

**STUDI PENGARUH VARIASI TIPE DAN *CORE DENSITY*  
STRUKTUR *CORE* MENGGUNAKAN 3D PRINT SLA  
TERHADAP KEKUATAN *BENDING* UNTUK PEMBUATAN  
KOMPOSIT *SANDWICH***

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh :**

**Nama : Muhammad Rifki Surya**

**No. Mahasiswa : 17525035**

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

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**STUDI PENGARUH VARIASI TIPE DAN *CORE DENSITY***  
**STRUKTUR *CORE* MENGGUNAKAN 3D PRINT SLA**  
**TERHADAP KEKUATAN *BENDING* UNTUK PEMBUATAN**  
**KOMPOSIT *SANDWICH***

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Muhammad Rifki Surya**

**No. Mahasiswa : 17525035**

Yogyakarta, 19 November 2022



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

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**  
**STUDI PENGARUH VARIASI TIPE DAN *CORE DENSITY***  
**STRUKTUR *CORE* MENGGUNAKAN 3D PRINT SLA**  
**TERHADAP KEKUATAN *BENDING* UNTUK PEMBUATAN**  
**KOMPOSIT *SANDWICH***

**TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Rifki Surya

No. Mahasiswa : 17525035

Tim Penguji

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

Tanggal : 5 Des 2022

Muhammad Ridlwan S.T., M.T.  
Anggota I

Tanggal : 07/12/2022

Agung Nugroho Adi S.T., M.T.  
Anggota II

Tanggal : 5/12/2022



Mengetahui  
Dekan Fakultas Teknik Mesin  
Dr. I. ... .., S.T., M.T., IPP

iii

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Rifki Surya

NIM : 17525035

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Judul Skripsi : *STUDI PENGARUH VARIASI TIPE DAN CORE DENSITY STRUKTUR CORE MENGGUNAKAN 3D PRINT SLA TERHADAP KEKUATAN BENDING UNTUK PEMBUATAN KOMPOSIT SANDWICH.*

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari skripsi ini merupakan hasil plagiasi atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan serta tata tertib yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak dipaksakan.

Yogyakarta, 9 Desember 2022



Muhammad Rifki Surya

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada:

Orang tua saya Akhmad Gazalie dan Nurjannah yang telah telah memberikan nasehat dan doa yang tulus kepada saya sampai penulisan tugas akhir ini selesai.

Kakak saya Muhammad Adhi Rizal yang selalu memberikan semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini

## **HALAMAN MOTTO**

“Jangan bilang ke saya tidak mungkin, sebelum kamu mati dalam mencobanya”

(Sultan Muhammad Al – Fatih)

“ Tiap orang bisa punya mimpi, tapi tak semua bisa membangkitkan semangat tinggi”

(Najwa Shihab)

“Menangispun tak apa, setelah itu bangkitlah”

(Akagami No Shanks)

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT. Yang mana berkat rahmat dan ridho serta karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Studi Pengaruh Variasi Tipe dan *Core Density* Struktur *Core* Menggunakan 3D *Print SLA Terhadap Kekuatan Bending Untuk Pembuatan Komposit Sandwich*”

Selama pembuatan dan penulisan laporan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan, dukungan, kritik dan saran dari berbagai pihak dalam menyelesaikan skripsi ini. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada

1. Allah SWT tuhan semesta alam yang telah memberikan nikmat kepada kita semua
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M,T selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafid, S.T., M.T selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
4. Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP. selaku dosen pembimbing di program studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
5. Kedua Orang Tua saya, mama dan abah terimakasih banyak atas doa, dukungan dan kesabarannya selama menjalani Tugas Akhir ini
6. Kakak saya yang telah banyak memberikan masukan terkait akademis maupun diluar akedemis
7. Kawan seperjuangan Tugas Akhir saya Hendra “Hendro”. Ari “Mang Ari” Dimas “Mang dim” Rafki “Mang Mulet” dan Johan “Mang Jo” yang telah bekerja sama, memberikan dukungan sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Kawan main bareng saya Arya Diaseno “Senn’O Chill”. Satria Luthfi “Tyoo’O Chill” dan Muhammad Dai Alfian “Vitaa’A Chill.”yang telah membantu saya menghilangkan rasa strees dan lelah dalam menyelesaikan tugas akhir ini

*Wassalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh*

Yogyakarta, 19 November 2022

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'R' followed by a horizontal line that extends to the right.

Muhammad Rifki Surya

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi struktur dan *Core density* menggunakan *3D print SLA* untuk pembuatan komposit *sandwich*. Spesimen uji dicetak merujuk pada standar ASTM C393. Spesimen variasi struktur *core* terdiri dari *warren*, *pratt* dan *lattice* dengan variasi *core density* 15% 30% dan 60%. Pengujian *bending* dilakukan menggunakan metode *three point bending*. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data bahwa variasi struktur *lattice* memiliki nilai tertinggi dari tegangan *bending* 4,28 Mpa, nilai kekakuannya 221.109 Nmm<sup>2</sup> dan kekakuan spesifik 15.128 Nmm<sup>2</sup>/gr. Untuk variasi *core density* 60% memiliki nilai tegangan *bending* tertinggi yaitu 6,04 Mpa, nilai kekakuannya 465.714 Nmm<sup>2</sup> dan kekakuan spesifik 24.719 Nmm<sup>2</sup>/gr. Berdasarkan hasil penambahan *skin carbon fiber* pada spesimen terdapat peningkatan nilai tegangan *bending* dari 6,04 Mpa menjadi 11,03 Mpa. nilai kekakuan meningkat dari 465.714 Nmm<sup>2</sup> menjadi 656.647 Nmm<sup>2</sup>. Dan kekakuan spesifik mengalami penambahan dari 24.718 Nmm<sup>2</sup>/gr menjadi 27.425 Nmm<sup>2</sup>/gr.

Kata Kunci : *Core Komposit Sandwich, 3D print SLA, Kekuatan bending*

## ABSTRACT

This study aims to determine the effect of variations in structure and core density using 3D print SLA for the manufacture of sandwich composites. The printed test specimens refer to the ASTM C393 standard. Specimens of variations in core structure consist of warren, pratt and lattice with variations in core density of 15%, 30% and 60%. The bending test was carried out using the three point bending method. Based on the results of the tests that have been carried out, data is obtained that the variation of the lattice structure has the highest bending stress value of 4.28 MPa, stiffness value of 221,109 Nmm<sup>2</sup> and rigidity of 15,128 Nmm<sup>2</sup>/gr. The 60% core density variation has the highest bending stress value of 6.04 Mpa, a stiffness value of 465,714 Nmm<sup>2</sup> and a rigidity of 24,719 Nmm<sup>2</sup>/gr. Based on the results of adding skin carbon fiber to the specimen, there was an increase in the bending stress value from 6.04 MPa to 11.03 MPa. stiffness value increased from 465,714 Nmm<sup>2</sup> to 656,647 Nmm<sup>2</sup>. And the rigidity has increased from 24,718 Nmm<sup>2</sup>/gr to 27,425 Nmm<sup>2</sup>/gr.

