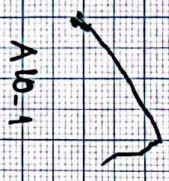
**Pengujian & Analisa  
Material**



Lab. Bahan Teknik  
Departemen Teknik Mesin  
Dl. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T

NIP. 197703312002121002



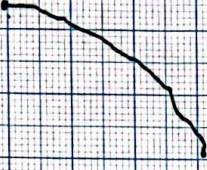


A20-1

A 20.3



A 20.3



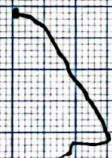
A 20.5



A 20.5



A 30.1



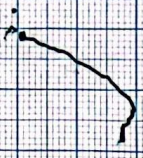
A 30.1



A 30.3



A-305



A-305





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

**HASIL PENGUJIAN BENDING**

No.	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Pmax	Defleksi	Tegangan Bending
		(mm)	(mm)	(KN)	(mm)	(MPa)
1	CA10-1	20.00	50.10	0.42	11.12	5.34
2	CA10-3	20.01	50.30	0.65	7.37	8.23
3	CA10-5	20.02	49.90	0.49	4.37	6.25
4	CA20-1	20.02	49.60	0.25	13.39	3.21
5	CA20-3	20.00	49.90	0.34	13.14	4.34
6	CA20-5	20.02	49.70	0.34	6.18	4.35
7	CA30-1	20.02	49.80	0.18	11.52	2.30
8	CA30-3	20.01	49.70	0.32	12.77	4.10
9	CA30-5	20.01	50.00	0.24	8.94	3.06

