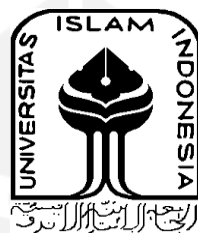


**PENGARUH PENAMBAHAN *SKIN CARBON* TERHADAP  
KEKAKUAN *BENDING 3D PRINTED ABS*  
(*ACRYLONITRILE BUTADINE STYRENE*) *HONEYCOMB RIBS***

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh :**

**Nama : Muhammad Nur Faizun**  
**No. Mahasiswa : 18525080**  
**NIRM : 2018050407**

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

**2022**

## PERYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya yang bertanda tangan dibawah ini, Muhammad Nur Faizun selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Penambahan *Skin Carbon* Terhadap Kekakuan *Bending 3D Printed ABS (Acrylonitrile Butadine Styrene) Honeycomb Ribs*” menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri bukan hasil plagiarism dari karya tulis yang dibuat oleh 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 yang saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 31 oktober 2022



Muhammad Nur Faizun

18525080

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PENGARUH PENAMBAHAN SKIN CARBON TERHADAP  
KEKAKUAN BENDING 3D PRINTED ABS (ACRYLONITRILE  
BUTADINE STYRENE) HONEYCOMB RIBS**

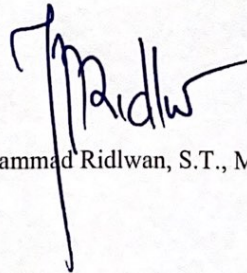
**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Muhammad Nur Faizun**  
**No. Mahasiswa : 18525080**  
**NIRM : 2018050407**

Yogyakarta, 15 November 2022

Pembimbing I,



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



**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**PENGARUH PENAMBAHAN *SKIN CARBON* TERHADAP  
KEKAKUAN *BENDING 3D PRINTED ABS (ACRYLONITRILE  
BUTADINE STYRENE) HONEYCOMB RIBS***

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Muhammad Nur Faizun**

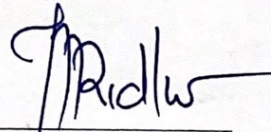
**No. Mahasiswa : 18525080**

**NIRM : 2018050407**

**Tim Penguji**


Muhammad Ridlwan, S.T., M.T

Ketua

  
Tanggal : 28/11/2022

Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng.

Anggota I

  
Tanggal : 28/11/2022

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


Anggota II

  
Tanggal : 28/11/2022

Mengetahui

Jurusan Teknik Mesin



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

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

Orang tua saya Bapak Failasuf Djazuli dan Ibu Cicik Sri Mardiningsih yang telah memberikan motivasi dan doa tulus kepada saya sampai tugas akhir ini selesai.



## HALAMAN MOTTO

Jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu, dan sesungguhnya yang demikian itu sungguh berat, kecuali bagi orang-orang yang khusyu.

- Q.S Al-Baqarah: 45 -

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan yang lain)

- Q.S Al-Insyirah: 6 -7 -



## KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



*Assalamu 'alaikum Wr.Wb.*

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya berupa keimanan, kekuatan, kesabaran, kelancaran, dan keselamatan dalam pembuatan laporan tugas akhir ini. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan umatnya. Penelitian ini tersusun sebagai hasil Tugas Akhir (TA) dipenuhi dalam menyelesaikan jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini berjudul “Pengaruh Penambahan *Skin Carbon* Terhadap Kekakuan *Bending 3D Printed ABS (Acrylonitrile Butadine Stryrene) Honeycomb Ribs*”.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan ini banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak, baik yang berupa saran, kritik, bimbingan maupun bantuan lainnya. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas rahmat, kesehatan, karunia, dan petunjuk-Nya yang telah diberikan;
2. Bapak Hari Purnomo, Prof., Dr., Ir., M.T., IPU, ASEAN.Eng selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia;
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh ST., MT.,IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia;
4. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan sejak awal hingga penyusunan TA ini selesai;
5. Dosen-dosen Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang selalu berbagi ilmu baik dalam bidang akademik maupun non akademik;
6. Dewan Penguji yang memberikan saran dalam penulisan TA ini.
7. Bapak Failasuf Djazuli dan Ibu Cicik Sri Mardiningsih selaku orang tua serta Adit Fairuz Abadi selaku kakak kandung, Khildatur Rosyidah selaku kakak

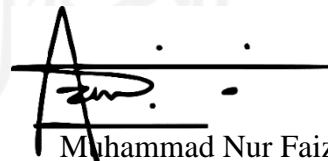
ipar dan Muhammad Zidan ilmi Al Fairuz selaku keponakan saya yang selalu memberikan doa, semangat, motivasi yang tak pernah berhenti dan dukungan kepada penulis baik secara moral maupun material;

8. Sahabat-sahabat seperjuangan Teknik Mesin, Reezcky Noer Alamsyah, Abdi Haritz Pratama, David Yade Hinanda Putra, Rio Ari Sandika, Gufran Rahardi, Yolan Aprillio, Syahrul Mubarak yang senantiasa berbagi suka cita, memberikan bantuan, semangat, dan dukungan;
9. Untuk Pacar tercinta saya Afifah Zahrunnisa yang sudah selalu ada dan tidak pernah berhenti dalam memberikan doa, semangat, dan bantuan dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini;
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan yang telah membantu dalam bentuk apapun.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Laporan TA ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang sifatnya membangun selalu penulis harapkan. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi semua pihak yang membutuhkan. Akhir kata, semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua, Aamiin ya robbal 'alamiin

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 15 November 2022



18525080



## **ABSTRACT**

*In the industrial world, 3D printing is very popular, but the stiffness value of the material properties of the resulting product is still low, so the idea arose to look for alternative materials to meet rigid material properties, one of which is the incorporation of 3D printing with composite materials. Composite materials have different advantages compared to other materials such as stronger, stiffer, lighter, and corrosion resistant. This study aims to measure the addition of stiffness values to the bending test of 3D printing specimens reinforced with ribs in the form of honeycomb coated with composite as a skin using carbon fiber on the top and without a carbon fiber skin layer. In this study using 3D printing ABS material as the core with 20% gyroid infill using a 3D print tool according to the ASTM C393 test standard. The core in the form of honeycomb ribs has variations in thickness of 1 mm, 3 mm, 5 mm and variations in diameter of 10 mm, 20 mm, and 30 mm to changes in shape and stiffness after bending testing. The results of the analysis and calculation of the maximum load, bending stress, and bending stiffness on specimens using one-sided carbon fiber skin have a higher value than the value of specimens that do not use one-layer carbon fiber skin on one side.*

**Keywords:** Komposit, 3D Printing, Carbon Fiber, Ribs Honeycomb, Bending Test.

## ABSTRAK

Dalam dunia industri, *3D printing* banyak digemari, tetapi nilai kekakuan dari sifat material produk yang dihasilkan masih rendah, sehingga muncul ide untuk mencari material alternatif dalam memenuhi sifat material yang kaku, salah satunya adalah penggabungan *3D printing* dengan material komposit. Material komposit memiliki keunggulan yang berbeda dibandingkan dengan material yang lainnya seperti lebih kuat, lebih kaku, lebih ringan, dan tahan korosi. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur penambahan nilai kekakuan terhadap uji *bending* spesimen *3D printing* diperkuat dengan *ribs* yang berbentuk *honeycomb* dilapisi komposit sebagai *skin* menggunakan serat *carbon fiber* pada bagian atas dan tanpa lapisan *skin carbon fiber*. Pada penelitian ini menggunakan *3D printing* bahan ABS sebagai *core* dengan *infill gyroid 20%* menggunakan alat *3D print* sesuai dengan standar uji ASTM C393. *Core* yang berbentuk *ribs honeycomb* memiliki variasi tebal 1 mm, 3 mm, 5 mm dan variasi diameter 10 mm, 20 mm, dan 30 mm terhadap perubahan bentuk dan kekakuan setelah dilakukan pengujian *bending*. Hasil analisis dan perhitungan beban maksimal, tegangan *bending*, dan kekakuan *bending* pada spesimen yang menggunakan *skin carbon fiber* satu sisi memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai spesimen yang tidak menggunakan *skin carbon fiber* satu lapis pada satu sisi.

Kata Kunci: Komposit, *3D Printing*, *Carbon Fiber*, *Ribs Honeycomb*, Uji *Bending*.

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing .....	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji .....	iv
Halaman Persembahan .....	v
Halaman Motto .....	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih .....	vii
<i>AbstraCT</i> .....	ix
Abstrak .....	x
Daftar Isi .....	xi
Daftar Tabel.....	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 .....	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan .....	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka .....	5
2.1 Kajian Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori .....	7
2.2.1 Komposit .....	7
2.2.2 Komposit <i>Sandwich</i> .....	7
2.2.3 Komposit <i>3D Print FDM/FFF</i> .....	9
2.2.4 Struktur Honeycomb .....	10
2.2.5 Resin dan Hardener .....	10
2.2.6 <i>Vacuum Infusion</i> .....	11
2.2.7 Pengujian Kekakuan (Uji <i>Bending</i> ).....	12
2.2.8 Modus Kegagalan Uji <i>Bending</i> Komposit <i>Sandwich</i> .....	13

2.2.9	<i>Finite Element Via Solidworks</i> .....	14
Bab 3	Metode Penelitian .....	15
3.1	Alur Penelitian .....	15
3.2	Peralatan dan Bahan.....	16
3.3	Dimensi Spesimen <i>Bending</i> .....	21
3.4	Susunan Lapisan Komposit .....	23
Bab 4	Hasil dan Pembahasan .....	24
4.1	Proses Pengerjaan .....	24
4.1.1	Pembuatan Spesimen Dengan Mesin 3D <i>Printing</i> .....	24
4.1.2	Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	25
4.1.3	Hasil Setelah <i>Vacuum Infusion</i> .....	27
4.2	Pengujian <i>Bending</i> .....	27
4.3	Hasil Pengujian <i>Bending</i> .....	28
4.4	Perhitungan .....	33
4.5	Pembahasan .....	35
4.5.1	Tegangan <i>Bending</i> .....	35
4.5.2	Kekakuan <i>Bending</i> .....	37
4.5.3	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik .....	39
4.6	Analisis Kegagalan .....	40
Bab 5	Penutup.....	50
5.1	Kesimpulan .....	50
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	51
Daftar Pustaka	.....	52
Lampiran	.....	54



## DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen <i>Vacuum infusion</i> .....	22
Tabel 4-1 Parameter Proses Pembuatan <i>Core</i> .....	24
Tabel 4-2 Data Hasil Pengujian <i>Bending Core</i> Tanpa Komposit.....	29
Tabel 4-3 Data Hasil Pengujian <i>Bending Core</i> Komposit <i>Skin Carbon Fiber</i> .....	32
Tabel 4-4 Perbandingan Berat, Lebar, dan Tebal setelah Vakum.....	33
Tabel 4-5 Hasil Pengujian <i>Bending</i> Spesimen ABS.....	33
Tabel 4-6 Hasil Pengujian <i>Bending</i> Spesimen ABS Lapis <i>Carbon</i> .....	34
Tabel 4-7 Perbandingan Tegangan <i>Bending</i> .....	35
Tabel 4-8 Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> .....	37
Tabel 4-9 Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> .....	39



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Struktur Komposit <i>Sandwich</i> .....	8
Gambar 2-2 <i>Core</i> Bentuk <i>Ribs Honeycomb</i> .....	8
Gambar 2-3 Serat <i>Carbon Fiber</i> .....	8
Gambar 2-4 Mesin <i>3D Printing</i> .....	9
Gambar 2-5 Struktur <i>Honeycomb</i> .....	10
Gambar 2-6 <i>Epoxy Resin</i> dan <i>Hardener</i> .....	11
Gambar 2-7 Skema Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	11
Gambar 2-8 <i>Universal Testing Machine</i> .....	12
Gambar 2-9 <i>Three Point Bending Method</i> .....	12
Gambar 2-10 Jenis Kegagalan Pada <i>Skin</i> Komposit <i>Sandwich</i> .....	13
Gambar 2-11 Jenis Kegagalan Pada <i>Core</i> Komposit <i>Sandwich</i> .....	13
Gambar 3-1 <i>Vacuum Pump</i> .....	16
Gambar 3-2 <i>Catch Pot</i> .....	16
Gambar 3-3 Timbangan.....	17
Gambar 3-4 Katup Bensin.....	17
Gambar 3-5 <i>Vacuum Bag</i> .....	17
Gambar 3-6 <i>Infusion Mesh</i> .....	18
Gambar 3-7 <i>Peel Ply</i> .....	18
Gambar 3-8 Selang.....	18
Gambar 3-9 Selang Spiral .....	19
Gambar 3-10 <i>Epoxy Resin</i> .....	19
Gambar 3-11 <i>Hardener</i> .....	19
Gambar 3-12 <i>Butyl Tape</i> .....	20
Gambar 3-13 Lem <i>Dextone</i> .....	20
Gambar 3-14 <i>Fikament ABS</i> .....	20
Gambar 3-15 Serat Karbon.....	21
Gambar 3-16 Akrilik .....	21
Gambar 3-17 Dimensi Spesimen Uji <i>Bending</i> .....	21
Gambar 3-18 Variasi Dimensi <i>Core Ribs Honeycomb</i> Spesimen Uji <i>Bending</i> ....	22
Gambar 3-19 Susunan Lapisan Komposit.....	23

Gambar 4-1 Proses Pembuatan <i>Core ABS</i> .....	24
Gambar 4-2 Susunan Komposit.....	25
Gambar 4-3 Pemasangan Selang Spiral .....	25
Gambar 4-4 Pelapisan <i>Dextone</i> .....	25
Gambar 4-5 Memasukkan Bahan Ke dalam <i>Vacuum Bag</i> .....	26
Gambar 4-6 Pencampuran Epoksi dan Hardener .....	26
Gambar 4-7 Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	26
Gambar 4-8 Proses <i>Finishing</i> .....	27
Gambar 4-9 Hasil <i>Core ABS</i> Setelah <i>Vacuum Infusion</i> .....	27
Gambar 4-10 Proses Pengujian <i>Three Point Bending</i> .....	28
Gambar 4-11 Hasil Pengujian <i>Bending Core</i> Tanpa Komposit .....	28
Gambar 4-12 Hasil Pengujian <i>Bending Core</i> Komposit Lapis <i>Carbon</i> .....	29
Gambar 4-13 Hasil Grafik Pengujian Bending Tanpa Skin .....	30
Gambar 4-14 Hasil Grafik Pengujian Bending Tanpa Skin .....	30
Gambar 4-15 Hasil Grafik Pengujian Bending Tanpa Skin .....	31
Gambar 4-16 Hasil Grafik Pengujian Bending Dengan Skin.....	32
Gambar 4-17 Grafik Perbandingan Tegangan <i>Bending</i> Dengan <i>Skin</i> .....	35
Gambar 4-18 Grafik Perbandingan Tegangan <i>Bending</i> Tanpa <i>Skin</i> .....	36
Gambar 4 -19 Spesimen yang sudah diiris .....	37
Gambar 4-20 Grafik Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> Dengan <i>Skin</i> .....	38
Gambar 4-21 Grafik Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> Tanpa <i>Skin</i> .....	38
Gambar 4-22 Grafik Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik Dengan <i>Skin</i> ....	39
Gambar 4-23 Grafik Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik Tanpa <i>Skin</i> .....	40
Gambar 4-24 Hasil Analisis Kegagalan <i>Ribs</i> Diameter 10 dan Tebal 1 mm ....	41
Gambar 4-25 Hasil Analisis Kegagalan <i>Ribs</i> Diameter 10 dan Tebal 3 mm .....	42
Gambar 4-26 Hasil Analisis Kegagalan <i>Ribs</i> Diameter 10 dan Tebal 5 mm .....	43
Gambar 4-27 Hasil Analisis Kegagalan <i>Ribs</i> Diameter 20 dan Tebal 1 mm .....	44
Gambar 4-28 Hasil Analisis Kegagalan <i>Ribs</i> Diameter 20 dan Tebal 3 mm .....	45
Gambar 4-29 Hasil Analisis Kegagalan <i>Ribs</i> Diameter 20 dan Tebal 5 mm .....	46
Gambar 4-30 Hasil Analisis Kegagalan <i>Ribs</i> Diameter 30 dan Tebal 1 mm .....	47
Gambar 4-31 Hasil Analisis Kegagalan <i>Ribs</i> Diameter 30 dan Tebal 3 mm .....	48
Gambar 4-32 Hasil Analisis Kegagalan <i>Ribs</i> Diameter 30 dan Tebal 5 mm .....	49

## DAFTAR NOTASI

$\sigma$  = Tegangan bending maksimal (MPa)

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

P = Beban yang diberikan (N)

L = jarak antar titik tumpuan(mm)

b = lebar spesimen (mm)

h = tebal spesimen (mm)

$\delta$  = Defleksi (mm)

D = Kekakuan bending (Nmm<sup>2</sup>)

W = Berat spesimen (gram)





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*3D printing* merupakan *Additive Manufacturing* (AM) yang dapat memproduksi atau mencetak struktur yang canggih dalam satu kesatuan dengan proses kerja penambahan bahan lapis demi lapis. *3D Printing* banyak digunakan karena dapat membuat suatu produk dengan kompleksitas geometri yang tinggi meskipun membutuhkan waktu yang cukup lama. Kekuatan *bending* pada produk *3D printing* masih tergolong lemah dibandingkan dengan produk buatan yang lain.