Keywords : Sandwich Composite Core, 3D print SLA, Bending strength

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing .....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji .....	iii
Halaman Persembahan .....	v
Halaman Motto .....	vi
Kata Pengantar.....	vii
Abstrak .....	ix
Abstract.....	x
Daftar Isi .....	xi
Daftar Tabel.....	xiv
Daftar Gambar .....	xv
Daftar Notasi.....	xviii
Bab 1 Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
Bab 2 Tinjauan Pustaka .....	6
2.1 Kajian Pustaka .....	6
2.2 Dasar Teori .....	7
2.2.1 3D <i>Print SLA</i> .....	7
2.2.2 Komposit .....	8
2.2.3 Komposit <i>Sandwich</i> .....	9
2.2.4 <i>Truss</i> .....	10
2.2.5 <i>Vacuum Infusion</i> .....	11
2.2.6 Pengujian <i>Bending</i> .....	11
2.2.7 Modus Kegagalan <i>Bending Komposit Sandwich</i> .....	13
Bab 3 Metode Penelitian .....	15

3.1	Alur Penelitian .....	15
3.2	Peralatan dan Bahan.....	17
3.3	Dimensi Spesimen <i>Bending</i> .....	22
3.3.1	Dimensi Spesimen Variasi Struktur <i>Core</i> .....	23
3.3.2	Dimensi Spesimen Variasi <i>Core Density</i> .....	24
3.4	Susunan Komposit <i>Sandwich</i> .....	25
3.5	Proses Pembuatan Spesimen.....	26
3.5.1	Proses <i>Washing</i> Spesimen .....	27
3.5.2	Proses <i>Curing</i> Spesimen.....	28
3.6	Hasil Proses Pembuatan Spesimen .....	29
3.7	Proses Komposit <i>Sandwich</i> .....	30
3.7.1	Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	31
3.8	Proses Pengujian <i>Bending</i> .....	34
Bab 4	Hasil dan Pembahasan .....	35
4.1	Pengaruh Variasi Struktur <i>Core</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Nilai Kekakuan dan Kekakuan Spesifik.....	35
4.1.1	Pengaruh Variasi Struktur <i>Core</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> .....	35
4.1.2	Pengaruh Variasi Struktur <i>Core</i> Terhadap Nilai Kekakuan .....	37
4.1.3	Pengaruh Variasi Struktur <i>Core</i> Terhadap Nilai Kekakuan Spesifik .....	40
4.2	Pengaruh Variasi <i>Core density</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Nilai Kekakuan dan Kekakuan Spesifik.....	42
4.2.1	Pengaruh Variasi Ukuran <i>Core density</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> .....	42
4.2.2	Pengaruh Variasi <i>Core density</i> Terhadap Nilai Kekakuan.....	44
4.2.3	Pengaruh Variasi <i>Density Core</i> Terhadap Nilai Kekakuan Spesifik.. ..	47
4.3	Pengaruh Variasi <i>Skin Carbon Fiber</i> Terhadap Terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Nilai Kekakuan dan Kekakuan Spesifik .....	49
4.3.1	Pengaruh Variasi <i>Skin Carbon Fiber</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> .. ..	49
4.3.2	Pengaruh Variasi <i>Skin Carbon Fiber</i> Terhadap Nilai Kekakuan ...	52

4.3.3 Pengaruh Variasi <i>Skin Carbon Fiber</i> Terhadap Nilai Kekakuan Spesifik .....	54
Bab 5 Penutup.....	57
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	58
Daftar Pustaka .....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 3- 1 Parameter 3D <i>Print SLA</i> .....	27
Tabel 4-1 Data Variabel Tegangan <i>Bending</i> Variasi Struktur <i>Core</i> .....	35
Tabel 4-2 Data Variabel Nilai Kekakuan Variasi Struktur <i>Core</i> .....	38
Tabel 4-3 Data Variabel Nilai Kekakuan Spesifik Variasi Struktur <i>Core</i> .....	40
Tabel 4-4 Data Variabel Nilai Kekakuan Variasi <i>Core Density</i> .....	42
Tabel 4-5 Data Variabel Nilai Kekakuan Variasi <i>Core Density</i> .....	44
Tabel 4- 6 Data Variabel Nilai Kekakuan Spesifik .....	47
Tabel 4- 7 Data Variable Tegangan <i>Bending</i> .....	50
Tabel 4- 8 Data Variabel Nilai Kekakuan .....	52
Tabel 4-9 Data Variable Kekakuan Spesifik .....	55

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Jenis Komposit .....	1
Gambar 1-2 Bentuk <i>Core 3D Filament</i> .....	2
Gambar 1-3 Pembuatan <i>core</i> dengan <i>3D print SLA</i> .....	2
Gambar 1-4 Tipe <i>Truss</i> .....	3
Gambar 2-1 Mesin <i>3D Print SLA</i> .....	7
Gambar 2-2 <i>Resin Bio-Photopolymer</i> .....	8
Gambar 2-3 Komposit .....	8
Gambar 2-4 Komposit <i>Sandwich</i> .....	9
Gambar 2-5 <i>Core Honeycomb 3D Print Filament</i> .....	9
Gambar 2-6 Orientasi <i>Carbon Fiber</i> .....	10
Gambar 2-7 Tipe <i>Truss Warren, Pratt dan Lattice</i> .....	10
Gambar 2-8 <i>Vacuum Infusion</i> .....	11
Gambar 2- 9 Mesin Pengujian <i>Bending</i> .....	12
Gambar 2-10 <i>Three Point Bending</i> .....	12
Gambar 2- 11 Modus Kegagalan <i>Bending</i> .....	14
Gambar 3-1 Diagram Alur Penelitian .....	16
Gambar 3-2 <i>Software CAD Solidwork 2018</i> .....	17
Gambar 3-3 <i>Photon Workshop 2018</i> .....	17
Gambar 3-4 Pompa <i>Vacuum</i> .....	17
Gambar 3-5 Resin Trap .....	18
Gambar 3-6 Timbangan .....	18
Gambar 3-7 Katup Bensin .....	19
Gambar 3-8 Plastik <i>Vacuum</i> .....	19
Gambar 3-9 Kain Strimin .....	19
Gambar 3-10 <i>Peel Ply</i> .....	20
Gambar 3-11 Selang Resin .....	20
Gambar 3-12 Selang Spiral .....	21
Gambar 3-13 Resin dan Katalis .....	21
Gambar 3-14 Sealant Tape .....	21
Gambar 3-15 <i>Adhesive Epoxy</i> .....	22