Lembar asli, tidak untuk digandakan

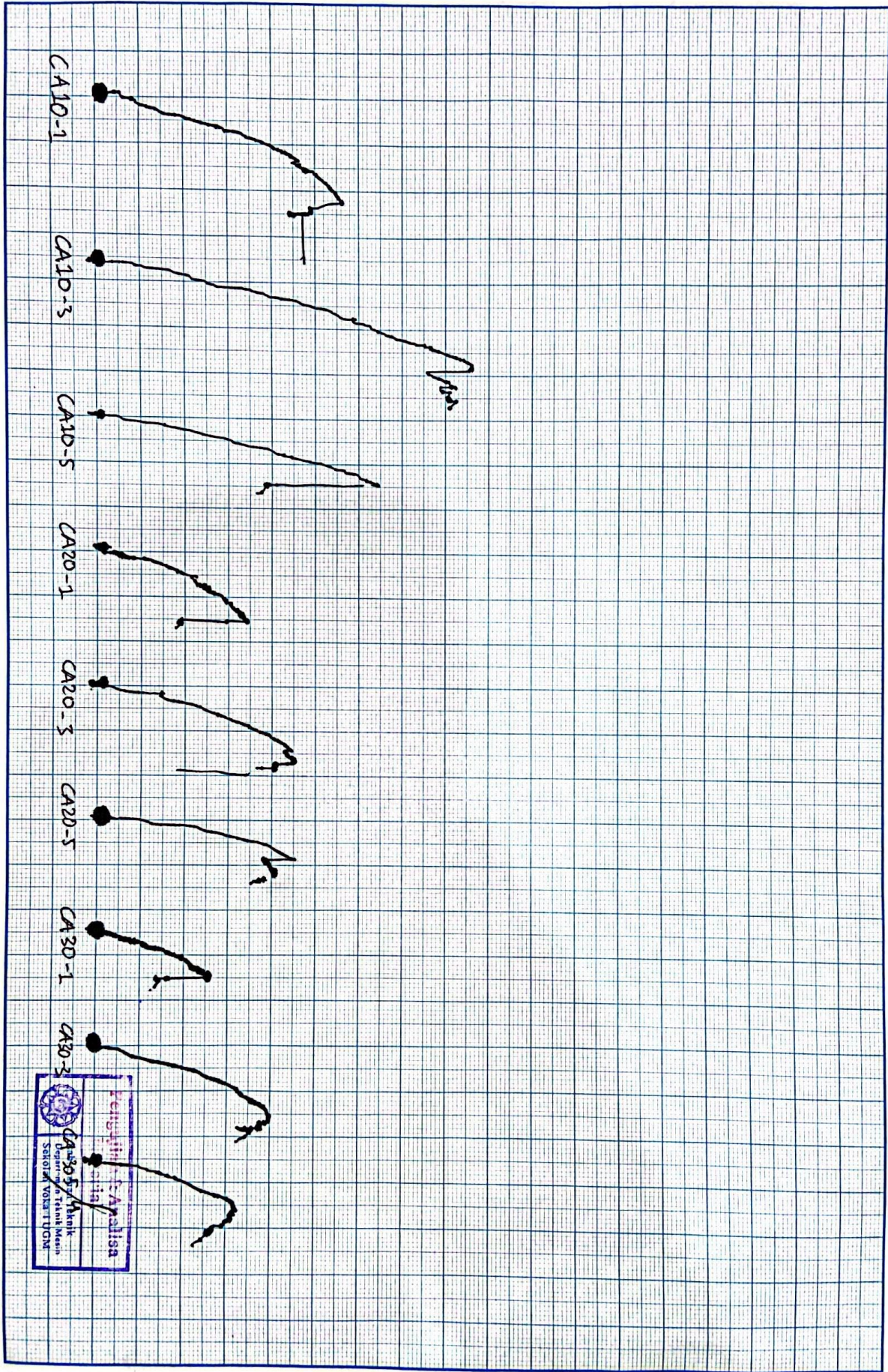
*Keterangan:*

1. Pengujian dilakukan tanggal 15 Juli 2022
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar Spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 15 Juli 2022  
Staf Laboratorium Bahan Teknik



NIP. 197703812002121002



No	Tebal Core :	Diameter Ribs (Sisi ke Sisi)	Tebal Dinding Ribs	Defleksi Vertikal Maksimum	Weight	Flexural Rigidity	
	Tebal Ribs			$\delta$	W	D	D/W
	mm	mm	mm	mm	g	mm <sup>2</sup>	$\frac{mm^2}{g}$
1	10 : 10	10	1	5,49E-02	118	37,95E04	32,16E02
2	10 : 10	10	2	4,50E-02	134	46,31E04	34,56E02
3	10 : 10	10	3	2,91E-02	132	71,57E04	54,22E02
4	10 : 10	10	4	2,65E-02	131	78,48E04	59,91E02
5	10 : 10	10	5	2,46E-02	130	84,75E04	65,19E02
6	10 : 10	15	1	8,72E-02	106	23,89E04	22,54E02
7	10 : 10	15	2	5,14E-02	118	40,52E04	34,34E02
8	10 : 10	15	3	3,85E-02	119	54,17E04	45,52E02
9	10 : 10	15	4	2,88E-02	119	72,43E04	60,87E02
10	10 : 10	15	5	2,90E-02	119	71,90E04	60,42E02
11	10 : 10	20	1	9,25E-02	100	22,53E04	22,53E02
12	10 : 10	20	2	6,10E-02	109	34,13E04	31,31E02
13	10 : 10	20	3	5,25E-02	110	39,67E04	36,07E02
14	10 : 10	20	4	3,31E-02	111	62,85E04	56,62E02
15	10 : 10	20	5	4,55E-02	112	45,80E04	40,90E02
16	10 : 10	25	1	13,14E-02	95	15,86E04	16,69E02
17	10 : 10	25	2	6,23E-02	103	33,44E04	32,47E02
18	10 : 10	25	3	4,72E-02	105	44,12E04	42,02E02
19	10 : 10	25	4	5,73E-02	106	36,39E04	34,33E02
20	10 : 10	25	5	4,25E-02	107	49,02E04	45,82E02
21	10 : 10	30	1	9,07E-02	92	22,97E04	24,97E02
22	10 : 10	30	2	7,21E-02	100	28,91E04	28,91E02
23	10 : 10	30	3	3,84E-02	101	54,25E04	53,71E02
24	10 : 10	30	4	6,15E-02	102	33,90E04	33,23E02
25	10 : 10	30	5	4,50E-02	103	46,28E04	44,93E02
26	5 : 15	10	1	6,97E-02	94	29,87E04	31,78E02
27	5 : 15	10	2	5,17E-02	110	40,32E04	36,65E02
28	5 : 15	10	3	3,05E-02	108	68,21E04	63,16E02
29	5 : 15	10	4	2,49E-02	106	83,53E04	78,80E02
30	5 : 15	10	5	2,63E-02	106	79,09E04	74,62E02
31	5 : 15	15	1	8,40E-02	81	24,81E04	30,62E02
32	5 : 15	15	2	6,17E-02	93	33,79E04	36,33E02