Dalam dunia industri, *3D printing* banyak digemari sehingga muncul ide untuk mencari material alternatif dalam memenuhi sifat material yang kaku, salah satunya adalah penggabungan *3D printing* dengan material komposit. Komposit adalah pencampuran beberapa material yang memiliki sifat mekanik yang berbeda. Material komposit memiliki keunggulan yang berbeda dibandingkan dengan material yang lainya seperti lebih kuat, lebih kaku, lebih ringan, dan tahan korosi. Penggunaan komposit juga memiliki keunggulan lebih murah dalam hal perawatan.

Beberapa penelitian yang dilakukan para ilmuwan dalam dekade terakhir ini mencoba mencari nilai kekakuan bending material dengan melakukan pengujian spesimen *3D print* digabungkan dengan komposit. Namun hasilnya nilai kekakuan bending dari hasil pengujian tersebut masih rendah. Penggabungan kedua teknologi ini memberikan peluang bahwa sifat mekanik kekuatan bending produk dapat dirancang lebih fleksibel sesuai kebutuhan pada sistem mekanik.

Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk meningkatkan nilai kekakuan bending dengan menambahkan *ribs* pada produk tertutup yang terinspirasi dari struktur bangunan bertingkat. Struktur tersebut memiliki keunggulan pada kekakuan dan kekuatan yang baik. *Ribs* berbentuk *honeycomb* yang saling terhubung sebagai penguat *core*. Selain itu, penambahan *skin* pada sisi atas *core* menggunakan *carbon fiber* diharapkan dapat memberikan hasil sifat kekakuan *bending* yang spesifik.

Serat *carbon fiber* adalah material penguat komposit yang memiliki keunggulan pada rasio kekuatan dengan berat yang ringan. Struktur *gyroid* digunakan pada *infill 3D print* karena memiliki sifat mekanik yang baik terhadap arah beban *bending*. Penggabungan antara kekuatan serat *carbon fiber* sebagai *skin* dengan *core* yang diperkuat *ribs* berbentuk *honeycomb* yang saling terhubung dan *infill gyroid 3D print* diharapkan dapat menghasilkan komposit dengan memiliki sifat kekakuan *bending* 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 serat *carbon fiber* pada bagian *skin* atas terhadap kekakuan *bending*?
2. Bagaimana perbedaan dimensi spesimen sebelum dan sesudah dilakukan komposit?
3. Apakah terdapat kegagalan pada spesimen dengan pengujian *bending*?

## 1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

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. Spesimen yang diuji menggunakan standar ASTM C393.
5. Pengujian yang dilakukan hanya menggunakan pengujian *bending*.
6. Sifat mekanik yang diukur adalah nilai kekakuan spesimen.
7. FEM dilakukan hanya untuk menganalisis modus kegagalan yang terjadi pada spesimen.

## **1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan**

1. Mengukur penambahan nilai kekakuan *bending* tertinggi pada spesimen *3D printing* diperkuat *ribs* yang berbentuk *honeycomb* dilapisi komposit sebagai *skin* menggunakan serat *carbon fiber* pada bagian atas dan tanpa lapisan *skin carbon fiber*.
2. Mengetahui 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. Memperkirakan nilai kekakuan penambahan *skin carbon fiber* terhadap kekuatan *bending* pada produk tertutup.
2. Mengetahui nilai kekakuan *bending* yang signifikan dengan penambahan *ribs*.
3. Dapat digunakan sebagai rujukan ketika ingin membuat produk yang diperkuat menggunakan *ribs* dan *carbon fiber*.
4. Dapat diterapkan pada produk tertutup yang konstruksinya tidak bisa di *sandwich* tetapi hanya memerlukan satu sisi saja.
5. Lebih hemat bahan dan biaya produksi.

## **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**

Sebagai bahan kajian bagi penulis, penelitian terdahulu yang terkait dengan permasalahan yang diteliti sangat penting diketahui oleh penulis. Hal tersebut agar menghindari terjadinya plagiarisme dan dapat diketahui bahwa penelitian yang dilakukan mempunyai arti penting dengan memberikan kontribusi penelitian terhadap ilmu pengetahuan dan mengetahui hubungan antara penelitian sebelumnya dengan saat ini.

Kajian pustaka pertama yaitu penelitian oleh Marsono et al. (2021). Dalam penelitian ini, penulis mencoba membuat spesimen uji *honeycomb sandwich* dibuat dari komposit serat karbon dan diuji untuk menentukan kekuatan lentur dan kekakuan. Spesimen uji *honeycomb sandwich* ini dibuat dengan ketebalan yang bervariasi 1 lapisan dan 2 lapisan lembaran serat karbon. Matriks yang digunakan adalah resin epoksi yang dibuat dengan dua metode, dengan dan tanpa pemanasan. Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa kekuatan lentur tertinggi yang dapat dicapai adalah 5,193 kgf/mm<sup>2</sup> yang dicapai oleh benda uji yang memiliki 2 lapisan serat karbon dengan resin epoksi pemanas. Kekakuan lentur juga tercapai oleh spesimen yang sama, sebesar 67,49 kgf/mm.

Penelitian lain untuk membandingkan sifat fisik dan sifat tarik komposit hasil manufaktur *wet hand lay up* dengan komposit hasil VARI (*vacum 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.

Penelitian yang terkait uji *three point bending* dengan mengeksplorasi efek suhu pada sifat lentur *three point bending* dan mekanisme kegagalan balok *sandwich* komposit serat *carbon fiber* dengan inti rangka-Y. Hasil dari uji bending pada penelitian ini *specimen carbon fiber composite sandwich* memiliki kekuatan yang lebih tinggi ketika suhu dingin mencapai  $-70^{\circ}\text{C}$  dan kekuatan akan menurun ketika suhu panas sampai  $200^{\circ}\text{C}$  (Zhou et al., 2021).

Kajian pustaka selanjutnya berasal dari penelitian OlivianDES (2021). Pada penelitian ini lapisan komposit yang terdiri dari (*skin*) menggunakan *fiberglass* dan material inti (*core*) menggunakan PLA dengan metode *vacuum infusion*. Pada penelitian ini peneliti bervariasi jumlah lapisan *fiberglass (skin)* menggunakan 2,3 dan 4 lapisan dengan menggunakan *core 3D printing*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai kekakuan pada masing-masing lapisan *fiberglass (skin)* menggunakan pengujian *bending*. Hasil pengujian didapatkan nilai kekakuan tertinggi yaitu pada variasi 2 lapisan skin dengan nilai  $4.131.398,63 \text{ Nmm}^2$  dan hasil spesimen setelah dilakukan proses *vacuum infusion* mengalami perubahan dimensi yaitu pada berat dan tinggi spesimen karena penambahan *fiberglass (skin)* yang menempel pada spesimen.

Kajian Pustaka kelima berasal dari penelitian Adriansyah (2021). Penelitian ini membahas tentang pengujian bending pada komposit *sandwich* dengan metode *hand lay-up* dengan *infill* 10% dan *infill* 20%. Didapat kesimpulan bahwa komposit *sandwich* dengan *infill* 20% lebih baik dibanding dengan komposit *sandwich* dengan *infill* 10%. Komposit dengan *infill* 20% dapat menanggung beban maksimal yaitu 935 Newton, sedangkan komposit dengan *infill* 10% dapat menanggung beban maksimal yaitu 315 Newton.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Komposit

Menurut Hadi (2000) kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda, digabung atau dicampur secara makroskopis. Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (modulus *young/density*) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam. Beberapa lamina komposit dapat ditumpuk dengan arah orientasi serat yang berbeda, gabungan lamina disebut laminat.

Pada umumnya bahan komposit terdiri dari dua unsur, yaitu:

1. penguat (*reinforcement*), memiliki sifat *relative* kurang elastis namun lebih kuat dan kaku;
2. matrik, memiliki sifat yang akan menghasilkan sifat mekanik dari komposit tersebut

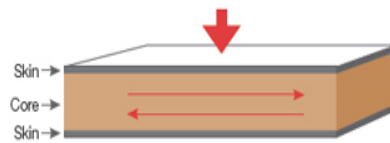
Sedangkan menurut Surdia dan Saito (1999) Material komposit memiliki dua bagian penting sebagai penyusunnya. Yang pertama yaitu matrik sebagai pengikat contohnya yaitu resin *epoxy*, yang kedua yaitu *filler* yang berfungsi sebagai penguat berupa serat maupun partikel, contohnya yaitu *carbon fiber* dan *fiberglass*. Karakteristik dari komposit sendiri ditentukan dari *filler* yang digunakan seperti keuletan, kekakuan, kekuatan, kelenturan maupun sifat mekanik yang lainnya.

### 2.2.2 Komposit *Sandwich*

Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua skin dipasang *core*. Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban lentur, dampak, meredam getaran dan suara.

Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Biasanya pemilihan bahan untuk komposit *sandwich*, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan. Dengan menggunakan material inti yang sangat ringan,

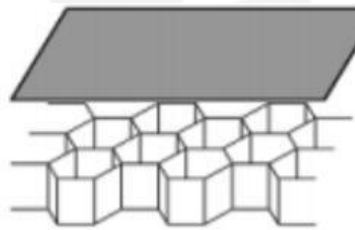
maka akan dihasilkan komposit yang mempunyai sifat kuat, ringan, dan kaku (Widiyono et al., 2021).



Gambar 2-1 Struktur Komposit *Sandwich*

### 1. *Core*

*Core* adalah bagian inti dari komposit *sandwich*, bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Dengan kekakuannya, *core* harus mampu menahan beban geser agar tidak terjadi *slide* antar permukaan. Bahan untuk pembuatan *core* harus memiliki tingkat kekakuan yang tinggi, karena apabila *core* menggunakan bahan dengan tingkat kekakuan yang rendah, maka kekakuan pada *sandwich* akan hilang atau berkurang. Pada penelitian ini *Core* yang digunakan *3D Printing* berbentuk *Ribs honeycomb* (Hartono et al., 2016).



Gambar 2-2 *Core* Bentuk *Ribs Honeycomb*

### 2. *Skin*

*Skin* merupakan bagian terluar dari komposit *sandwich*, letak *skin* pada komposit *sandwich* terdapat pada bagian terluar untuk melapisi *core*. Fungsi dari *skin* untuk menahan *tensile* dan *compressive stress*. *Skin* biasanya terbuat dari serat ataupun partikel. Untuk meningkatkan sifat mekanis kekuatan bending struktur komposit *sandwich* dibutuhkan pemilihan jenis *skin* yang tepat (Hartono et al., 2016).



Gambar 2-3 Serat *Carbon Fiber*



### 2.2.3 Komposit 3D Print FDM/FFF

Selama ini proses produksi yang dikenal dan digunakan untuk membuat *prototype* dari suatu produk di industri manufaktur adalah proses manufaktur dengan cara menghilangkan sebagian material dengan menggunakan mesin-mesin perkakas, yang biasanya dikenal sebagai *subtractive manufacturing*. Saat ini, industri manufaktur mulai mengembangkan suatu proses produksi yang tidak membuang atau menghilangkan sebagian material, akan tetapi proses yang digunakan adalah dengan menggunakan metode penambahan material, yang dikenal dengan proses *Additive Manufacturing* (AM) atau yang lebih populer disebut *3D Printing* (Ardiansyah et al., 2021).

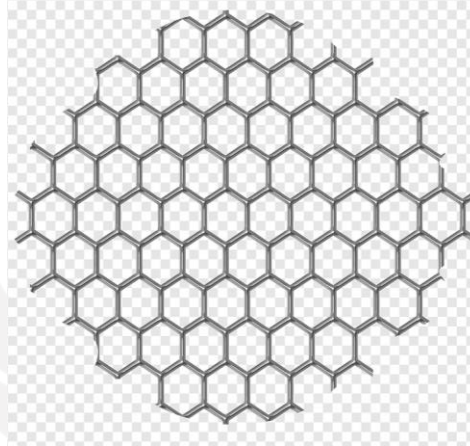


Gambar 2-4 Mesin 3D Printing

Dalam pencetakan 3D FFF (*Fused Filament Fabrication*) atau sering disebut *Fused Deposition Modeling* (FDM) terdapat beberapa bahan filamen untuk digunakan yang berfungsi sebagai bahan pengisi bentuk, seperti *polyethylene terephthalate glycol* (PETG), *nylon*, *thermoplastic polyurethane* (TPU), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *polylactic acid* (PLA/PLA+), dan lain-lain. PLA+ (asam polilaktik ditambah aditif) mempunyai karakteristik daya rekat lapisan yang baik, lebih ramah cetak, dan memiliki harga yang terjangkau (Alhazmi dan Backar 2020).

## 2.2.4 Struktur Honeycomb

Struktur *Honeycomb* adalah bentuk geometris yang sesuai untuk memanfaatkan setiap bagian unit secara maksimum. Bentuk *honeycomb* yang simetris, jika digabungkan menghasilkan kombinasi ruang guna yang sempurna, yaitu tidak menghasilkan ruang-ruang sisa yang tidak berguna seperti ruang-ruang yang berpenampang lingkaran dan segilima. Bahan baku yang dibutuhkan untuk membuat bentuk penampang *honeycomb* ternyata lebih sedikit dibandingkan yang dibutuhkan untuk membuat bentuk lain. (Meiwandari & Sriyanti, 2019)



Gambar 2-5 Struktur Honeycomb

## 2.2.5 Resin dan Hardener

Matrik polimer komposit yang sering digunakan yaitu *epoxy* dan *polyester*. *Polyester* merupakan resin cair yang memiliki nilai viskositas rendah dan mengeras pada suhu kamar dengan campuran katalis. Resin *polyester* merupakan resin yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi dalam bentuk material komposit. Berdasarkan penelitian Davalo M, et.al. (2010) bahwa *polyester* memiliki nilai *tensile strength* 63 MPa dan *strain at failure* sebesar 4,7%.

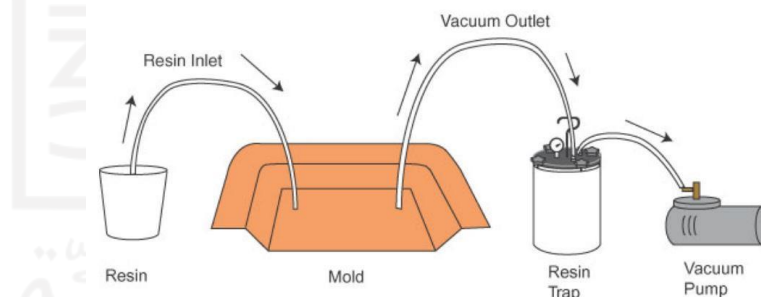
Sedangkan *epoxy* lebih kental dan membutuhkan katalis dengan prosentase yang lebih banyak dibandingkan *polyester*. Fungsi dari katalis adalah mempercepat proses pengeringan (*curing*) pada bahan matrik suatu komposit. Semakin banyak katalis yang dicampurkan pada cairan matrik akan mempercepat proses laju pengeringan (May A. C, 1988).



Gambar 2-6 *Epoxy Resin dan Hardener*

### 2.2.6 *Vacuum Infusion*

*Vacuum infusion* adalah salah satu proses pembuatan komposit yang terbaru, hal ini dikarenakan pada proses ini kita hanya membutuhkan tenaga untuk menata *carbon fiber* saja, jika pada proses yang lain kita memberikan resin dengan cara manual, pada proses ini resin akan disuntikkan ke *fiber* dengan mekanisme vakum. Jadi nantinya resin akan disedot menggunakan pompa vakum dalam keadaan kedap udara, sehingga distribusi resin akan tersebar merata ke segala sudut *fiber*, dan ketebalan pada semua bidang akan sama. Namun proses ini membutuhkan banyak peralatan pendukung yang banyak dan jarang ada di pasaran, sehingga biaya yang diperlukan cenderung mahal (Widiyono et al., 2021).



Gambar 2-7 Skema Proses *Vacuum Infusion*

Keuntungan *vacuum resin infusion*:

1. hasil yang bagus;
2. memiliki kerataan yang sama pada semua bidang;
3. distribusi resin yang merata sehingga bobot cenderung ringan.

Kekurangan *vacuum resin infusion*:

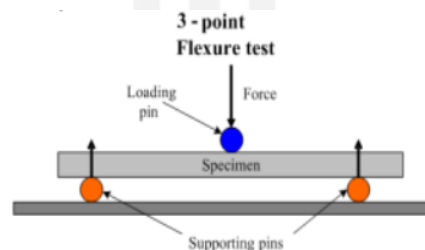
1. memerlukan biaya yang mahal;
2. membutuhkan banyak peralatan pendukung.

### 2.2.7 Pengujian Kekakuan (Uji *Bending*)

Dalam aplikasinya komposit tak pernah lepas dari proses pembebanan mekanik terutama beban *bending*. Pada umumnya kelemahan komposit terhadap beban *bending* terletak pada bagian yang belum merata pemampatannya antara serat dan matrik pada bagian bawah pada spesimen. Pada lapisan ini mempunyai kekuatan tarik maksimum dan akan mengalami kegagalan paling awal karena tidak mampu menahan tegangan tarik pada bagian bawah komposit, sehingga akan terjadi retak lebih awal. Kegagalan komposit akibat beban *bending* diawal dari *skin* komposit sisi belakang dan dilanjutkan dengan kegagalan *core*, delaminasi antara *skin* dan *core*. Spesimen dan metode pengujian mengacu pada standar ASTM C393/C393M – 11 (Widiyono et al., 2021).