Gambar 3-16 Resin Bio – Photopolymer .....	22
Gambar 3-17 Dimensi Struktur <i>Core Warren</i> .....	23
Gambar 3-18 Dimensi Struktur <i>Core Pratt</i> .....	23
Gambar 3-19 Dimensi Spesimen <i>Core Lattice</i> .....	24
Gambar 3-20 Struktur <i>Core density</i> 15% .....	24
Gambar 3-21 Struktur <i>Density Core</i> 30% .....	25
Gambar 3-22 Struktur <i>Density Core</i> 60% .....	25
Gambar 3-23 Susunan komposit <i>sandwich</i> .....	26
Gambar 3-24 Proses Pembuatan Model 3D Spesimen .....	26
Gambar 3-25 Proses Peletakan <i>support</i> dan posisi <i>print</i> pada aplikasi <i>anycubic photon workshop</i> .....	27
Gambar 3-26 Proses <i>Washing</i> Spesimen .....	28
Gambar 3-27 Proses <i>Curing</i> Spesimen.....	28
Gambar 3-28 Spesimen <i>core Warren</i> .....	29
Gambar 3-29 Spesimen <i>Core Pratt</i> .....	29
Gambar 3-30 Spesimen <i>Core Lattice</i> .....	29
Gambar 3-31 Spesimen <i>Core Density</i> 15% .....	30
Gambar 3-32 Spesimen <i>Core Density</i> 30% .....	30
Gambar 3-33 Spesimen <i>Core</i> 60% .....	30
Gambar 3-34 Menyusun <i>Sealant tape</i> .....	31
Gambar 3-35 Menyusun Kain Strimin .....	31
Gambar 3-36 Menyusun Peel Ply .....	31
Gambar 3-37 Menyusun selang T .....	32
Gambar 3-38 Menyusun Bahan Komposit .....	32
Gambar 3-39 Proses Pencampuran <i>Resin</i> dan Katalis.....	33
Gambar 3-40 Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	33
Gambar 3-41 Proses Penentuan Jarak Tumpu Pengujian <i>Bending</i> .....	34
Gambar 3-42 Peletakan Spesimen di Alat Uji <i>Bending</i> .....	34
Gambar 4-1 Grafik Perbandingan Tegangan <i>Bending</i> .....	36
Gambar 4-2 <i>Degree Of Freedom</i> Variasi Struktur <i>Core</i> .....	36
Gambar 4-3 Modus Kegagalan <i>Core Crush</i> pada <i>Warren Core</i> .....	37
Gambar 4-4 Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan <i>Bending</i> .....	39

Gambar 4-5 X <i>Bracing Structure</i> .....	40
Gambar 4-6 Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik.....	41
Gambar 4-7 Grafik Perbandingan Tegangan <i>Bending</i> .....	43
Gambar 4 -8 Modus Kegagalan <i>Core Crush</i> pada .....	44
Gambar 4-9 Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan .....	46
Gambar 4-10 Analisis <i>Volume</i> Spesimen Variasi <i>Core Density</i> .....	46
Gambar 4-11 Grafik Perbandingan <i>Volume</i> Spesimen.....	47
Gambar 4-12 Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan Spesifik .....	49
Gambar 4-13 Grafik Perbandingan Tegangan <i>Bending</i> .....	51
Gambar 4-14 Modus Kegagalan <i>Core Crush</i> pada .....	51
Gambar 4 - 15 Modus Kegagalan <i>Core Crush</i> dan <i>Debonding</i> pada.....	52
Gambar 4-16 Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan .....	54
Gambar 4-17 Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan .....	56

## DAFTAR NOTASI

$\sigma_b$	= Tegangan <i>Bending</i> (Mpa)
$E_b$	= Modulus Elastisitas <i>Bending</i> (Mpa)
P	= Beban yang diberikan (N)
L	= Jarak antara titik tumpuan (mm)
b	= Lebar spesimen (mm)
h	= Tebal spesimen (mm)
D	= Kekakuan <i>bending</i> (Nmm <sup>2</sup> )
$\delta$	= Defleksi (mm)
I	= Momen inersia (mm <sup>4</sup> )

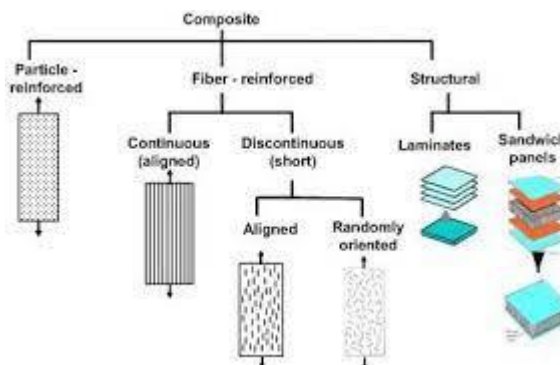
# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

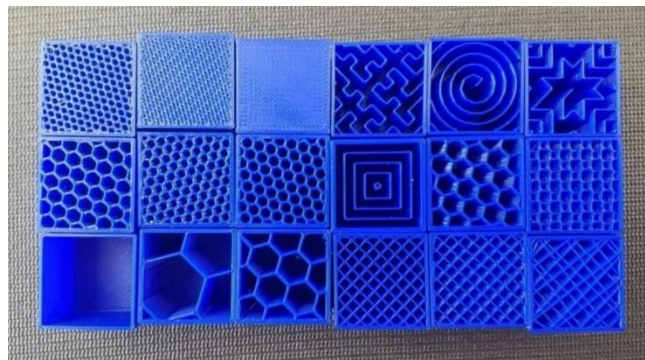
Kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan yang sangat pesat pada saat ini memunculkan sebuah inovasi di berbagai bidang, tanpa terkecuali dalam hal bidang material. Di dalam bidang material maka diperlukannya aspek yang berkaitan dengan struktur, sifat dan karakteristik suatu material. Berdasarkan aspek tersebut maka diperlukannya suatu material dengan struktur yang memiliki sifat kuat tetapi ringan dan memiliki karakteristik mampu menahan kekuatan bending. Untuk memenuhi aspek tersebut maka material komposit menjadi salah satu alternatif solusinya.

Komposit merupakan pencampuran material yang tersusun dari dua atau lebih material dengan sifat mekanik yang berbeda. Dalam hal ini maka material komposit memiliki kelebihan yaitu seperti kekuatan yang lebih tinggi dengan massa lebih ringan. Berdasarkan tipe struktur komposit seperti pada Gambar 1-1 dibagi menjadi dua yaitu struktur laminar dan struktur *sandwich*. Kelebihan dari komposit *sandwich* dibandingkan dengan laminar adalah terdapatnya *core* sebagai pengisi dan *skin* sebagai penguat (Prayoga, 2018).