33	5 : 15	15	3	4,37E-02	94	47,72E04	50,77E02
34	5 : 15	15	4	2,97E-02	95	70,12E04	73,82E02
35	5 : 15	15	5	2,85E-02	94	73,16E04	77,83E02
36	5 : 15	20	1	7,31E-02	75	28,49E04	37,99E02
37	5 : 15	20	2	6,25E-02	84	33,35E04	39,70E02
38	5 : 15	20	3	4,45E-02	86	46,78E04	54,39E02
39	5 : 15	20	4	3,44E-02	87	60,61E04	69,67E02
40	5 : 15	20	5	3,87E-02	88	53,83E04	61,18E02
41	5 : 15	25	1	10,13E-02	71	20,56E04	28,96E02
42	5 : 15	25	2	7,16E-02	79	29,09E04	36,82E02
43	5 : 15	25	3	4,87E-02	81	42,79E04	52,83E02
44	5 : 15	25	4	5,46E-02	82	38,18E04	46,56E02
45	5 : 15	25	5	4,17E-02	83	49,98E04	60,22E02
46	5 : 15	30	1	9,48E-02	68	21,98E04	32,33E02
47	5 : 15	30	2	7,45E-02	76	27,95E04	36,78E02
48	5 : 15	30	3	5,22E-02	77	39,95E04	51,88E02
49	5 : 15	30	4	6,42E-02	77	32,45E04	42,15E02
50	5 : 15	30	5	4,82E-02	78	43,24E04	55,43E02
51	15 : 5	10	1	6,65E-02	143	31,34E04	21,91E02
52	15 : 5	10	2	4,13E-02	159	50,51E04	31,76E02
53	15 : 5	10	3	2,99E-02	157	69,62E04	44,35E02
54	15 : 5	10	4	2,79E-02	156	74,80E04	47,95E02
55	15 : 5	10	5	2,65E-02	155	78,64E04	50,74E02
56	15 : 5	15	1	7,98E-02	130	26,10E04	20,08E02
57	15 : 5	15	2	5,15E-02	142	40,47E04	28,50E02
58	15 : 5	15	3	4,13E-02	143	50,50E04	35,31E02
59	15 : 5	15	4	3,92E-02	144	53,11E04	36,88E02
60	15 : 5	15	5	3,74E-02	144	55,66E04	38,65E02
61	15 : 5	20	1	8,69E-02	124	23,98E04	19,34E02
62	15 : 5	20	2	5,40E-02	134	38,60E04	28,81E02
63	15 : 5	20	3	5,17E-02	135	40,27E04	29,83E02
64	15 : 5	20	4	3,73E-02	136	55,81E04	41,04E02
65	15 : 5	20	5	4,51E-02	137	46,16E04	33,69E02
66	15 : 5	25	1	9,33E-02	120	22,34E04	18,61E02
67	15 : 5	25	2	5,41E-02	128	38,48E04	30,06E02
68	15 : 5	25	3	5,00E-02	130	41,68E04	32,06E02
69	15 : 5	25	4	6,20E-02	131	33,62E04	25,66E02
70	15 : 5	25	5	5,09E-02	132	40,96E04	31,03E02

71	15 : 5	30	1	8,90E-02	117	23,42E04	20,02E02
72	15 : 5	30	2	5,72E-02	125	36,40E04	29,12E02
73	15 : 5	30	3	4,93E-02	126	42,22E04	33,51E02
74	15 : 5	30	4	5,92E-02	127	35,19E04	27,71E02
75	15 : 5	30	5	4,41E-02	128	47,25E04	36,91E02