Gambar 2-8 *Universal Testing Machine*



Gambar 2-9 *Three Point Bending Method*

Rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan bending sebagai berikut:

1. Tegangan *Bending* Maksimal

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

2. Kekakuan *Bending*

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

### 3. Kekakuan *Bending* Spesifik

$$\frac{D}{W} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$\sigma$  = Tegangan bending maksimal (MPa)

P = Beban yang diberikan (N)

L = jarak antar titik tumpuan (mm)

b = lebar spesimen (mm)

h = tebal spesimen (mm)

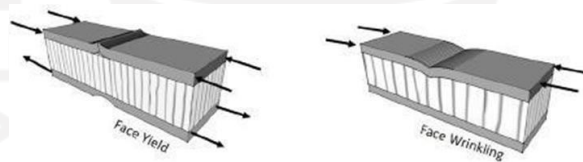
$\delta$  = Defleksi (mm)

D = Kekakuan bending (Nmm<sup>2</sup>)

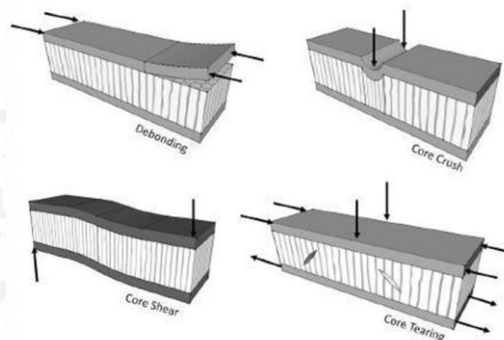
W = Berat spesimen (gram)

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

Menurut (Petras, n.d.) berikut kegagalan yang terjadi pada komposit *sandwich*:



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



Gambar 2-11 Jenis Kegagalan Pada *Core* Komposit *Sandwich*

Pada kegagalan *skin* komposit *sandwich* yang pertama yaitu *face yield* kegagalan ini terjadi ketika tegangan normal melebihi tegangan luluh material *skin*. Jika material *skin* atas memiliki sifat getas, maka kegagalan *face yield* kemungkinan besar terjadi pada *skin* bagian atas dikarenakan lebih kritis terhadap

tegangan tekan. Kemudian kegagalan face wrinkling yaitu fenomena *buckling* yang terjadi pada *skin* atas akibat tegangan tekan dan kurangnya *support* dari *core* karena dimensi struktur *core* yang terlalu besar.

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

### **2.2.9 Finite Element Via Solidworks**

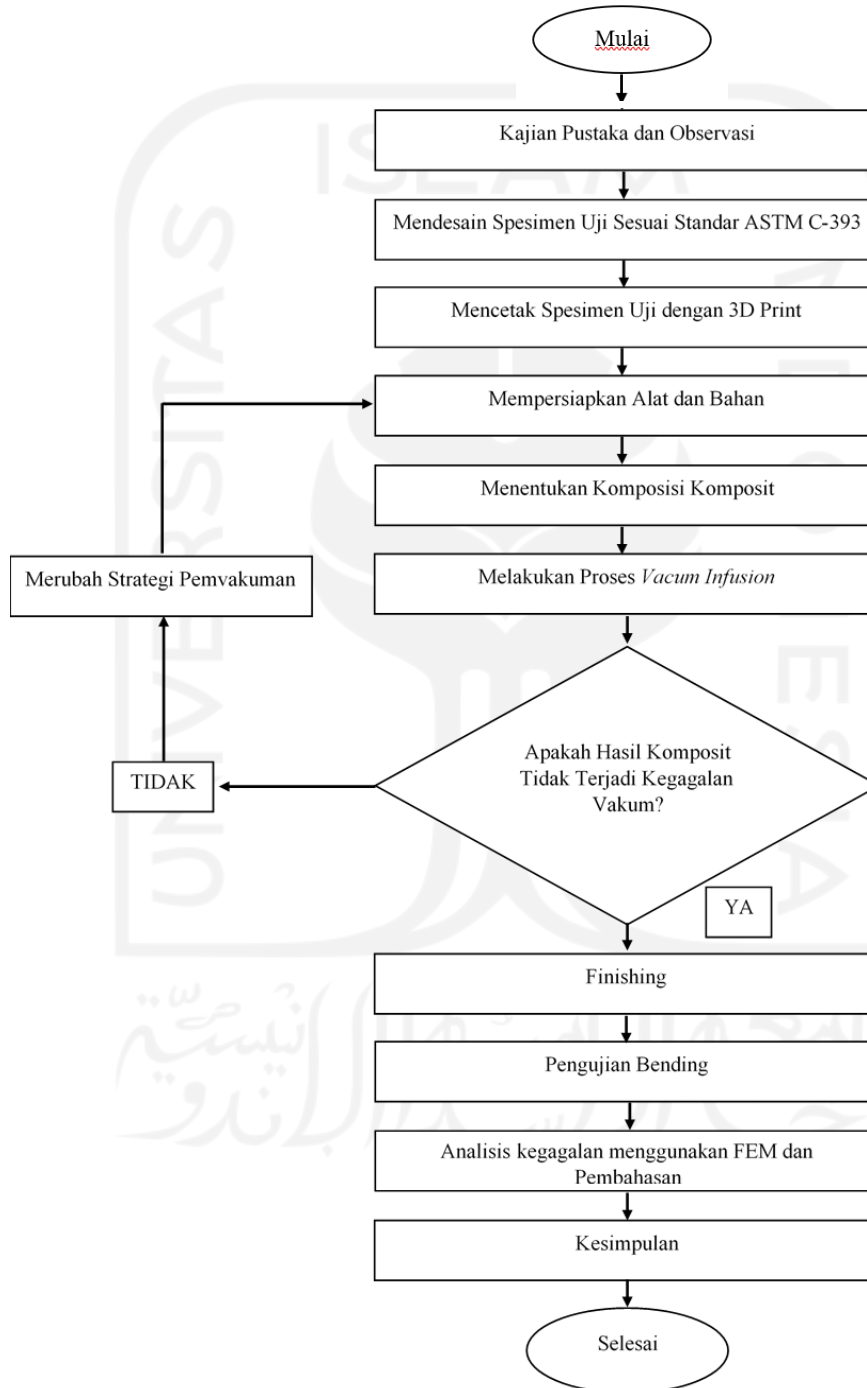
*Finite element method* (FEM) diaplikasikan pada bidang analisis khusus seperti *stress analysis*, *thermal analysis*, atau *vibration analysis*. Konsep dasar FEM adalah mengganti setiap bentuk yang rumit dengan merubahnya ke dalam bentuk yang simpel seperti segitiga-segitiga kecil yang dikombinasikan dengan tepat sesuai dengan benda aslinya. Dalam FEM, objek berupa luasan maupun volume dipecah menjadi elemen kecil-kecil kemudian dengan memasukan nilai batasan dan nilai awal pada rumus-rumus yang ada. Perhitungan seperti itu dilakukan berulang-ulang sehingga diperoleh hasil yang tepat. Perhitungan ini bila dilakukan secara manual akan sulit dan memerlukan waktu yang lama, namun dengan bantuan sebuah komputer, perhitungan menjadi mudah dan cepat. Dengan perkembangan teknologi komputer yang pesat, maka bermunculan banyak software FEM untuk membantu merancang suatu komponen dan sistem (Akin, 2009).



# 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 ½ HP yang berfungsi sebagai penghisap udara pada saat proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-1 *Vacuum Pump*

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



Gambar 3-2 *Catch Pot*

Tabung *Reservoir (Catch pot)* adalah tabung yang memiliki 2 *input* 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.

### 3. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk menakar campuran epoksi dan *hardener* dan juga diperlukan untuk menimbang berat spesimen sebelum dilapisi dan sesudah dilapisi.



Gambar 3-3 Timbangan

### 4. Katup Bensin

Katup bensin berfungsi sebagai pembuka dan penutup untuk saluran udara dari cetakan.



Gambar 3-4 Katup Bensin

### 5. *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 pemvakuman.



Gambar 3-5 *Vacuum Bag*

6. *Infusion Mesh*

*Infusion Mesh* berfungsi sebagai media penyebaran campuran epoksi dan *hardener* agar dapat berjalan dengan lancar.



Gambar 3-6 *Infusion Mesh*

7. *Peel Ply*

*Peel Ply* berfungsi sebagai pembatas antara *Infusion Mesh* dengan serat karbon agar pada saat pelepasan spesimen dapat dilepas lebih mudah.



Gambar 3-7 *Peel Ply*

8. Selang

Selang berfungsi untuk mengalirkan resin dari wadah ke dalam *plastic vacuum* dan sebagai saluran *vacuum* pada *vacuum pump* ke *reservoir trap*. Selang yang digunakan berdiamter 10 mm dan 8 mm.



Gambar 3-8 Selang

## 9. Selang Spiral

Selang spiral berfungsi untuk mengalirkan resin ke semua bagian dalam cetakan dan menyalurkan aliran tekanan dari *vacuum pump*.



Gambar 3-9 Selang Spiral

## 10. Epoxy

*Epoxy* merupakan senyawa kimiawi yang didapatkan dari proses polimerisasi epoksida. *Epoxy* berfungsi sebagai perekat antara *core 3D printing* dan serat karbon.



Gambar 3-10 Epoxy Resin

## 11. Hardener

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



Gambar 3-11 Hardener

## 12. Butyl Tape

*Butyl Tape* berfungsi untuk merekatkan plastik vakum di setiap sisi agar tidak terjadi kebocoran yang dapat menyebabkan udara dari luar masuk kedalam plastik vakum.



Gambar 3-12 *Butyl Tape*

## 13. 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 3-13 Lem *Dextone*

## 14. *Filament ABS*

*Filament ABS* yang digunakan pada penelitian ini yaitu merk esun dengan tebal *filament* 1.75 mm dengan suhu *nozzle* 235 °C, suhu *bed* 70 °C dan *speed* 60%.

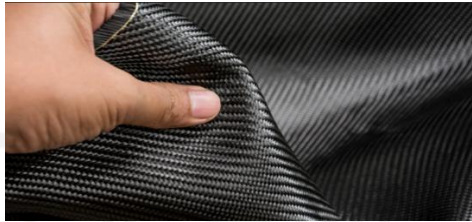


Gambar 3-14 *Fikament ABS*



### 15. Serat Karbon

Serat karbon yang digunakan pada penelitian ini menggunakan serat karbon *kevlar fiber fabric 3k 2x2 200 gsm plain & twill*. Serat *fiber* yang digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3-15.



Gambar 3-15 Serat Karbon

### 16. Akrilik

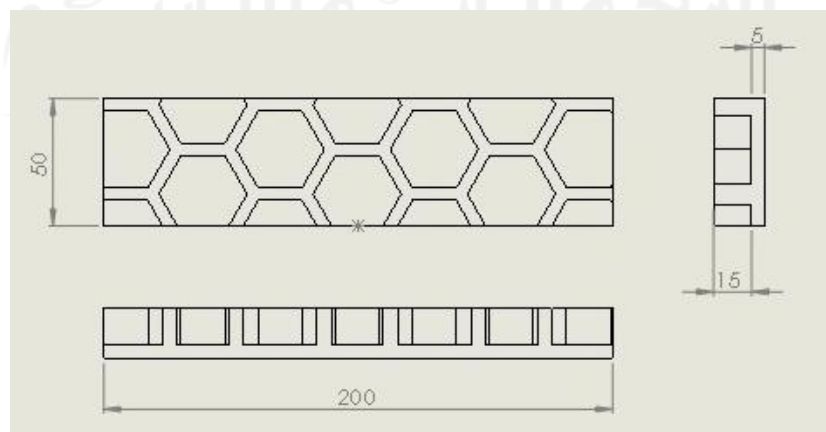
Akrilik digunakan sebagai alat bantu untuk menutup spesimen pada bagian bawah yang terdapat bentuk *ribs honeycomb* agar resin tidak masuk kedalam *ribs honeycomb* pada saat dilakukan proses *vaccum infusion*.



Gambar 3-16 Akrilik

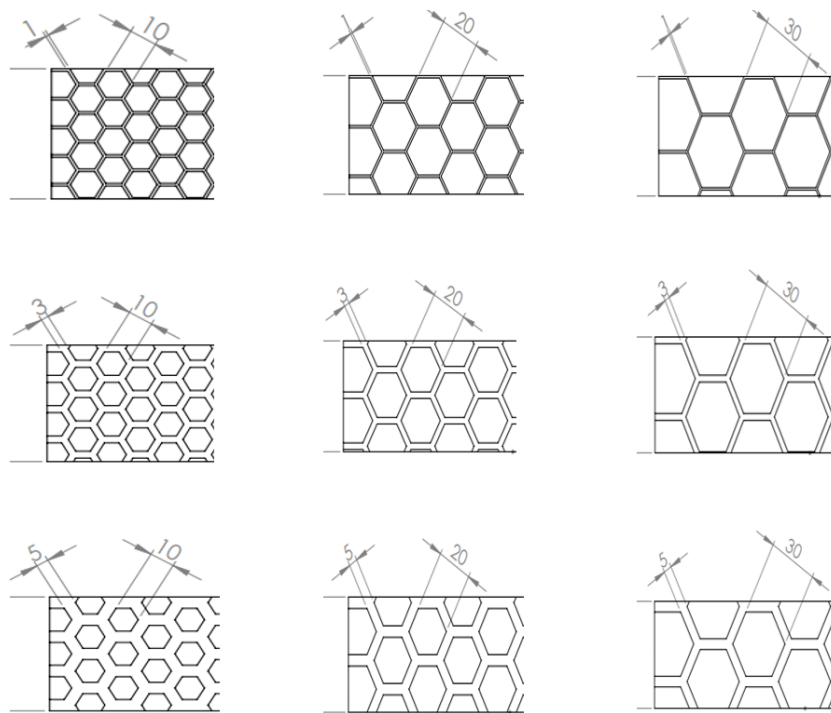
## 3.3 Dimensi Spesimen *Bending*

Dimensi spesimen yang akan dibuat pada penelitian ini sebanyak 9 spesimen ini mengacu pada standar ASTM C393 dengan pembagian tebal *core* 5 mm dan *ribs* 15 mm. *Core* dibuat dengan bentuk *ribs honeycomb* dengan tebal *core* keseluruhan 20 mm seperti pada Gambar 3-17 berikut.



Gambar 3-17 Dimensi Spesimen Uji *Bending*

Dimensi spesimen uji *bending* yang berbentuk *honeycomb* dibuat variasi tebal dan diameter *ribs* yang terdapat pada Gambar 3- 18.



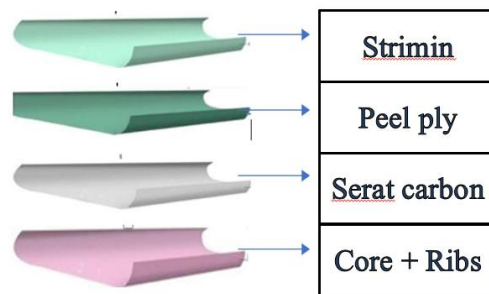
Gambar 3-18 Variasi Dimensi *Core Ribs Honeycomb* Spesimen Uji *Bending*  
 Variasi ukuran diameter *ribs honeycomb* spesimen yang akan dilapisi komposit adalah 10 mm, 20 mm, 30 mm dan variasi ukuran tebal dinding *ribs honeycomb* adalah 1 mm, 3 mm, dan 5 mm serta desain yang sama untuk *3D print* tanpa dilapisi komposit sebagai nilai pembandingan sebelum dilakukan *vacuum infusion* dan sesudah *vacuum infusion*.

Tabel 3-1 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen *Vacuum infusion*

Kode Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Berat (g)
CA10_1	49,8	19,6	53,76
CA10_3	49,9	19,6	86,25
CA10_5	49,8	19,7	84,22
CA20_1	49,6	19,8	40,13
CA20_3	49,8	19,7	60,56
CA20_5	49,7	19,7	64,00
CA30_1	49,9	19,9	35,36
CA30_3	49,7	19,8	51,82
CA30_5	50	19,8	54,63

Pada Tabel 3- 1 di atas menunjukkan perhitungan dimensi awal spesimen sebelum dilakukan proses *vacuum infusion*. Pada setiap variasi diameter *ribs honeycomb* dan tebal dinding *ribs honeycomb core* dibuat sebanyak 2 spesimen untuk yang tanpa dilapisi komposit dan 1 spesimen untuk yang akan dilapisi komposit sehingga jumlah spesimen yang akan dibuat adalah 18 spesimen.

### 3.4 Susunan Lapisan Komposit



Gambar 3-19 Susunan Lapisan Komposit

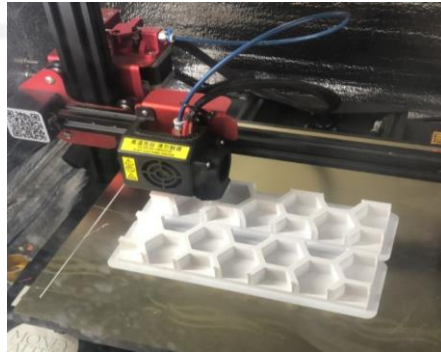
Pada Gambar 3-19 di atas menunjukkan susunan lapisan komposit dengan ketebalan *core* 20 mm dengan variasi ukuran diameter *ribs honeycomb* 10 mm, 20 mm, 30 mm dan variasi ukuran tebal dinding *ribs honeycomb* 1 mm, 3 mm, dan 5 mm dimana lapisan serat karbon sebanyak 1 lapis dan selanjutnya akan dilakukan proses *vacuum infusion*.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Proses Pengerjaan

##### 4.1.1 Pembuatan Spesimen Dengan Mesin 3D *Printing*



Gambar 4-1 Proses Pembuatan *Core* ABS

Pada Gambar 4-1 menunjukkan proses pembuatan spesimen yang dimensinya mengikuti standar ASTM C393 dengan variasi ukuran diameter *ribs honeycomb* 10 mm, 20 mm, 30 mm dan variasi ukuran tebal dinding *ribs honeycomb* 1 mm, 3 mm, dan 5 mm dengan menggunakan mesin 3D *printing*.