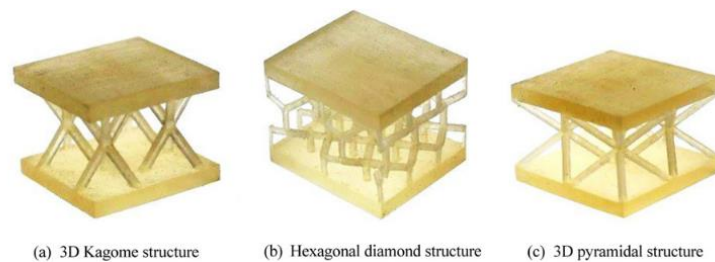
Gambar 1-1 Jenis Komposit

Dengan *core* yang digunakan sebagai pengisi maka diperlukannya struktur *core* yang kuat dan ringan jika diberi beban bending pada material komposit *sandwich*. Berdasarkan penelitian Izma Adriansyah (2021) variasi bentuk dan ukuran *core* dapat mempengaruhi nilai kekuatan bending dan massa material. Terdapat sebuah penelitian terkait pembuatan variasi dan ukuran *core* dengan bentuk *Honeycomb*, *Triangle* dan *Square* menggunakan *3D print Filament*, Dalam penelitian tersebut bentuk dan ukuran *core* yang diteliti tidak bisa terlalu kompleks dan lebih kecil dikarenakan proses pembuatan *core* menggunakan *3D print Filament* Seperti pada Gambar 1-2. Berdasarkan hal tersebut maka diperlukannya proses pembuatan *core* dengan variasi dan ukuran struktur *core* yang kompleks dan lebih kecil dibandingkan dengan *3D print Filament*.



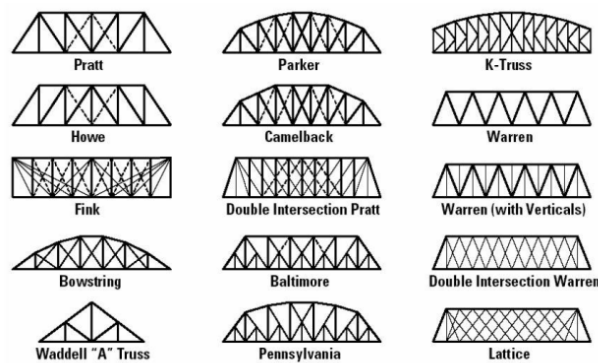
Gambar 1-2 Bentuk *Core* 3D *Filament*

Moon et al. (2014) meneliti terkait proses pembuatan variasi struktur *core* untuk pembuatan *fixed wing* menggunakan *3D print SLA*. Alasan penelitian tersebut menggunakan proses *3D print SLA* sebagai pembuatan *core* adalah variasi struktur yang diteliti lebih kompleks dan kecil jika dibandingkan menggunakan *3D print Filament* seperti pada Gambar 1.3. Berdasarkan hal tersebut maka *3D print SLA* mampu membuat struktur dan ukuran *core* yang lebih kompleks dan kecil.



Gambar 1-3 Pembuatan *core* dengan *3D print SLA*

Dengan 3D *print SLA* yang mampu membuat struktur dan ukuran *core* yang kompleks dan kecil, maka diperlukannya penelitian lebih dalam terkait hal tersebut. Terdapat berbagai macam struktur *core* yang memiliki bentuk yang kompleks salah satunya yaitu *core* dengan tipe *truss*. Tipe *truss* merupakan struktur yang terdiri dari kumpulan cabang atau batang yang membentuk sebuah struktur solid yang terhubung satu dengan lainnya. Terdapat beberapa jenis *truss* pada umumnya seperti pada Gambar 1.4. Dengan 3D *print SLA* yang mampu membuat *core* dengan kompleks dan kecil, maka tipe *core* berbentuk *truss* dapat diaplikasikan sebagai parameter penelitian.



Gambar 1-4 Tipe *Truss*

Pada pembuatan *core* menggunakan 3D *print SLA*, terdapat kekurangan yaitu lemah terdapat kekuatan bending. Hal ini disebabkan 3D *print SLA* menggunakan bahan resin *Photopolymer* dalam pembuatan produknya, sehingga bahan yang digunakan mengandung unsur kimiawi. Berdasarkan hal tersebut maka nilai kekuatan bending yang dihasilkan dari 3D *print SLA* cenderung fluktuatif. Untuk mencegah hal tersebut maka *core* yang dibuat menggunakan 3D *Print SLA* akan diberikan *skin* sebagai penguat untuk proses komposit *sandwich*. *Skin carbon fiber* merupakan elemen penguat yang cocok karena memiliki sifat yang kuat tetapi ringan sebagai material penguat (Widiyono et al. 2021)

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penelitian ini akan meneliti terkait variasi struktur dan ukuran *core* yang lebih kompleks dengan menggunakan 3D *Print SLA* sebagai pembuatan material komposit *sandwich*. Struktur *core* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan tipe *truss* yang umum digunakan seperti *Warren*, *Pratt* dan *Lattice truss* dengan *skin carbon Fiber*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka perlu dirumuskan masalah-masalah pada penelitian yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi struktur dan *density core* untuk komposit *sandwich* terhadap Tegangan *Bending*, Nilai Kekakuan dan Kekakuan Spesifik?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *skin carbon fiber* terhadap Tegangan *Bending*, Nilai Kekakuan dan Kekakuan Spesifik?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian pengaruh orientasi variasi bentuk struktur dan ukuran pada *core* terhadap uji *bending* spesimen komposit *sandwich* ini yaitu:

1. Proses pembuatan *core* menggunakan mesin *3D Print SLA* dengan *Resin Bio-Photopolymer* merk eSUN.
2. Spesimen yang digunakan adalah standar ASTM C393
3. Variasi struktur *core* dilakukan dengan tiga variasi struktur *core* yaitu *Warren, Pratt dan Lattice*.
4. Variasi *Core density* yang digunakan yaitu 15%, 30 % dan 60%
5. Proses komposit *sandwich* dilakukan di Laboratorium Manufaktur Teknik mesin Universitas Islam Indonesia menggunakan metode *vacuum infusion*, *skin carbon fiber* orientasi *unidirectional* dan perekat *Epoxy Adhesive*

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh jenis variasi struktur dan *Core density* untuk komposit *sandwich* terhadap tegangan *bending*, nilai kekakuan dan kekakuan spesifik.
2. Mengetahui pengaruh pemberian *skin carbon fiber* terhadap tegangan *bending*, nilai kekakuan dan kekakuan spesifik.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian yang dilakukan ini yaitu:

1. Mengetahui bagaimana proses pembuatan *core* menggunakan *3D Print SLA*.
2. Mengetahui jenis variasi struktur dan ukuran *core* terbaik untuk proses komposit *sandwich* pada ASTM C393
3. Mengetahui proses komposit *sandwich* dengan metode *vacuum infusion*

## **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 penelitian.

### **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 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Terdapat 2 elemen penting dalam proses komposit *sandwich* yaitu *core* dan *skin*. Dengan bentuk dan ukuran *core* yang divariasikan, maka nilai dari setiap kekuatan *bending* akan berbeda juga. Terdapat penelitian lainnya tentang perbandingan bentuk dan ukuran *core* dengan tipe *Honeycomb*, *triangle* dan *line* dengan proses 3D *print Filament*. Dengan proses tersebut maka pembuatan bentuk dan ukuran *core* tersebut tidak mampu lebih kompleks dan kecil. Oleh karena itu pada penelitian kali ini proses pembuatan *core* akan menggunakan 3D *print SLA*. Hal ini didukung pada penelitian Moon et al., (2014) yang mampu membuat struktur *core* kompleks dengan variasi bentuk *kagone*, *hexagonal* dan *pyramid* untuk pembuatan *core fixed wing*.

Dengan menggunakan proses 3D *print SLA* sebagai pembuatan *core* yang mampu membuat struktur *core* yang lebih kompleks, maka diperlukannya referensi terkait variasi bentuk dalam pembuatan *core*. Dalam hal ini tipe *truss* merupakan variasi yang kompleks namun terstruktur. Hal ini disebabkan karena tipe *truss* memiliki susunan rangka yang terstruktur dan kompleks. Terdapat beberapa tipe *truss* yang umum digunakan sebagai struktur rangka jembatan seperti tipe *warren*, *pratt* dan *lattice* yang pernah diteliti oleh Steeves et al., (2004). Berdasarkan hal tersebut maka tipe *truss Warren*, *Pratt* dan *Lattice* akan diaplikasikan sebagai bentuk struktur *core*.

Selain variasi bentuk struktur *core*, ukuran *core* dapat mempengaruhi nilai dan massa material. Hal ini didukung pada penelitian Izma Adriansyah (2021) dengan divariasikannya parameter terkait *infill density* pada *core* 3D *print Filament* dengan *infill* 10 % dan 20 % dengan *fiberglass* sebagai *skin*. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa dengan *infill* 20% memiliki nilai tegangan *bending* tertinggi. Hal tersebut dapat membuktikan bahwa semakin sedikit ruang yang terisi pada *core* maka semakin besar nilai tegangan *bending*-nya. Hal tersebut menjadi parameter pada penelitian ini terkait variasi *density core* terhadap kekuatan

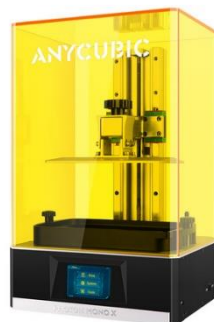
*bending*. Pada penelitian ini akan divariasikannya *core density* dengan 15 %,30% dan 60%

Dengan proses pembuatan *core* pada 3D print *SLA* terdapat beberapa kelemahan, hal ini menyebabkan pada pengujian *bending* terjadinya fluktuasi dikarenakan bahan 3D *print SLA* mengandung unsur kimiawi dan tidak terlalu kuat. Berdasarkan hal tersebut maka diperlukannya *skin* sebagai penguat pada *core*. CASTANIE (2020) meneliti terkait pengaruh *skin carbon fiber* terhadap *core* dari 3D *print Filament*. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa nilai kekuatan *bending* meningkat 2 kali lipat. Berdasarkan hal tersebut maka pada penelitian ini akan menggunakan *skin carbon fiber* sebagai penguat pada komposit *sandwich*

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 3D Print SLA

Teknologi 3D *Printing* adalah proses pembuatan benda padat menggunakan 3D Printer dengan perintah berupa file program. Proses pencetakan objek tiga dimensi ini dikenal sebagai additive. Terdapat pembagian teknologi additive manufacturing yang tersedia di pasaran seperti Fused Deposition Modeling (FDM), Direct Metal Deposition (DMD) Selective Laser Sintering (SLS), Inkjet Modeling (IJM), Digital Light Processing (DLP), dan Stereolithography (SLA). Bahan baku pembuatan objek 3D dengan teknologi SLA disebut dengan photopolymer liquid resin yang terbuat dari campuran bahan kimia(Sukiman et al. 2021).



Gambar 2-1 Mesin 3D *Print SLA*

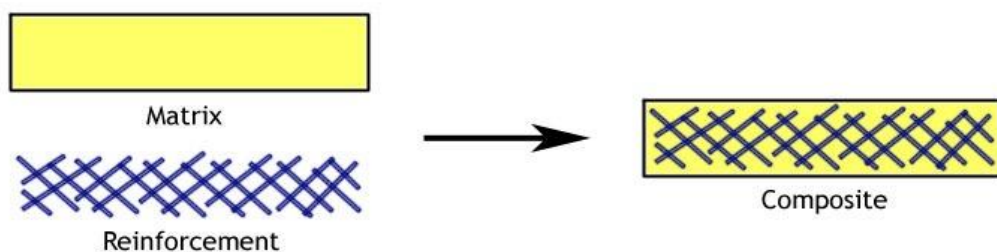
Dalam Gambar 2-1 merupakan gambar mesin 3D printing resin SLA yang digunakan sebagai pembuatan spesimen yang akan dilakukan uji *bending* dengan standar ASTM C 393 dengan menggunakan resin *Bio-Photopolymer* seperti pada Gambar 2-2..



Gambar 2-2 Resin Bio-Photopolymer

### 2.2.2 Komposit

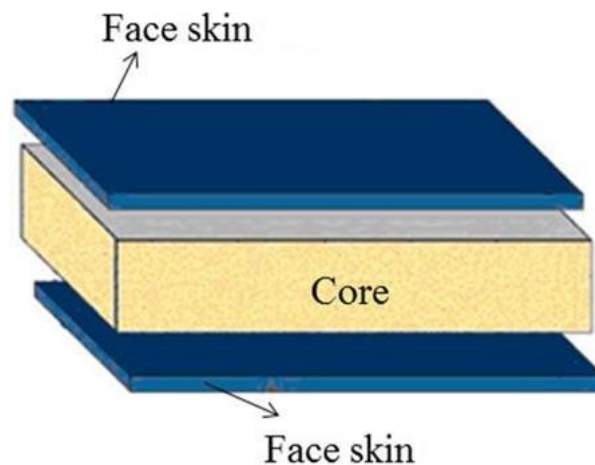
Komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka komposit antar material harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan wetting agent. (Nayiroh, N. 2013). Terdapat 2 penyusun penting pada komposit yaitu *reinforcement* dan *matrix* seperti pada Gambar 2-3