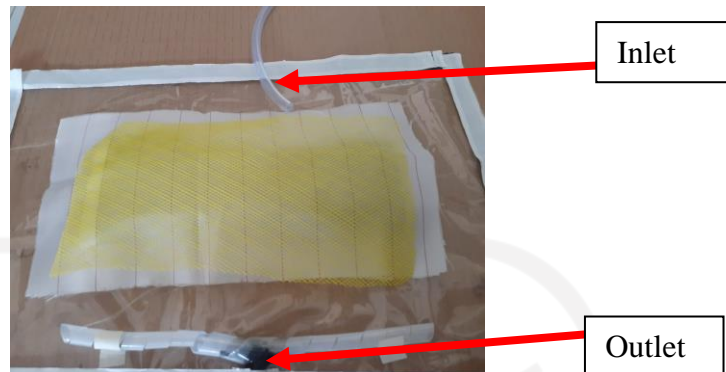
Tabel 4-1 Parameter Proses Pembuatan *Core*

Bahan	ABS
Infill	20 %
Suhu Bed	65 °C
Suhu Nozzle	235 °C
<i>Speed</i>	80 mm/s
<i>Layer thickness</i>	0,2 mm
<i>Fill pattern</i>	<i>Gyroid</i>

Pada Tabel 4-1 di atas menunjukkan parameter yang digunakan dalam proses pengepintan spesimen uji yang dibuat dengan menggunakan bahan ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), dengan *infill* 20%, *layer thickness* 0,2 mm, suhu bed 65 °C, suhu nozzle 235 °C, speed 80 mm/s dengan menggunakan *Gyroid* sebagai *fill pattern*nya.

#### 4.1.2 Proses *Vacuum Infusion*

- a. Menyusun Serat Karbon, *Infusion Mesh*, *Butyl Tape*, dan *Peel Ply*



Gambar 4-2 Susunan Komposit

Pada Gambar 4-2 di atas menunjukkan susunan komposit dengan menggunakan satu lapisan serat karbon dibagian atas.

- b. Pemasangan Selang Spiral



Gambar 4-3 Pemasangan Selang Spiral

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

- c. Pelapisan *dextone*



Gambar 4-4 Pelapisan *Dextone*

Proses ini dilakukan sebelum memasukkan semua bahan kedalam *vacuum bag* yang bertujuan agar *core* dengan serat karbon menempel lebih kuat.

- d. Menyusun bahan ke dalam plastik vakum



Gambar 4-5 Memasukkan Bahan Ke dalam *Vacuum Bag*

Pada proses ini menyusun seluruh bahan yang digunakan untuk proses pemvakuman ke dalam plastik vakum sesuai urutan pada Gambar 4-5.

- e. Proses Pencampuran Epoksi dan *Hardener*



Gambar 4-6 Pencampuran Epoksi dan Hardener

Pada Gambar 4-6 menunjukkan proses mencampurkan epoksi dengan *hardener* dengan perbandingan 100:30.

- f. Proses *Vacuum Infusion*



Gambar 4-7 Proses *Vacuum Infusion*

Pada Gambar 4-7 dapat dilihat bahwa proses *vacuum infusion* menggunakan satu *inlet* dan satu *outlet*.



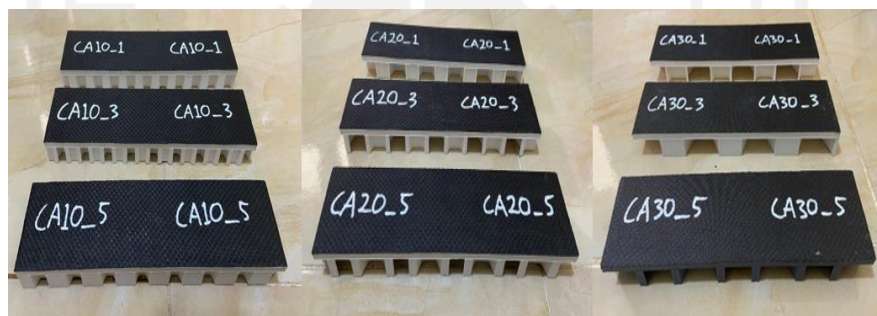
g. Proses *Finishing*



Gambar 4-8 Proses *Finishing*

Pada Gambar 4-8 dapat dilihat bahwa hasil spesimen dari proses *vacuum infusion* menggunakan *skin* serat karbon yang akan di lakukan proses *finishing* menggunakan *cutter*.

#### 4.1.3 Hasil Setelah *Vacuum Infusion*



Gambar 4-9 Hasil *Core* ABS Setelah *Vacuum Infusion*

Pada Gambar 4-9 menunjukkan gambar spesimen uji yang telah dilakukan proses *vacuum infusion* dengan penambahan *skin* serat *carbon fiber* pada sisi atas dan telah dilakukan proses *finishing* pada setiap spesimen. Kode CA10, 20, 30\_1, 3, 5 memiliki arti spesimen yang sudah dilapis *carbon fiber* dengan *ribs honeycomb* ABS berdiameter 10, 20, dan 30 mm dan tebal dinding *ribs* sebesar 1, 3, dan 5 mm.

#### 4.2 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 4-10 menunjukkan proses pengujian *three point bending*.



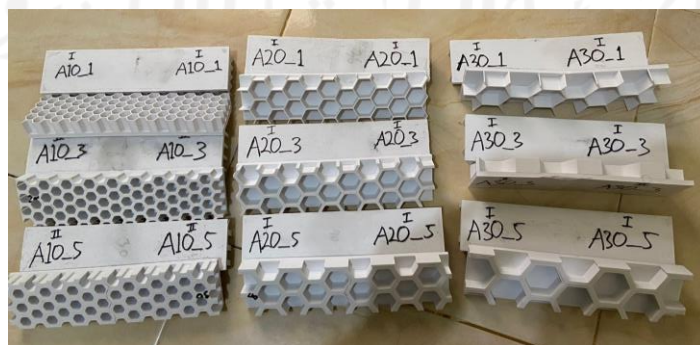
Gambar 4-10 Proses Pengujian *Three Point Bending*

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

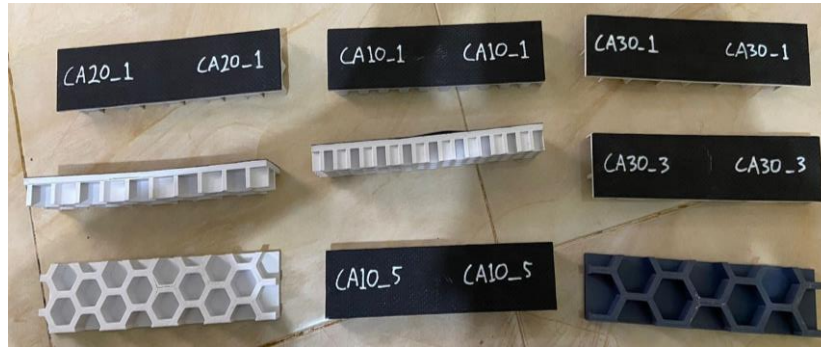
1. pastikan spesimen yang sudah dirapikan dan sesuai dengan standar ASTM C393 dikumpulkan menurut variasi nya masing-masing;
2. letakkan spesimen uji yang sudah dibuat pada alat uji *bending* dengan jarak antar titik tumpuan 170 mm dengan panjang spesimen 200 mm;
3. mesin uji *bending* akan memberikan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

### 4.3 Hasil Pengujian *Bending*

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



Gambar 4-11 Hasil Pengujian *Bending Core* Tanpa Komposit



Gambar 4-12 Hasil Pengujian *Bending Core* Komposit Lapis Carbon

Pada Gambar 4-11 dan Gambar 4-12 di atas menunjukkan spesimen setelah dilakukan pengujian *bending*. Jika dilihat pada masing-masing spesimen yang telah dilakukan pengujian, terjadi beberapa modus kegagalan yang berbeda.

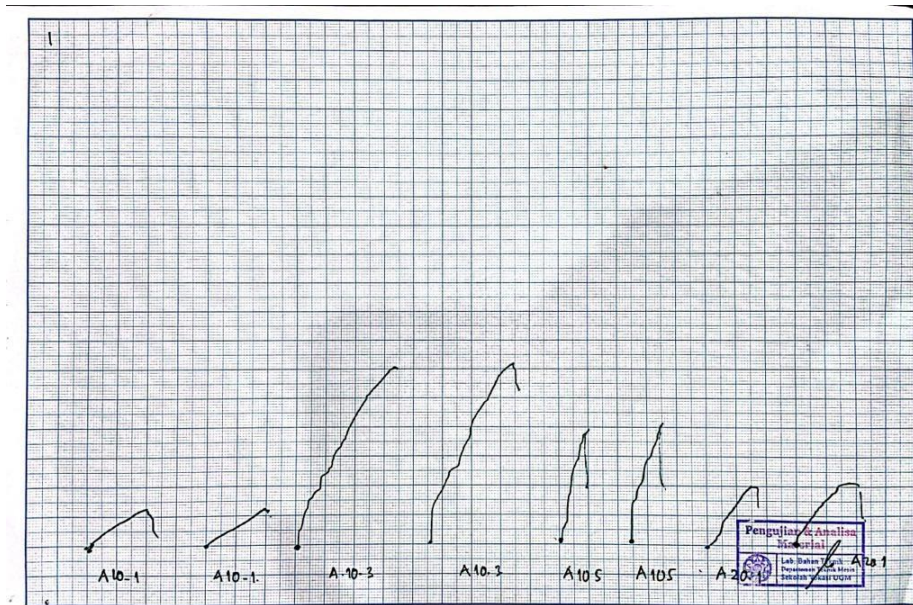
Tabel 4-2 Data Hasil Pengujian *Bending Core* Tanpa Komposit

No.	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	$P_{max}$	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

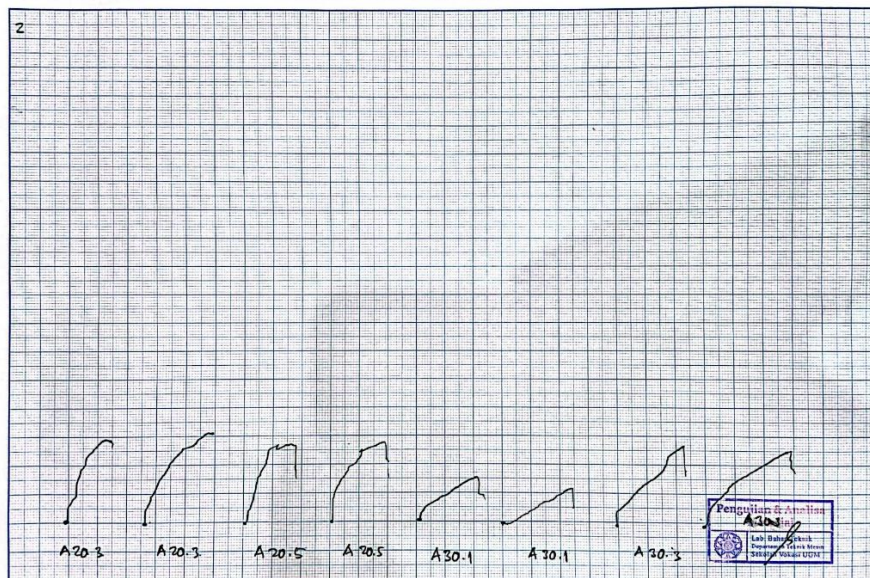
Pada Tabel 4-2 menunjukkan data yang didapat setelah melakukan pengujian *bending*. Dapat dilihat bahwa beban maksimal tertinggi yang diterima oleh spesimen pada kode A10-3 yaitu 0,62 kN, untuk defleksi maksimal tertinggi pada spesimen dengan kode A30-1 yaitu 23,58 mm, dan tegangan *bending* tertinggi pada spesimen dengan kode A10-3 sebesar 8,14 Mpa.



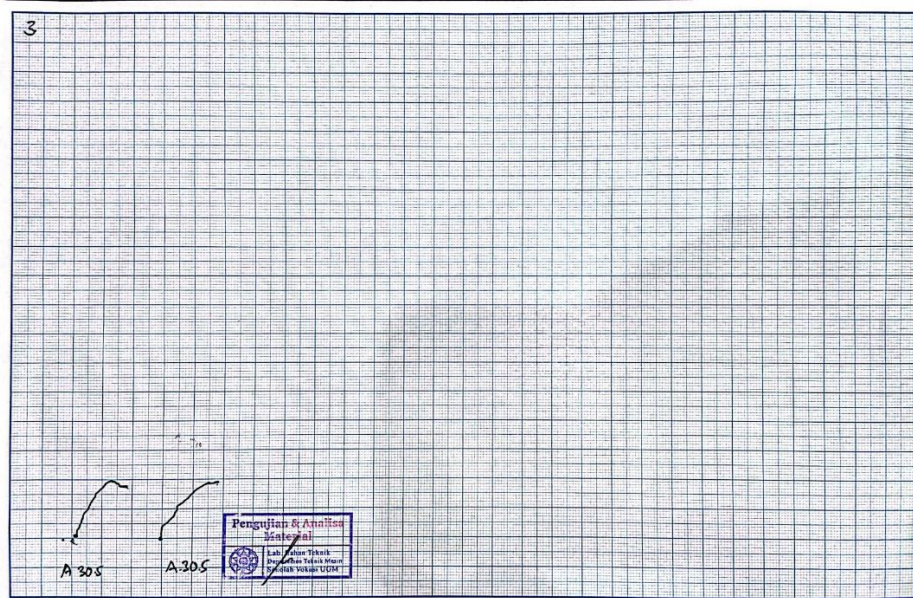
Berikut merupakan grafik yang didapat dari alat pengujian bending, dapat dilihat pada gambar 4 – 13 sampai dengan gambar 4 – 15.



Gambar 4-13 Hasil Grafik Pengujian Bending Tanpa Skin



Gambar 4-14 Hasil Grafik Pengujian Bending Tanpa Skin



Gambar 4-15 Hasil Grafik Pengujian Bending Tanpa Skin

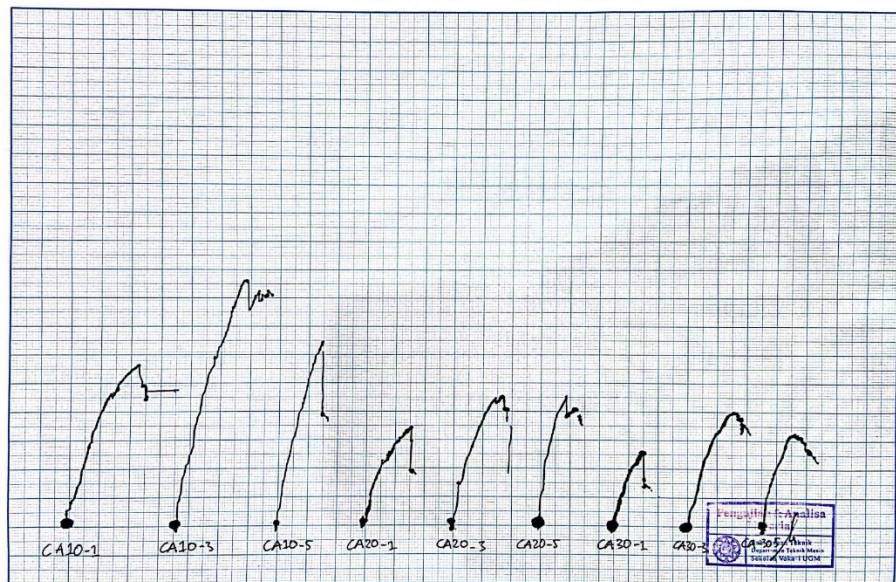
Pada Gambar 4 -13, 4 -14, dan 4 -15 menunjukkan grafik tegangan pada sumbu Y dan regangan pada sumbu X dalam pengujian bending spesimen tanpa skin sebanyak 18 spesimen. Pada grafik tersebut menunjukkan *ultimate strength* pada titik tertinggi setiap grafik, sedangkan untuk titik patah dari spesimen ditunjukkan pada kurva grafik yang menurun secara drastis.



Tabel 4-3 Data Hasil Pengujian *Bending Core* Komposit *Skin Carbon Fiber*

No.	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	$P_{max}$	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	7,33	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

Pada Tabel 4-3 menunjukkan data yang didapat setelah melakukan pengujian bending. Dapat dilihat bahwa beban maksimal tertinggi yang diterima oleh spesimen pada kode CA10-5 yaitu 0,49 kN, untuk defleksi maksimal tertinggi pada spesimen dengan kode CA20-1 yaitu 13,39 mm, dan tegangan bending tertinggi pada spesimen dengan kode CA10-3 sebesar 8,23 Mpa.



Gambar 4-16 Hasil Grafik Pengujian Bending Dengan Skin

Pada Gambar 4 -16 menunjukkan Grafik tegangan pada sumbu Y dan Regangan pada sumbu X dalam pengujian bending spesimen dengan skin sebanyak 9 spesimen. Pada grafik tersebut menunjukkan *ultimate strength* pada titik tertinggi setiap grafik, sedangkan untuk titik patah dari spesimen ditunjukkan pada kurva grafik yang menurun secara drastis.