Gambar 2-3 Komposit

### 2.2.3 Komposit *Sandwich*

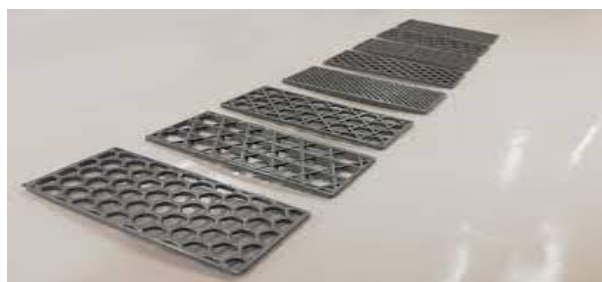
Komposit *Sandwich* merupakan salah satu bentuk dari material komposit. Keuntungan dari material komposit yang utama adalah kekakuan dan kekuatan dapat dikombinasikan dengan keringanan serta kita dapat menyatukan berbagai macam tegah mekanis dari material berbeda menjadi struktur yang diinginkan (HARTOMO, S. 2009). Komposit *Sandwich* memiliki 3 lapisan material atau lebih yang terdiri dari *flat composite* dan *core* dibagian tengahnya. (Steeves et al. 2004). Dalam penelitian ini terdapat lapisan pendukung untuk merekatkan *face skin* dan *core* agar tidak terjadi modulus kegagalan dalam pengujian *bending* yaitu *Adhesive* dan matriks(*resin*).



Gambar 2-4 Komposit *Sandwich*

#### 2.2.3.1 *Core*

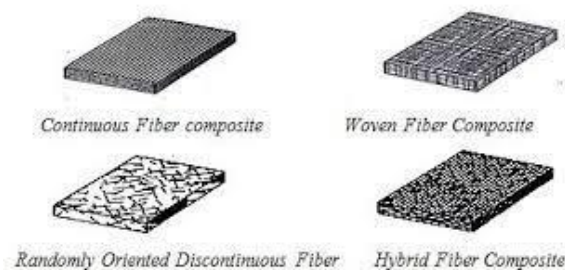
*Core* merupakan elemen penting pada komposit *sandwich* sebagai pengisi untuk memperkuat nilai kekuatan *bending*. Berdasarkan hal tersebut bentuk *core* menjadi parameter penting. Terdapat beberapa bentuk *core* yang sering diterapkan seperti *honeycomb* menggunakan 3D print filamen.



Gambar 2-5 *Core Honeycomb 3D Print Filament*

### 2.2.3.2 Skin Carbon Fiber

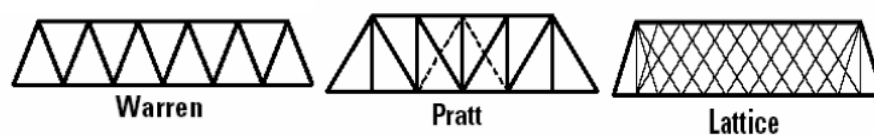
*Skin carbon fiber* merupakan material yang terdiri dari serat berdiameter 5-10  $\mu\text{m}$  dengan sebagian besar susunannya adalah atom karbon, dimana struktur karbon berbentuk karbon dibentuk menjadi kristal. *Carbon fiber* dibuat dengan mengkarbonasi material *PAN*(*polyacrylonitrile*) dan Rayon yang biasa digunakan saat ini, material tersebut merupakan polimer tekstil. Setelah melewati proses tersebut, dilanjutkan dengan proses grafitisasi pada temperatur tinggi dan kemudian dilakukan proses penggulangan serat-serat karbon atau tenun untuk menjadi sebuah anyaman (Banowati, Firdaus, and Hartopo 2022) .Terdapat beberapa jenis anyaman *carbon fiber* yaitu orientasi acak, lurus dan *woven*.



Gambar 2-6 Orientasi *Carbon Fiber*

### 2.2.4 Truss

*Truss* adalah rangka batang yang terdiri dari kumpulan cabang batang yang membentuk sebuah struktur solid dan terhubung satu sama lain sehingga mampu menahan beban pada sendi – sendinya (Santoso and Sumaidi 2021). Terdapat jenis *Truss* yang sering digunakan terutama sebagai struktur rangka jembatan . Dengan 3D print SLA yang mampu membuat struktur *core* kompleks dan kecil, maka *truss* dapat diaplikasikan sebagai bentuk *truss* pada komposit *sandwich*. Tipe truss yang sering digunakan adalah *Warren*, *Pratt* dan *Lattice* seperti pada Gambar 2 (Santoso and Sumaidi 2021)

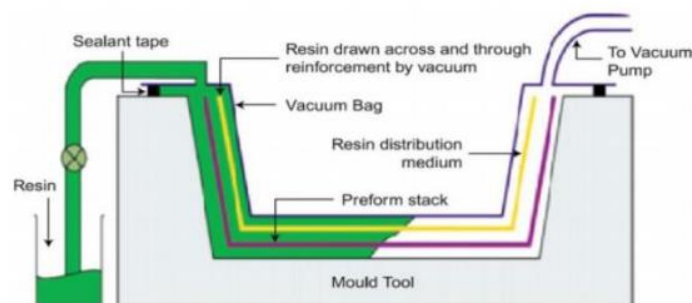


Gambar 2-7 Tipe *Truss Warren, Pratt dan Lattice*

### 2.2.5 Vacuum Infusion

Vacuum infusion adalah proses pembuatan komposit dengan memanfaatkan kevakuman udara disebut juga proses cetakan tertutup karena cetakan ini nanti ditutup oleh plastik bag yang diberi perekat (Sealing-tape) agar udara dalam cetakan tervakum, yang nantinya aliran resin akan masuk dan mengisi cetakan (Hidayat 2020). Dalam hal tersebut proses ini dapat meminimalisir masuknya udara yang terperangkap pada *vacuum bag* dan resin yang berlebih di dalam cetakan

Di dalam prosesnya pompa *vacuum* berfungsi untuk menghisap udara yang berada di dalam cetakan yang sudah di komposit untuk dilakukan proses pencetakan. Setelah melalui proses *vacuum* udara yang berada di luar cetakan atau diluar penutup plastic akan menekan kearah dalam. Dalam proses tersebut udara yang berada di dalam cetakan akan berkurang. Dibandingkan dengan metode lainnya seperti *hand lay-up* dan *vacuum bagging* metode ini lebih berfokus pada perekatan antara *skin* dan *core*.