Tabel 4-4 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	64,0	70,63
7	CA30-1	19,9	20,02	49,9	50	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 4-4 di atas, dapat dilihat perubahan dimensi dari spesimen sebelum dan sesudah dilapisi oleh komposit dengan metode *vacuum infusion*. Berat spesimen uji pada material ABS rata-rata bertambah sebesar 6,47 gram, lebar spesimen rata – rata bertambah 0,11 mm dan tebal specimen rata-rata bertambah 0,28 mm.

#### 4.4 Perhitungan

Dari data yang didapat melalui pengujian *bending*, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung kekakuan *bending*, dan kekakuan bending spesifik dari tiap kode spesimen dengan menggunakan rumus pada bab 2.

Tabel 4-5 Hasil Pengujian *Bending* Spesimen ABS

No	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Berat	P max	$\delta$	Tegangan Bending	D	D/W
		(mm)	(mm)	(g)	(N)	(mm)	(Mpa)	Nmm <sup>2</sup>	Nmm <sup>2</sup> /g
1	A10-1	19,76	49,72	52,84	355	14,78	4,67	2.458.439,05	46.530,50
2	A10-3	19,82	49,94	84,91	620	13,30	8,06	4.773.191,68	56.218,03
3	A10-5	19,76	50,1	84,44	375	4,95	4,88	7.761.943,88	91.928,04
4	A20-1	19,73	49,91	39,99	215	22,26	2,69	988.595,95	24.724,17
5	A20-3	20,01	49,79	60,94	300	16,74	3,84	1.834.852,11	30.109,16
6	A20-5	20,01	49,97	63,1	260	10,76	3,29	2.473.241,95	39.195,59

No	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Berat	P max	$\delta$	Tegangan Bending	D	D/W
		(mm)	(mm)	(g)	(N)	(mm)	(Mpa)	Nmm <sup>2</sup>	Nmm <sup>2</sup> /g
7	A30-1	19,95	49,92	34,77	140	23,02	1,80	622.484,07	17.905,48
8	A30-3	20,05	49,83	51,11	255	18,30	3,25	1.426.636,38	27.913,06
9	A30-5	19,7	49,86	56,95	180	8,57	2,37	2.149.795,80	37.752,14

Tabel 4-6 Hasil Pengujian *Bending* Spesimen ABS Lapis *Carbon*

No	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Berat	P max	$\delta$	Tegangan Bending	D	D/W
		(mm)	(mm)	(g)	(N)	(mm)	(Mpa)	Nmm <sup>2</sup>	Nmm <sup>2</sup> /g
1	CA10-1	20	50,1	59,2	420	11,12	5,34	3.865.894,78	65.302,28
2	CA10-3	20,01	50,3	91,61	650	7,37	8,23	9.027.165,31	98.539,08
3	CA10-5	20,02	49,9	91,25	490	4,37	6,25	11.476.782,99	125.772,96
4	CA20-1	20,02	49,6	46	250	13,39	3,21	1.911.018,80	41.543,89
5	CA20-3	20	49,9	68,18	340	7,33	4,34	4.747.669,40	69.634,34
6	CA20-5	20,02	49,7	70,63	340	6,18	4,35	5.631.135,38	79.727,25
7	CA30-1	20,02	49,8	42,58	180	11,52	2,3	1.599.283,85	37.559,51
8	CA30-3	20,01	49,7	58,57	320	12,77	4,1	2.564.865,57	43.791,46
9	CA30-5	20,01	50	60,91	240	8,94	3,06	2.747.762,86	45.111,85

Dari Tabel 4-5 dan Tabel 4-6 menunjukkan hasil perhitungan beban *bending*, tegangan *bending*, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik dari spesimen yang telah dilakukan pengujian *three point bending*. Dapat dilihat bahwa spesimen komposit dengan kekakuan *bending* tertinggi berada pada spesimen dengan kode CA10-5 yaitu 11.476.782,99 Nmm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk spesimen tanpa komposit dengan kekakuan *bending* tertinggi berada pada spesimen dengan kode A10-5 yaitu 7.761.943,88 Nmm<sup>2</sup>.

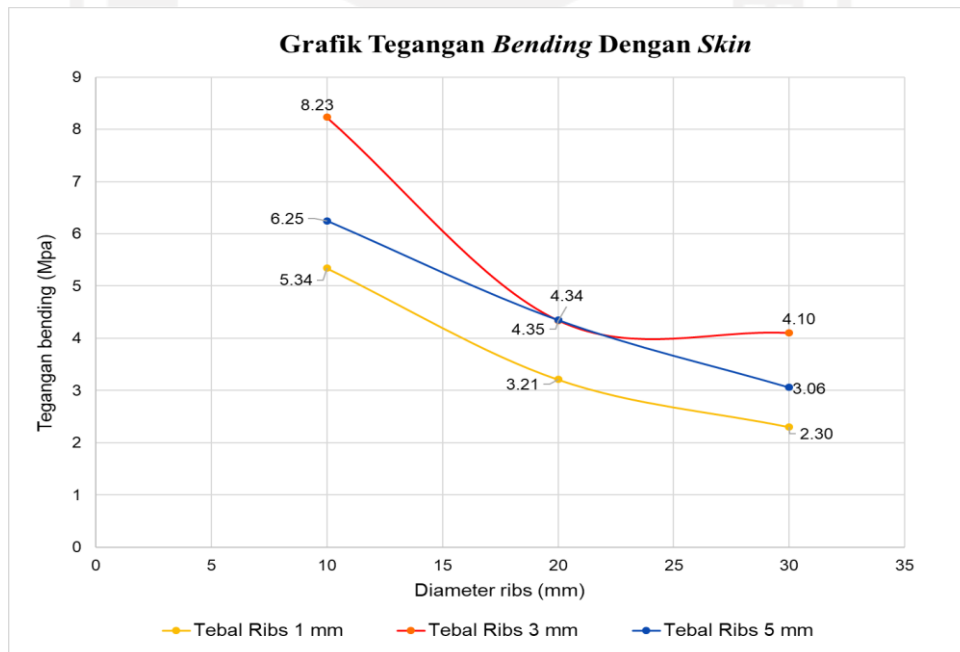
## 4.5 Pembahasan

### 4.5.1 Tegangan *Bending*

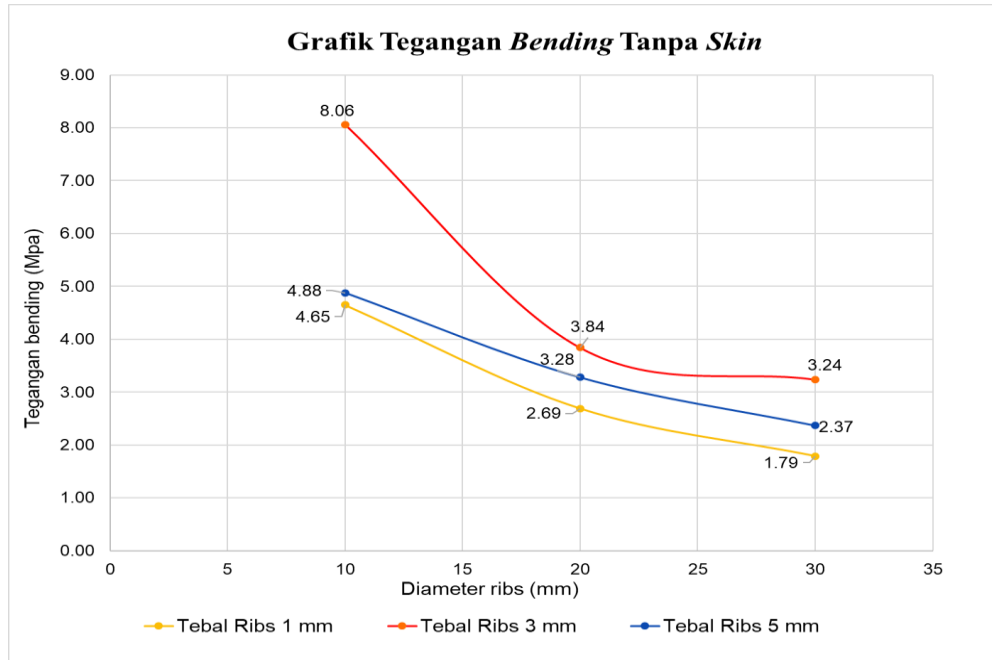
Tabel 4-7 Perbandingan Tegangan *Bending*

Kode	Tegangan <i>Bending</i> (Mpa)		Selisih (Mpa)	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
A10-1	5,34	4,65	0,69	Dengan skin unggul 1,15 x
A10-3	8,23	8,06	0,17	Dengan skin unggul 1,02 x
A10-5	6,25	4,88	1,37	Dengan skin unggul 1,28 x
A20-1	3,21	2,69	0,52	Dengan skin unggul 1,19 x
A20-3	4,34	3,84	0,5	Dengan skin unggul 1,13 x
A20-5	4,35	3,28	1,07	Dengan skin unggul 1,33 x
A30-1	2,30	1,79	0,51	Dengan skin unggul 1,28 x
A30-3	4,10	3,24	0,86	Dengan skin unggul 1,27 x
A30-5	3,06	2,37	0,69	Dengan skin unggul 1,29 x

Pada Tabel 4-7 menunjukkan bahwa spesimen yang dilapisi komposit *Skin carbon fiber* 1 sisi dengan metode *vacuum infusion* mengalami kenaikan tegangan *bending* pada saat pengujian *bending*.



Gambar 4-17 Grafik Perbandingan Tegangan *Bending* Dengan *Skin*

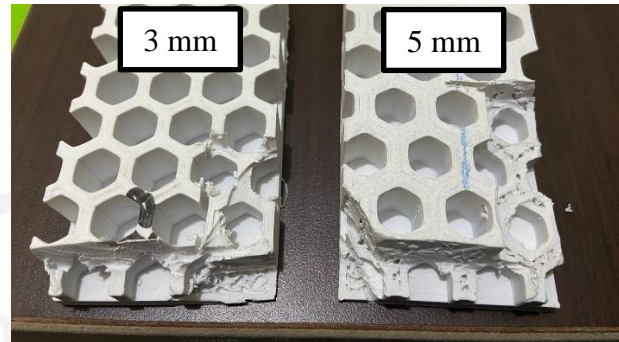


Gambar 4-18 Grafik Perbandingan Tegangan *Bending* Tanpa *Skin*

Pada Gambar 4-17 dan Gambar 4-18 dapat dilihat grafik perbandingan tegangan *bending* spesimen, dimana semakin besar diameter dan semakin tebal dinding *ribs honeycomb* tidak berpengaruh terhadap nilai tegangan *bending*-nya. Nilai tegangan *bending* tertinggi berada pada spesimen A10-3 yaitu 8,23 MPa untuk spesimen dengan *skin carbon* 1 sisi dan spesimen tanpa *skin carbon* 1 sisi dengan nilai 8,06 MPa.

Pada yang dijelaskan paragraf diatas tidak sesuai dengan teori yang terdapat pada penelitian ini. Hal tersebut dikarenakan beberapa faktor penyebab, salah satunya yang bisa diketahui pada penelitian ini adalah kepadatan pada spesimen dengan perbedaan tebal. Pada spesimen dengan tebal 5 mm memiliki tingkat kepadatan yang lebih rendah dengan infil 20%, kemudian pada spesimen tebal 3 mm memiliki tingkat kepadatan yang lebih tinggi.

Pada gambar 4 - 19 menunjukkan perbedaan kedua kepadatan spesimen dengan tebal 5 mm dan 3 mm yang menggunakan infil 20%. Perbedaan tersebut memungkinkan mempengaruhi hasil dari tegangan bending pada penelitian ini.



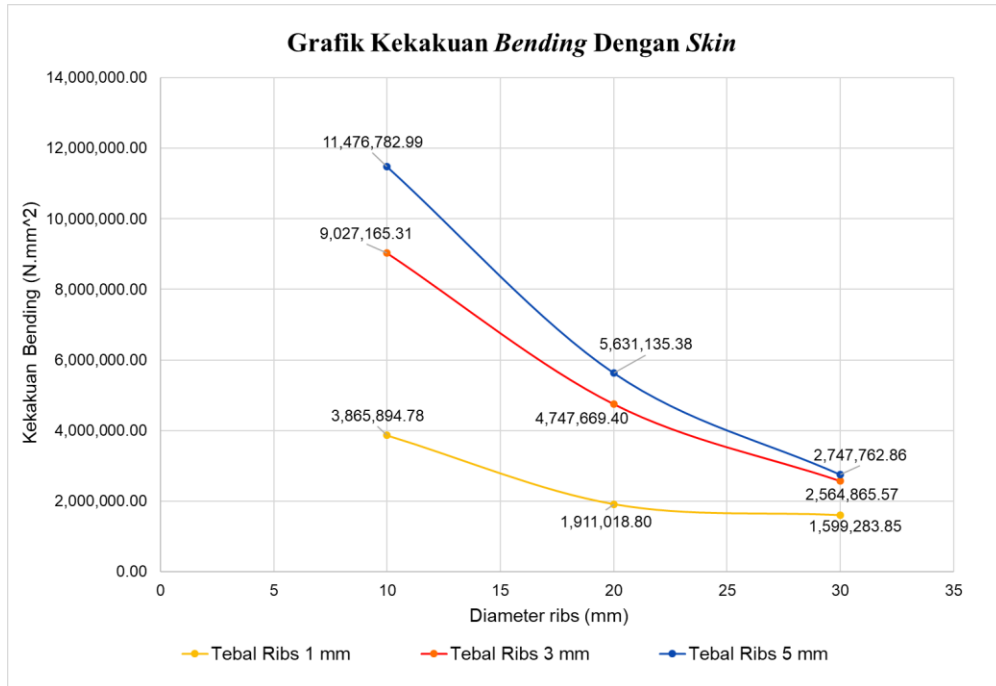
Gambar 4 -19 Spesimen yang sudah diiris

#### 4.5.2 Kekakuan Bending

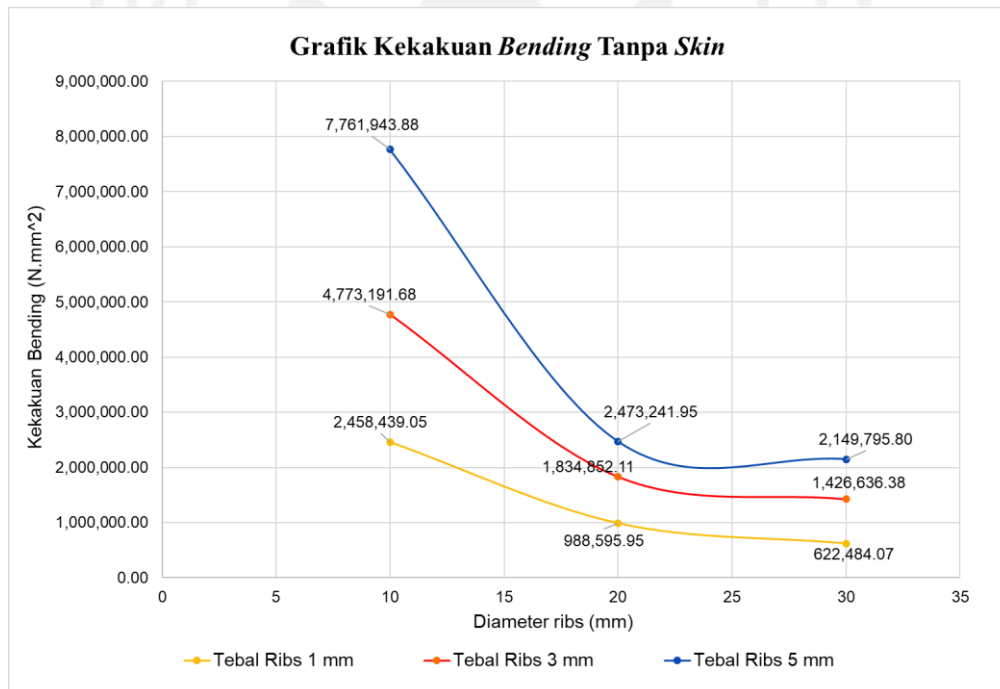
Tabel 4-8 Perbandingan Kekakuan *Bending*

Kode	Kekakuan <i>Bending</i> (Nmm <sup>2</sup> )		Selisih (Nmm <sup>2</sup> )	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
A10-1	3.865.894,78	2.458.439,05	1.407.455,73	Dengan skin unggul 1,57 x
A10-3	9.027.165,31	4.773.191,68	4.253.973,63	Dengan skin unggul 1,89 x
A10-5	11.476.782,99	7.761.943,88	3.714.839,11	Dengan skin unggul 1,48 x
A20-1	1.911.018,80	988.595,95	922.422,85	Dengan skin unggul 1,93 x
A20-3	4.747.669,40	1.834.852,11	2.912.817,29	Dengan skin unggul 1,44 x
A20-5	5.631.135,38	2.473.241,95	3.157.893,44	Dengan skin unggul 2,54 x
A30-1	1.599.283,85	622.484,07	976.799,78	Dengan skin unggul 2,57 x
A30-3	2.564.865,57	1.426.636,38	1.138.229,19	Dengan skin unggul 1,80 x
A30-5	2.747.762,86	2.149.795,80	597.967,06	Dengan skin unggul 1,28 x

Pada Tabel 4- 8 menunjukkan bahwa spesimen yang dilapisi komposit *Skin carbon fiber* 1 sisi dengan metode *vacuum infusion* mengalami kenaikan kekakuan *bending* pada saat pengujian *bending*.