Gambar 2-8 Vacuum Infusion

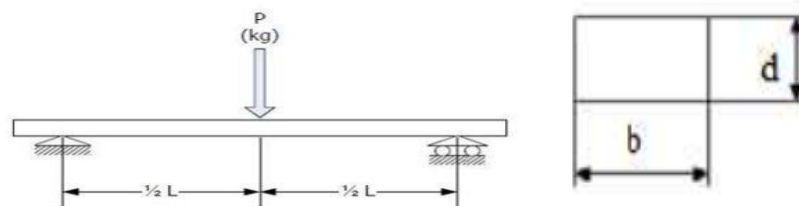
### 2.2.6 Pengujian Bending

Uji *bending* merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Proses pembebanan menggunakan mandrel atau pendorong yang dimensinya telah ditentukan untuk memaksa bagian tengah bahan uji atau spesimen tertekuk diantara dua penyangga yang dipisahkan oleh jarak yang telah ditentukan. (Firmansyah, 2020). Gambar 2- 9 menunjukkan mesin *bending* yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 2- 9 Mesin Pengujian *Bending*

Dalam penelitian ini uji *bending* dilakukan dengan proses *three point bending test*. Di dalam proses tersebut pengujian dilakukan menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan seperti pada gambar 2-10. *three point bending* memiliki beberapa keunggulan seperti kemudahan persiapan spesimen, pengujian dan pembuatan titik *point* lebih mudah (Mujika 2006).



Gambar 2-10 *Three Point Bending*

Berdasarkan gambar diatas maka perhitungan yang digunakan yaitu:

1. Besar Tegangan maksimal

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

2. Momen Inersia

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

3. Modulus Elastisitas

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bh^3} \times \frac{P}{\delta}$$

4. Nilai Kekakuan

$$D = Eb \times I$$

5. Kekakuan Spesifik

$$D_{Spesifik} = \frac{D}{w}$$

Keterangan :

$\sigma b$  = Tegangan *Bending* (Mpa)

$Eb$  = Modulus Elastisitas *Bending* (Mpa)

$P$  = Beban yang di berikan (N)

$L$  = Jarak antara titik tumpuan (mm)

$b$  = Lebar spesimen (mm)

$h$  = Tebal spesimen (mm)

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

$\delta$  = Defleksi (mm)

$I$  = Momen inersia (mm<sup>4</sup>)

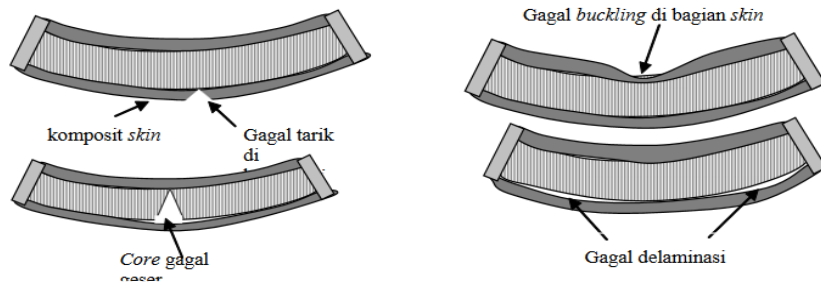
$D$  = Nilai Kekakuan (Gpa)

$D_{Spesifik}$  = Kekakuan Spesifik (Nmm<sup>2</sup>/gr)

$W$  = berat spesimen (gram)

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

Dalam aplikasinya pada bidang rekayasa, komposit sandwich mengalami berbagai macam beban mekanik, seperti misalnya beban tekan, tarik, lentur, geser dan puntir. Terkadang, dalam aplikasinya tidak jarang juga beban yang dialami oleh material ini melebihi beban pada awal perancangan sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan pada material ini. Menurut (Hariyanto 2017) berikut kegagalan yang terjadi pada komposit sandwich pada Gambar 2-11.