Gambar 4-20 Grafik Perbandingan Kekakuan *Bending* Dengan *Skin*



Gambar 4-21 Grafik Perbandingan Kekakuan *Bending* Tanpa *Skin*

Pada Gambar 4-20 dan Gambar 4-21 menunjukkan grafik kekakuan *bending*, dimana semakin kecil diameter *ribs honeycomb* dan semakin tebal dinding *ribs honeycomb* maka nilai kekakuan *bending*-nya menjadi tinggi. Kekakuan *bending* tertinggi berada pada spesimen A10-5 yaitu 11.476.782,99

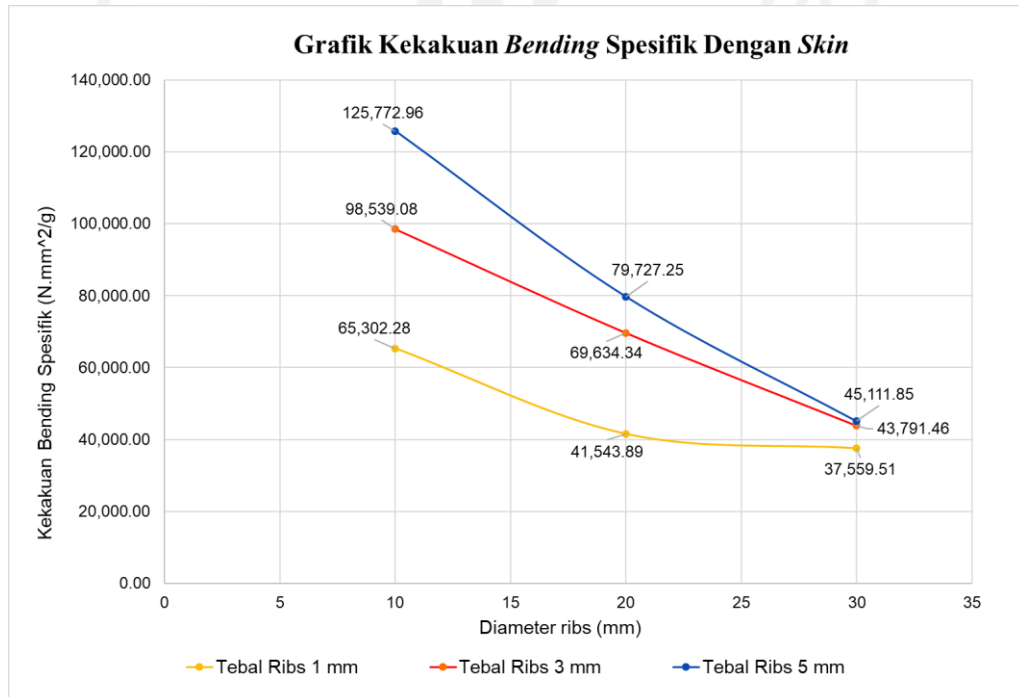
Nmm<sup>2</sup> untuk spesimen dengan *skin carbon* 1 sisi, sedangkan untuk spesimen tanpa *skin carbon* 1 sisi yaitu 7.761.943,88 Nmm<sup>2</sup>.

### 4.5.3 Kekakuan Bending Spesifik

Tabel 4-9 Perbandingan Kekakuan *Bending*

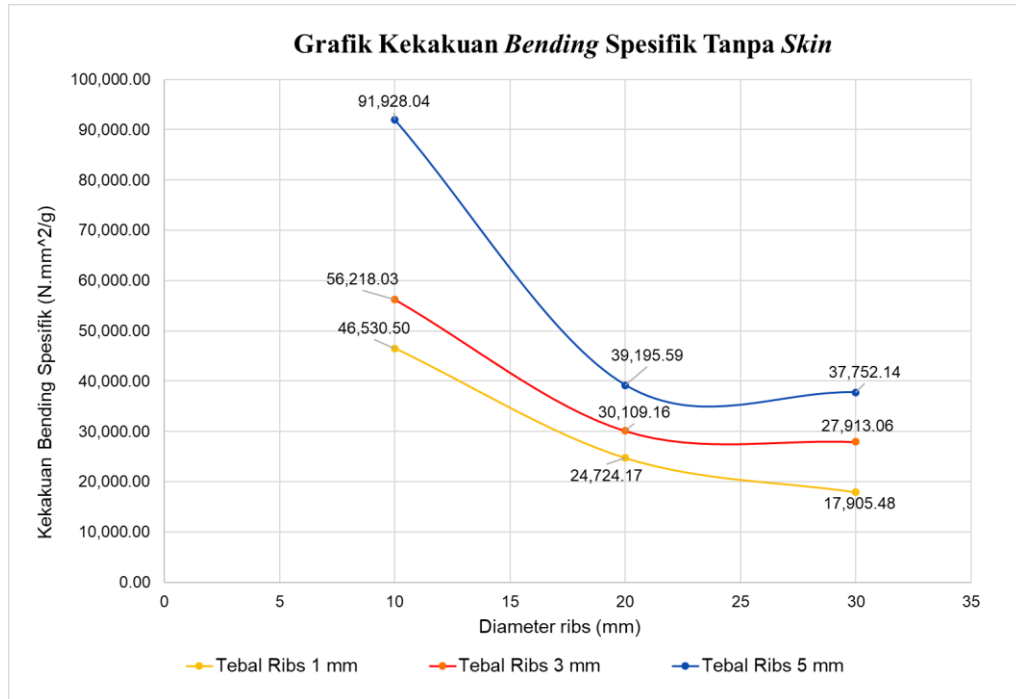
Kode	Kekakuan Bending Spesifik (Nmm <sup>2</sup> /g)		Selisih (Nmm <sup>2</sup> /g)	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
A10-1	65.302,28	46.530,50	18.771,78	Dengan <i>skin</i> unggul 1,40 x
A10-3	98.539,08	56.218,03	42.321,05	Dengan <i>skin</i> unggul 1,75 x
A10-5	125.772,96	91.928,04	33.844,93	Dengan <i>skin</i> unggul 1,37 x
A20-1	41.543,89	24.724,17	16.819,72	Dengan <i>skin</i> unggul 1,67 x
A20-3	69.634,34	30.109,16	39.525,18	Dengan <i>skin</i> unggul 1,29 x
A20-5	79.727,25	39.195,59	40.531,65	Dengan <i>skin</i> unggul 2,26 x
A30-1	37.559,51	17.905,48	19.654,03	Dengan <i>skin</i> unggul 2,10 x
A30-3	43.791,46	27.913,06	15.878,40	Dengan <i>skin</i> unggul 1,57 x
A30-5	45.111,85	37.752,14	7.359,71	Dengan <i>skin</i> unggul 1,19 x

Pada Tabel 4-9 menunjukkan bahwa spesimen yang dilapisi komposit *Skin Carbon Fiber* 1 sisi dengan metode *vacuum infusion* mengalami kenaikan kekakuan *bending* spesifik pada saat pengujian *bending*.



Gambar 4-22 Grafik Perbandingan Kekakuan *Bending* Spesifik Dengan *Skin*





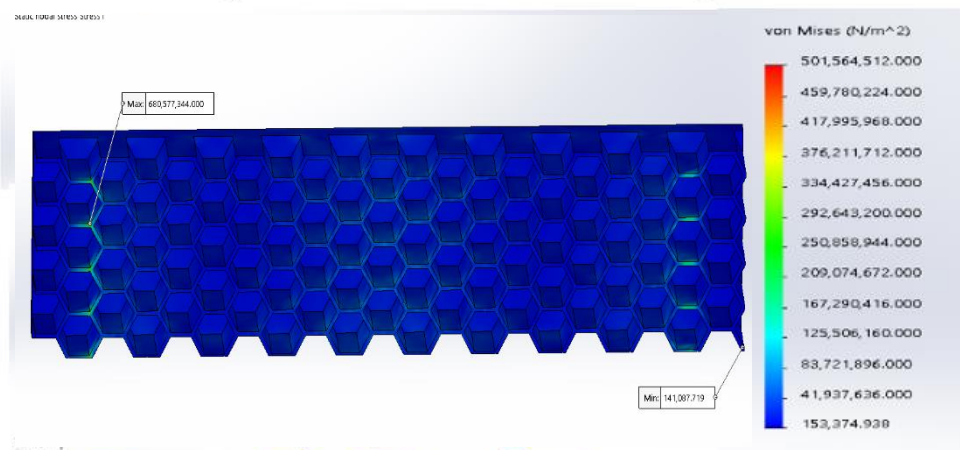
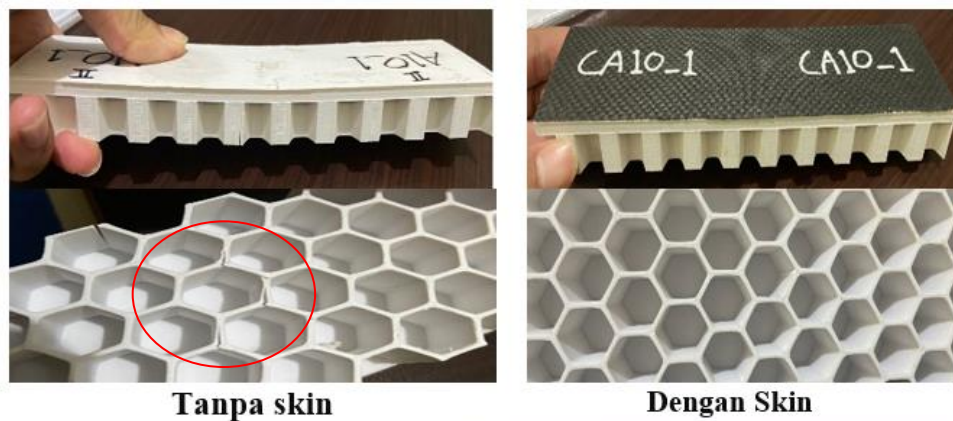
Gambar 4-23 Grafik Perbandingan Kekakuan *Bending* Spesifik Tanpa *Skin*

Pada Gambar 4-22 dan Gambar 4-23 dapat dilihat grafik perbandingan kekakuan *bending* spesifik pada spesimen yang dilapis *carbon* 1 sisi dengan spesimen yang tidak dilapis *carbon* 1 sisi memiliki selisih yang cukup besar, dimana nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi berada pada spesimen A10-5 yaitu 125.772,96  $Nmm^2/g$  untuk Spesimen dengan lapis *carbon* 1 sisi, Sedangkan untuk spesimen tanpa lapisan *carbon* 1 sisi dengan nilai 91.928,04  $Nmm^2/g$ .

#### 4.6 Analisis Kegagalan

Kegagalan pada proses pengujian bending adalah kerusakan yang terjadi pada spesimen saat dikenai beban yang melampaui kekuatannya. Berdasarkan hasil pengujian dari 27 spesimen yang diuji, umumnya spesimen mengalami kegagalan retak pada bagian tengah ribs honeycomb dimana kegagalan ini terjadi karena *core* gagal pada beban yang terkonsentrasi pada bagian tengah di bawah penekanan pada *skin* komposit yang relatif tipis terhadap tebal *core*. Selain itu beberapa spesimen juga mengalami kegagalan *skin* yang terangkat dimana kegagalan ini terjadi ketika *skin* terlalu kaku sehingga tidak mampu mengikuti defleksi dari *core* dan ikatan antara *skin* dan *core* tidak cukup kuat menahan tegangan tekan.

1. Diameter *Ribs* 10 mm dan Tebal 1 mm

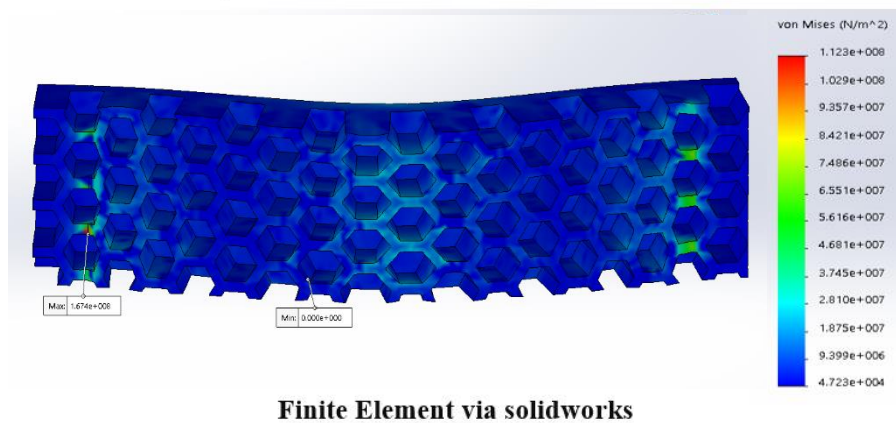
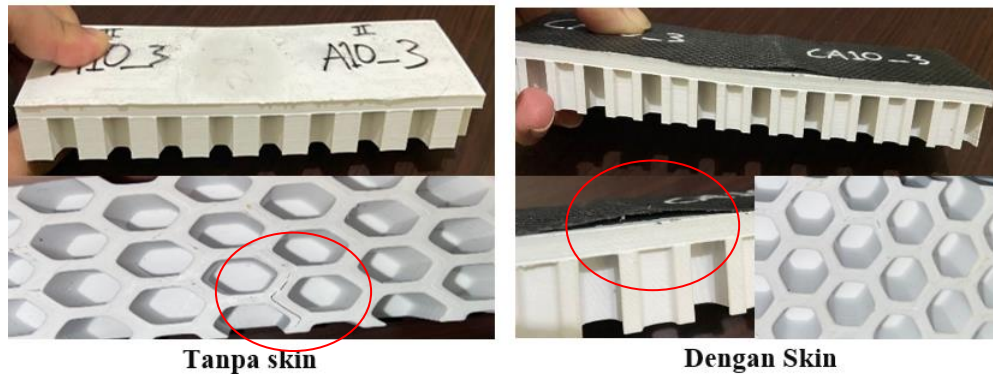


**Finite Element via solidworks**

Gambar 4-24 Hasil Analisis Kegagalan *Ribs* Diameter 10 dan Tebal 1 mm

Pada Gambar 4-24 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit dengan *core* ABS diameter *ribs* 10 mm dan tebal dinding *ribs* 1 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen ini hasil analisis menggunakan metode *finite element* menunjukkan letak daerah defleksi, tegangan, dan regangan maksimal ketika diberi beban maksimal. Pada spesimen uji *bending* tanpa *skin* terjadi kegagalan patah *ribs honeycomb*, sedangkan pada spesimen uji *bending* dengan *skin* tidak mengalami kegagalan.

## 2. Diameter *Ribs* 10 mm dan Tebal 3 mm

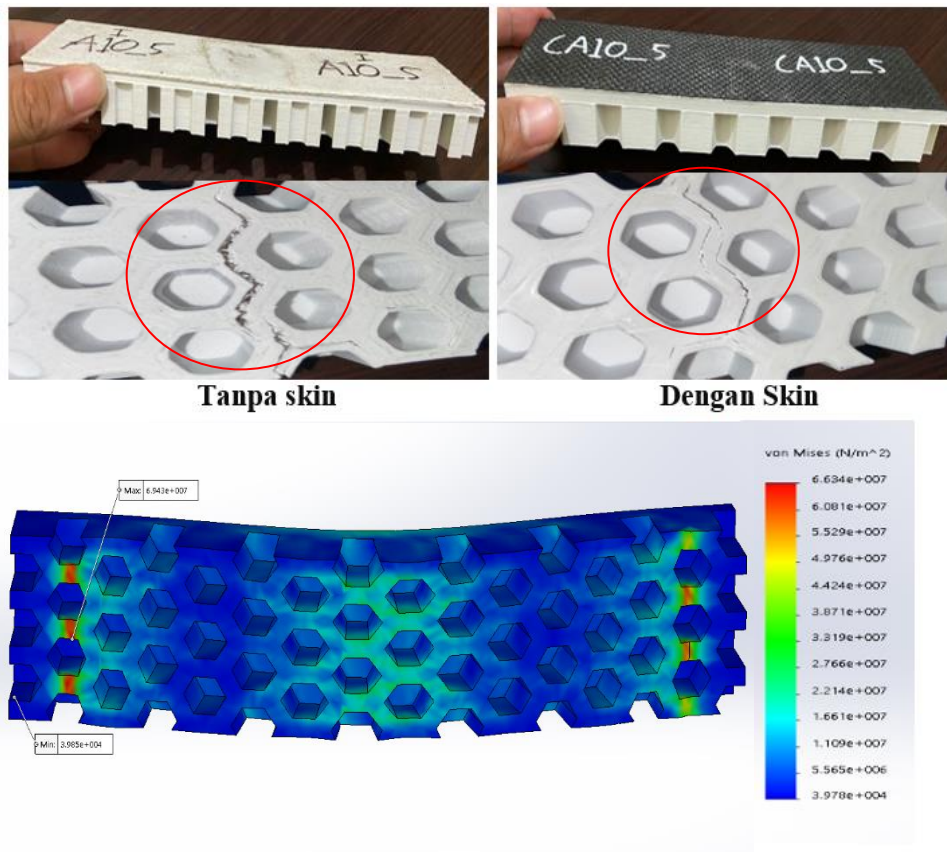


Finite Element via solidworks

Gambar 4-25 Hasil Analisis Kegagalan *Ribs* Diameter 10 dan Tebal 3 mm

Pada Gambar 4-25 dapat dilihat modulus kegagalan dari spesimen komposit dengan *core* ABS diameter *ribs* 10 mm dan tebal dinding *ribs* 3 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen ini hasil analisis menggunakan metode *finite element* menunjukkan letak daerah defleksi, tegangan, dan regangan maksimal ketika diberi beban maksimal. Pada spesimen uji *bending* tanpa *skin* terjadi kegagalan *retak pada dinding ribs honeycomb*, sedangkan pada spesimen uji *bending* dengan *skin* terjadi kegagalan pada *skin carbon fiber* yang terangkat dan tidak mengalami kerusakan pada *ribs honeycomb*.

### 3. Diameter *Ribs* 10 mm dan Tebal 5 mm

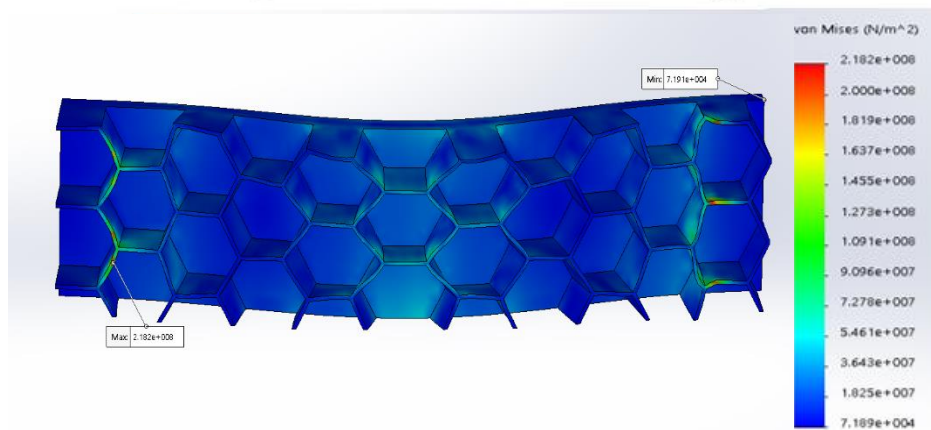
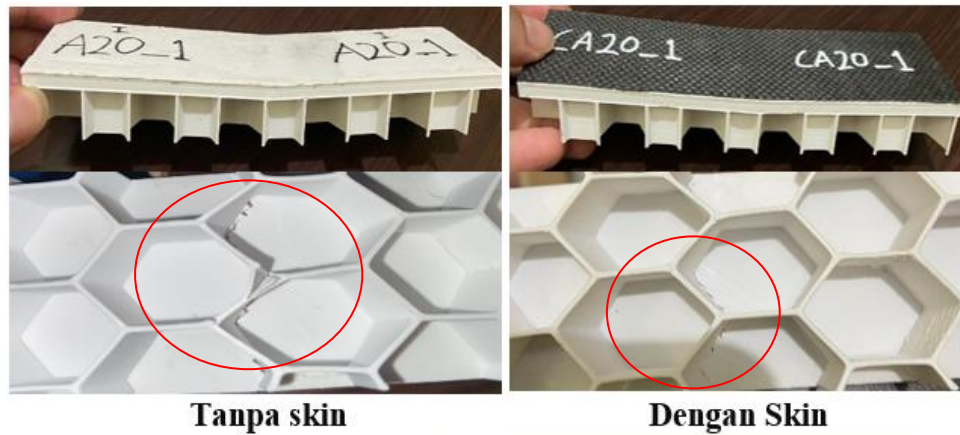


Gambar 4-26 Hasil Analisis Kegagalan *Ribs* Diameter 10 dan Tebal 5 mm

Pada Gambar 4-26 dapat dilihat modulus kegagalan dari spesimen komposit dengan *core* ABS diameter *ribs* 10 mm dan tebal dinding *ribs* 5 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen ini hasil analisis menggunakan metode *finite element* menunjukkan letak daerah defleksi, tegangan, dan regangan maksimal ketika diberi beban maksimal. Pada spesimen uji *bending* tanpa *skin* terjadi kegagalan *retak* pada bagian *ribs honeycomb*, sedangkan pada spesimen uji *bending* dengan *skin* juga terjadi kegagalan *retak* juga tetapi tidak separah yang terjadi pada spesimen uji *bending* tanpa *skin*.



#### 4. Diameter *Ribs* 20 mm dan Tebal 1 mm

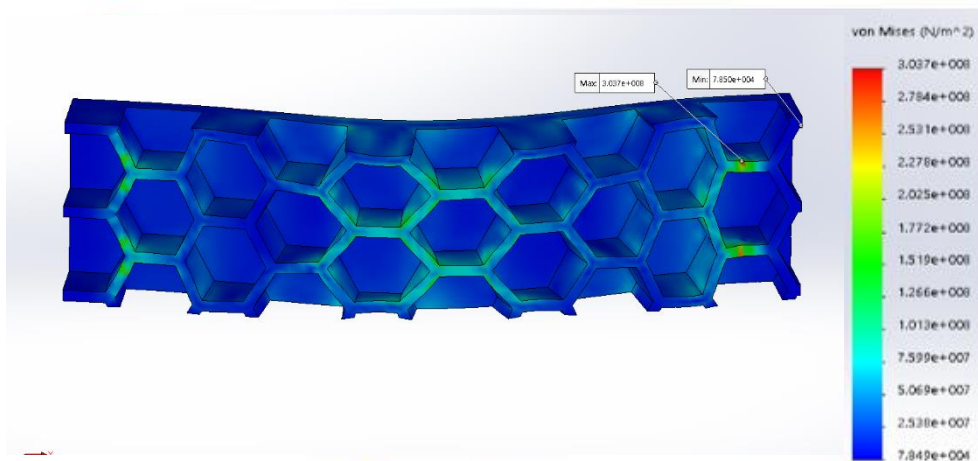
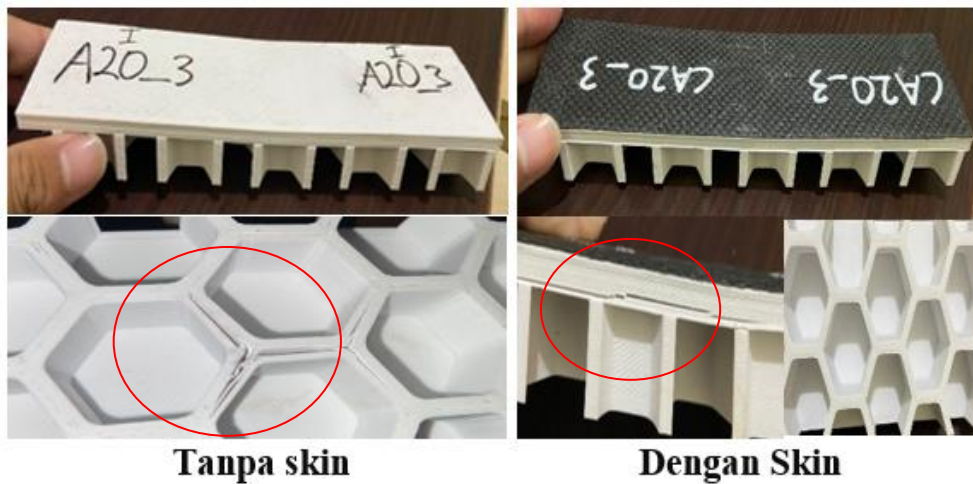


#### Finite Element via solidworks

Gambar 4-27 Hasil Analisis Kegagalan *Ribs* Diameter 20 dan Tebal 1 mm

Pada Gambar 4-27 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit dengan *core* ABS diameter *ribs* 20 mm dan tebal dinding *ribs* 1 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen ini hasil analisis menggunakan metode *finite element* menunjukkan letak daerah defleksi, tegangan, dan regangan maksimal ketika diberi beban maksimal. Pada spesimen uji *bending* tanpa *skin* terjadi kegagalan retak pada *core* dan sedikit pecah pada bagian *ribs honeycomb* sedangkan pada spesimen uji *bending* dengan *skin* hanya terjadi kegagalan retak saja pada *core* namun tidak separah yang terjadi pada spesimen uji *bending* tanpa *skin*.

5. Diameter *Ribs* 20 mm dan Tebal 3 mm

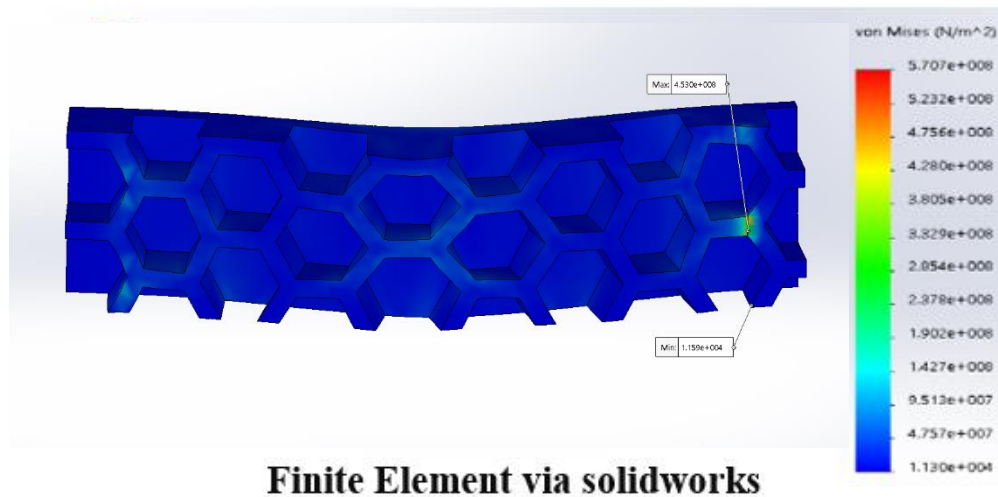
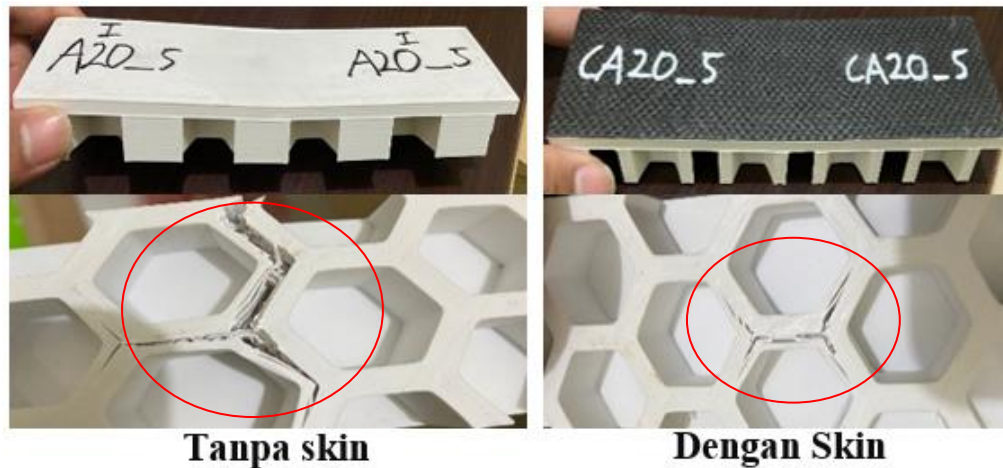


**Finite Element via solidworks**

Gambar 4-28 Hasil Analisis Kegagalan *Ribs* Diameter 20 dan Tebal 3 mm

Pada Gambar 4-28 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit dengan *core* ABS diameter *ribs* 20 mm dan tebal dinding *ribs* 3 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen ini hasil analisis menggunakan metode *finite element* menunjukkan letak daerah defleksi, tegangan, dan regangan maksimal ketika diberi beban maksimal. Pada spesimen uji *bending* tanpa *skin* terjadi kegagalan retak pada *ribs honeycomb*, sedangkan pada spesimen uji *bending* dengan *skin* hanya terjadi kegagalan pecah pada *core* bagian samping.

6. Diameter *Ribs* 20 mm dan Tebal 5 mm



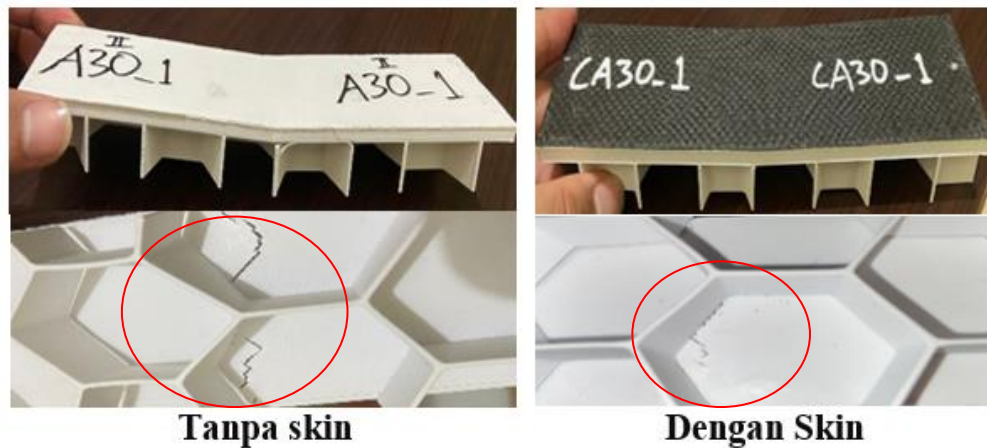
**Finite Element via solidworks**

Gambar 4-29 Hasil Analisis Kegagalan *Ribs* Diameter 20 dan Tebal 5 mm

Pada Gambar 4-29 dapat dilihat modulus kegagalan dari spesimen komposit dengan *core* ABS diameter *ribs* 20 mm dan tebal dinding *ribs* 5 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen ini hasil analisis menggunakan metode *finite element* menunjukkan letak daerah defleksi, tegangan, dan regangan maksimal ketika diberi beban maksimal. Pada spesimen uji *bending* tanpa *skin* terjadi kegagalan retak yang cukup parah pada bagian *ribs honeycomb*, sedangkan pada spesimen uji *bending* dengan *skin* juga terjadi kegagalan retak pada *ribs honeycomb* namun tidak separah yang terjadi pada spesimen uji *bending* tanpa *skin*.



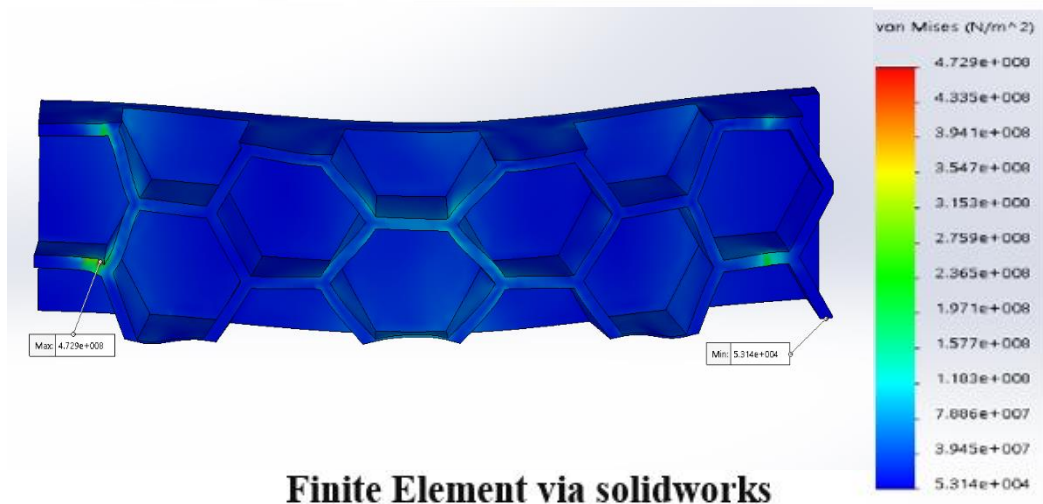
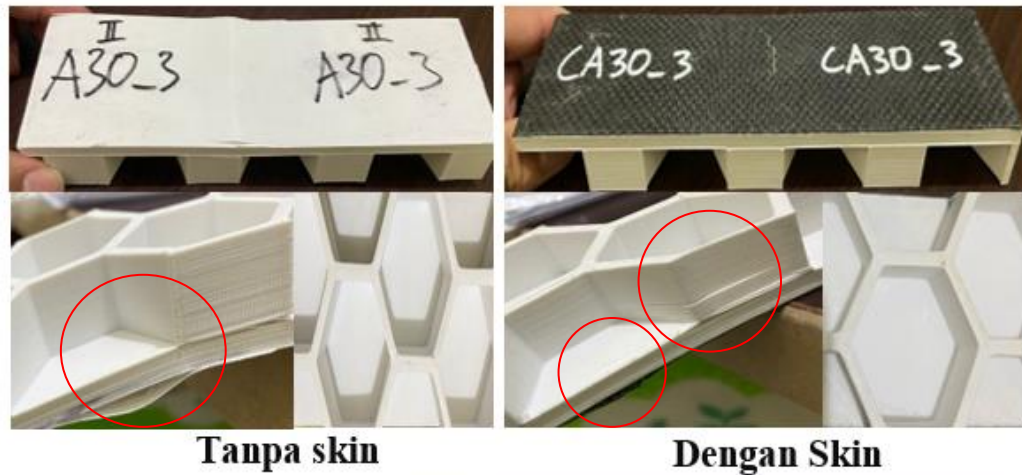
## 7. Diameter *Ribs* 30 mm dan Tebal 1 mm



Gambar 4-30 Hasil Analisis Kegagalan *Ribs* Diameter 30 dan Tebal 1 mm

Pada Gambar 4-30 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit dengan *core* ABS diameter *ribs* 30 mm dan tebal dinding *ribs* 1 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen ini hasil analisis menggunakan metode *finite element* menunjukkan letak daerah defleksi, tegangan, dan regangan maksimal ketika diberi beban maksimal. Pada spesimen uji *bending* tanpa *skin* terjadi kegagalan retak pada *core* dan *ribs honeycomb* yang sedikit terlepas dari *core* nya sedangkan pada spesimen uji *bending* dengan *skin* hanya terjadi kegagalan sedikit retak pada *core* saja.

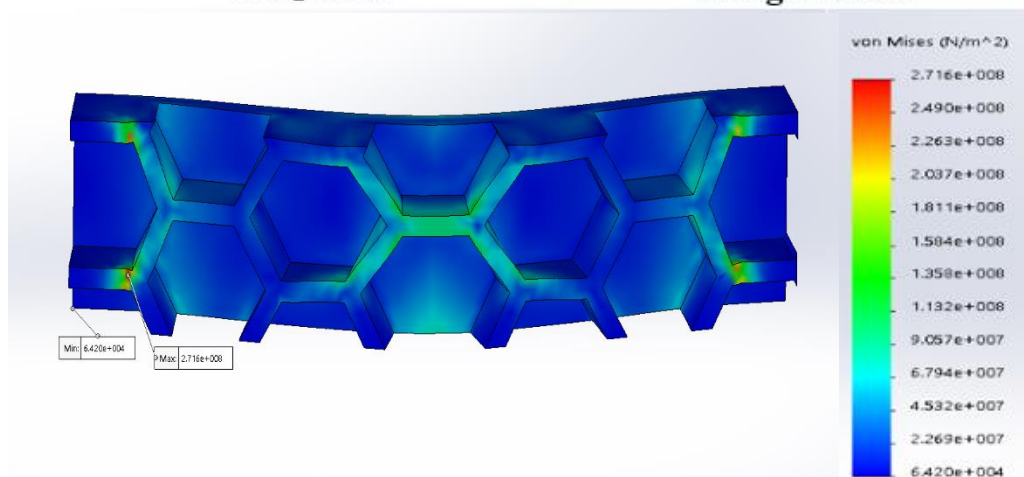
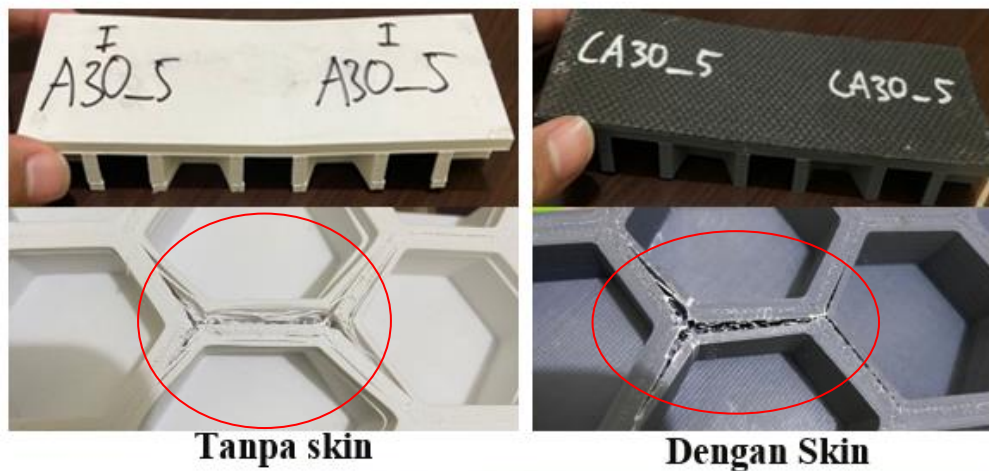
8. Diameter *Ribs* 30 mm dan Tebal 3 mm



Gambar 4-31 Hasil Analisis Kegagalan *Ribs* Diameter 30 dan Tebal 3 mm

Pada Gambar 4-31 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit dengan *core* ABS diameter *ribs* 30 mm dan tebal dinding *ribs* 3 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen ini hasil analisis menggunakan metode *finite element* menunjukkan letak daerah defleksi, tegangan, dan regangan maksimal ketika diberi beban maksimal. Pada spesimen uji *bending* tanpa *skin* terjadi kegagalan *core* yang bergelombang sedangkan pada spesimen uji *bending* dengan *skin* terjadi kegagalan retak pada *ribs honeycomb* bagian samping.

9. Diameter *Ribs* 30 mm dan Tebal 5 mm



**Finite Element via solidworks**

Gambar 4-32 Hasil Analisis Kegagalan *Ribs* Diameter 30 dan Tebal 5 mm

Pada Gambar 4-32 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit dengan *core* ABS diameter *ribs* 30 mm dan tebal dinding *ribs* 5 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen ini hasil analisis menggunakan metode *finite element* menunjukkan letak daerah defleksi, tegangan, dan regangan maksimal ketika diberi beban maksimal. Pada spesimen uji *bending* tanpa *skin* terjadi kegagalan retak yang cukup parah pada *ribs honeycomb* dan pada spesimen uji *bending* dengan *skin* juga terjadi kegagalan retak pada *ribs honeycomb* namun tidak separah yang terjadi pada spesimen uji *bending* tanpa *skin*.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan uraian bab sebelumnya dalam penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Nilai kekakuan bending tertinggi berada pada spesimen A10-5 yaitu 11.476.782,99 Nmm<sup>2</sup> untuk spesimen dengan *skin carbon* 1 lapis pada satu sisi, sedangkan untuk spesimen tanpa *skin carbon* 1 lapis pada satu sisi yaitu 7.761.943,88 Nmm<sup>2</sup>.
2. Hasil penggabungan spesimen *3D Printed ABS* yang diperkuat *ribs honeycomb* + komposit dengan metode *vacuum infusion* memiliki perbedaan dimensi setelah dilakukan pelapisan komposit 1 sisi menggunakan serat carbon fiber, yaitu berat spesimen uji rata-rata bertambah berat sebesar 6,47 gram, lebar spesimen rata-rata bertambah 0,11 mm dan tebal spesimen rata-rata bertambah 0,28 mm.
3. Hasil analisis kegagalan pada spesimen setelah dilakukan pengujian bending umumnya mengalami retak pada bagian tengah *ribs honeycomb*. Kegagalan tersebut hampir terjadi pada semua spesimen yang sudah dilakukan pengujian bending, namun untuk spesimen yang sudah dikomposit menggunakan *skin carbon fiber* kegagalan yang terjadi tidak separah yang terjadi pada spesimen tanpa komposit.

## 5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

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

1. Sebaiknya saat pencampuran antara resin *epoxy* dan *hardener* harus sesuai dengan standar agar resin tidak cepat mengeras dan panas, tidak boleh juga kurang karena jika kekurangan *hardener* maka resin tidak akan mengeras secara sempurna.
2. Sebelum memulai proses *vacuum* maka sebaiknya dicoba dahulu untuk mengetahui apakah masih ada kebocoran atau tidak.
3. Perlu dilakukan pengujian bending terhadap spesimen dengan bentuk *ribs honeycomb* yang sempurna pada keseluruhan *ribs* untuk mengetahui perbandingan hasil tegangan bending *ribs honeycomb* yang sempurna dan tidak sempurna pada sebuah spesimen.



## DAFTAR PUSTAKA

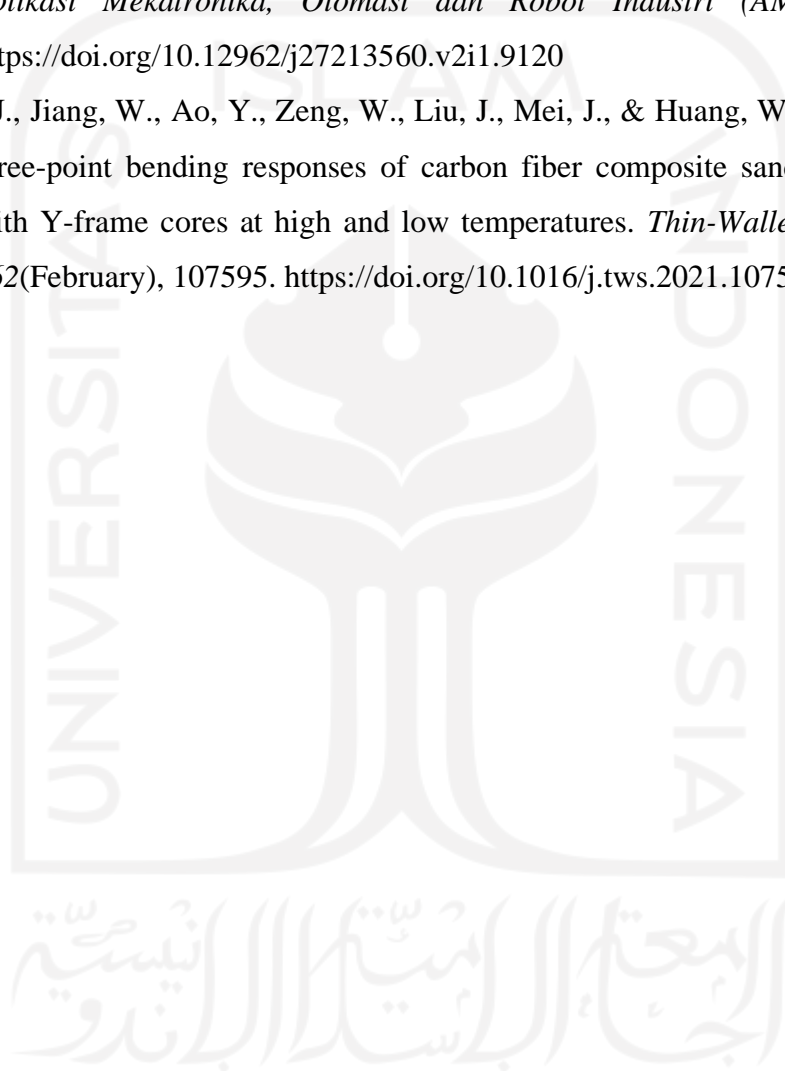
- Adriansyah, Yudha Izma. (2021) “Analisis uji bending komposit *sandwich* yang digabungkan 3D *printing*”
- Akin, J. E. (2009). Finite element analysis concepts via solidworks. In World Scientific. <https://doi.org/10.1142/7785>
- Alhazmi, M. W., & Backar, A. H. (2020). Influence of Infill density and Orientation on the Mechanical Response of PLA+ Specimens Produced using FDM 3D Printing.
- Baumgart, C., Halle, T., Weigelt, C., Krüger, L., & Aneziris, C. G. (2018). Effect of honeycomb cell geometry on compressive properties: Finite element analysis and experimental verification. *Science and Technology of Materials*, 30(1), 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.stmat.2018.02.001>
- Davallo, M. 2010. Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Resin. Tehran: ChemTech.
- Hadi, B.K., 2000. PN-336 Mekanika Struktur Komposit. Bandung: ITB
- Hartono, Y., Hidayat, A. and Manik, P. (2016). “Analisa Teknis Komposit Sandwich Berpenguat Daun Nanas dengan Core Serbuk Gergaji Kayu Sengon Laut Ditinjau dari Kekuatan Tekuk dan Impak,” 4(1), pp. 265-273
- Marsono, Anggraeni, N. D., Faisal, F. A., & Artikel, S. (2021). *Kaji Eksperimental Sifat Mekanik Honeycomb Sandwich Komposit Serat Karbon dengan Uji Bending*. 2, 114–125.
- May A. C. 1988. Epoxy Resin Chemical and Technology. New York: Marcel Dekker Inc
- Meiwandari, M., & Sriyanti, I. (2019). Analisis Struktur Heksagonal terhadap Bentuk Sarang Lebah. *Jurnal Inovasi dan Pembelajaran Fisika*, 6(1), 82–89. <https://doi.org/10.36706/jipf.v6i1.7818>
- Olivianides, F. (2021). *Analisis Pengaruh Jumlah Lapisan Skin Pada Komposit Sandwich Terhadap Uji Bending*.
- Priambodo, I., & Chriswadyanto, A. P. (2019). Metode Manufaktur Vacuum Assisted Resin Infusion Untuk Optimasi Sifat Mekanik Komposit Penyusun Propeller Dome. *Seminar Nasional Sains Teknologi dan Inovasi Indonesia*

(*SENASTINDO AAU*), 1(1), 69–76.

Surdia T. dan Saito S., (1999). “Pengetahuan Bahan Teknik”, Pradnya Paramita, Jakarta.

Widiyono, E., Mahdum, M. Y., Rahman, H., & Noor, D. Z. (2021). Komposit Carbon Fiber Sandwich Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Alumunium Alloy 6063 Pada Knuckle Plate Mobil Nogogeni 5 Evo. *Jurnal Nasional Aplikasi Mekanika, Otomasi dan Robot Industri (AMORI)*, 2(1). <https://doi.org/10.12962/j27213560.v2i1.9120>

Zhou, J., Jiang, W., Ao, Y., Zeng, W., Liu, J., Mei, J., & Huang, W. (2021). The three-point bending responses of carbon fiber composite sandwich beams with Y-frame cores at high and low temperatures. *Thin-Walled Structures*, 162(February), 107595. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.107595>





## LAMPIRAN



**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	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

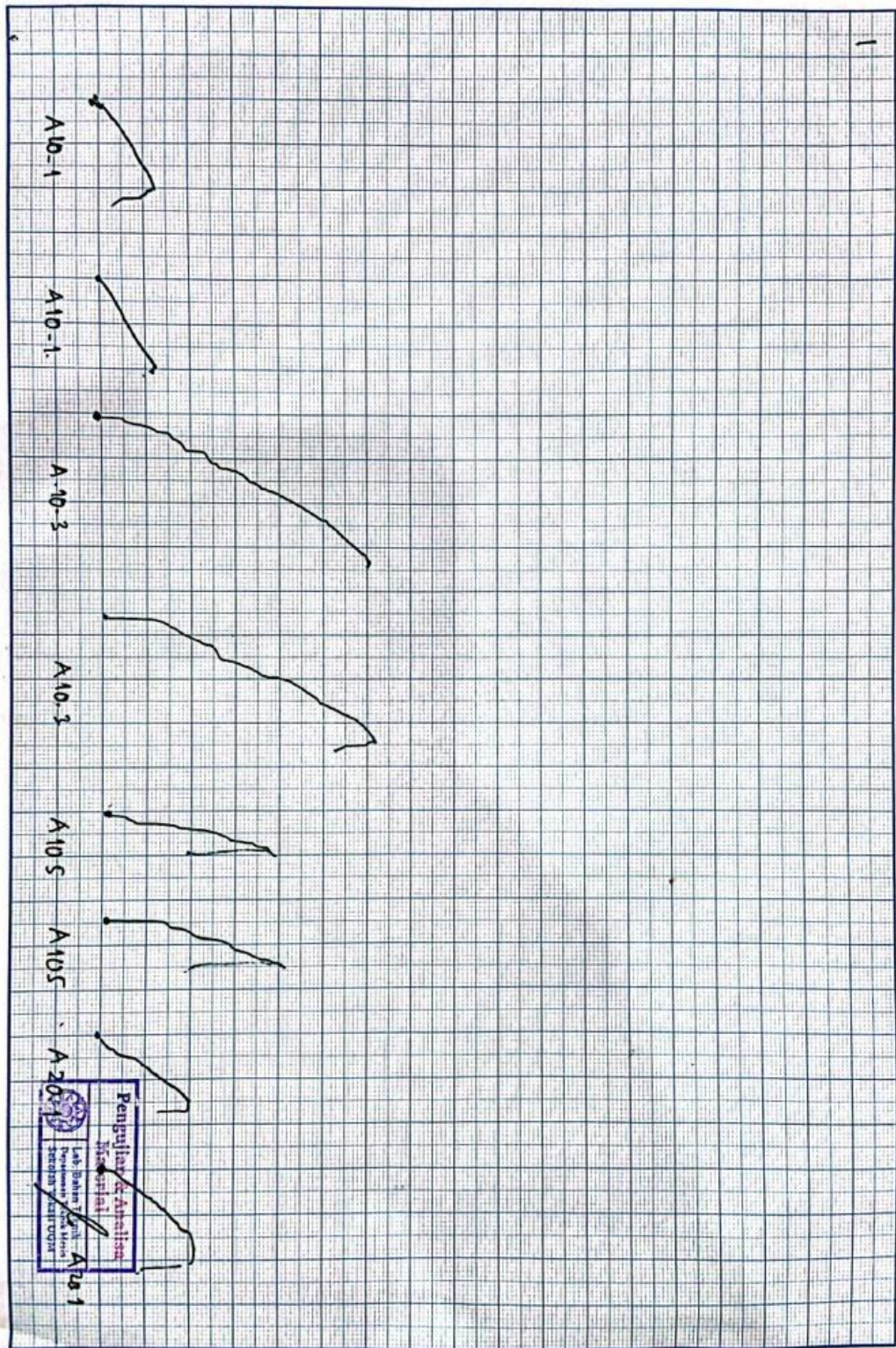
Yogyakarta, 28 Mei 2022  
Staf Laboratorium Bahan Teknik

**Pengujian & Analisa**  
**Material**

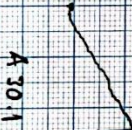
Jab. Bahan Teknik  
Departemen Teknik Mesin  
D. Filik Dwi Setiawan, S.T., M.T.  
NIP. 197703312002121002

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281











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. 197703312002121002