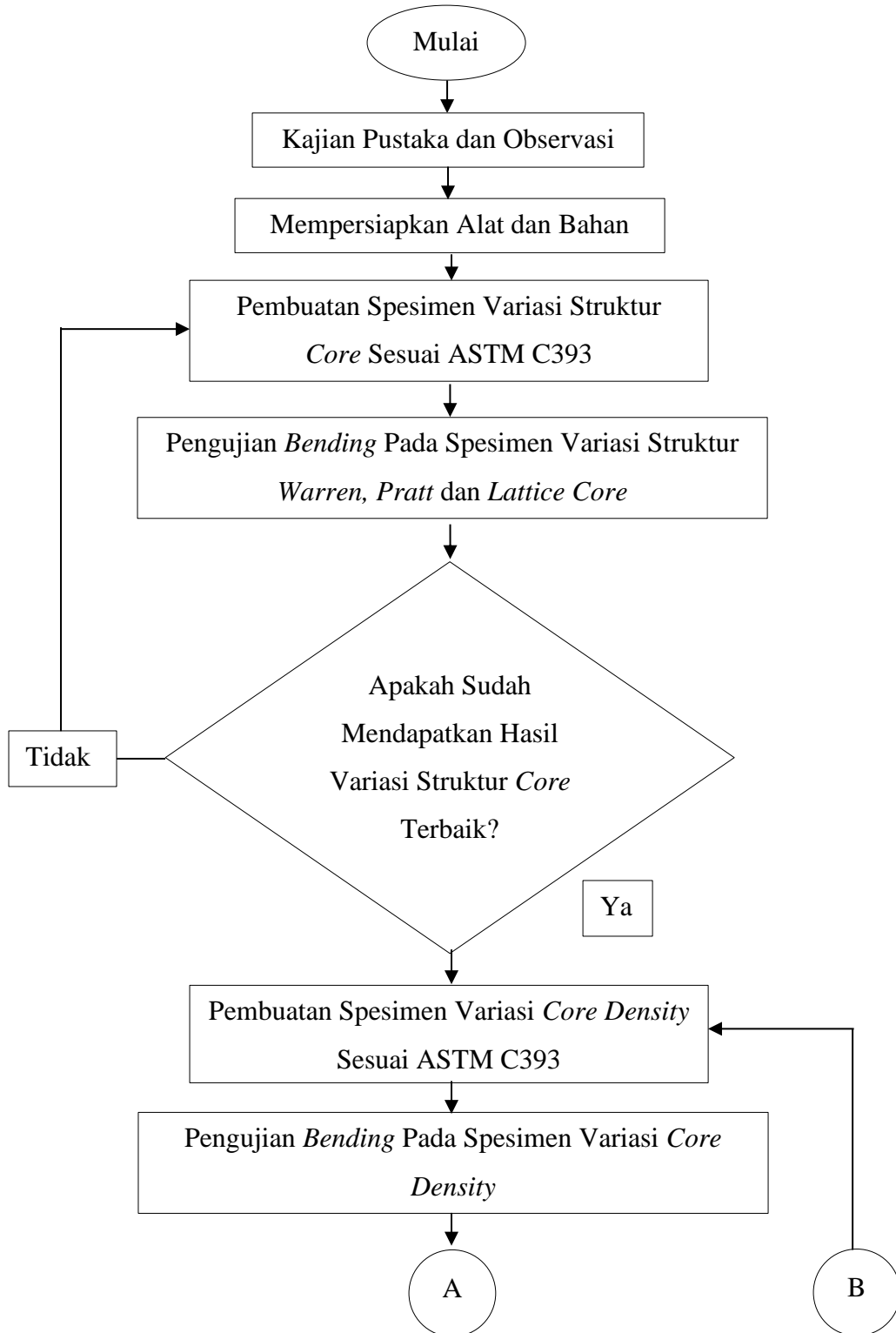


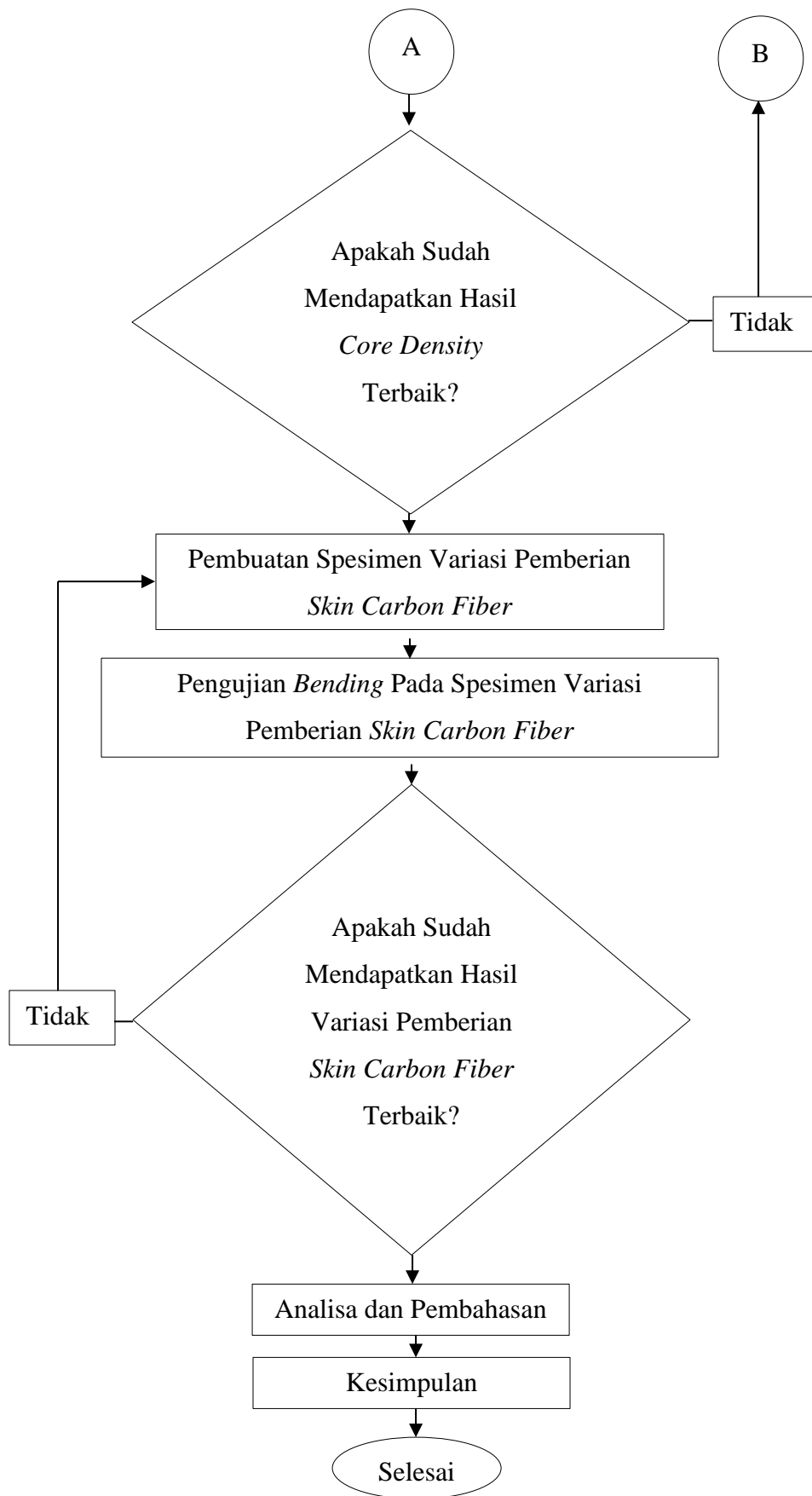
Gambar 2- 11 Modus Kegagalan *Bending*

# BAB 3

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian





Gambar 3-1 Diagram Alur Penelitian

## 3.2 Peralatan dan Bahan

### 1. Solidwork 2018

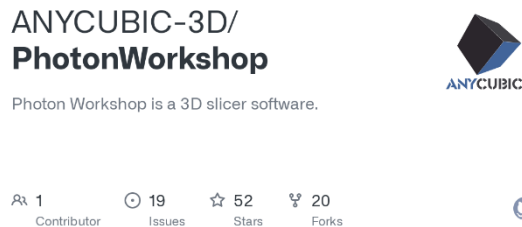
*Software CAD* yang digunakan untuk mendesain 3D spesimen yang akan dilakukan pengujian seperti pada Gambar 3-2



Gambar 3-2 *Software CAD Solidwork 2018*

### 2. Photon Workshop 2018

*Software* yang digunakan sebagai pengaturan posisi *print* dan penambahan *support* pada 3D *Print SLA* menggunakan *photon workshop 2018*.



Gambar 3-3 *Photon Workshop 2018*

### 3. Pompa Vacuum

Pompa *vacuum* yang bermerk *krisbow* dengan tenaga sebesar  $\frac{1}{2}$  HP dan berfungsi sebagai penghisap udara pada saat proses *vacuum infusion* yang dapat dilihat pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4 *Pompa Vacuum*

#### 4. *Resin Trap*

Pada Gambar 3-5 menunjukkan resin *trap* yang berfungsi sebagai penyerap resin agar tidak masuk ke dalam pompa vakum, dan juga sebagai kontrol terhadap tekanan vakum.



Gambar 3-5 Resin Trap

#### 5. Timbangan

Pada Gambar 3-6 menunjukkan timbangan sebagai menakar campuran resin dan katalis. Selain itu timbangan berfungsi menimbang berat spesimen sebelum dan sesudah proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-6 Timbangan

## 6. Katup Bensin

Pada Gambar 3-7 menunjukkan katup bensin yang berfungsi membuka dan menutup saluran udara dari cetakan.



Gambar 3-7 Katup Bensin

## 7. Plastik *Vacuum*

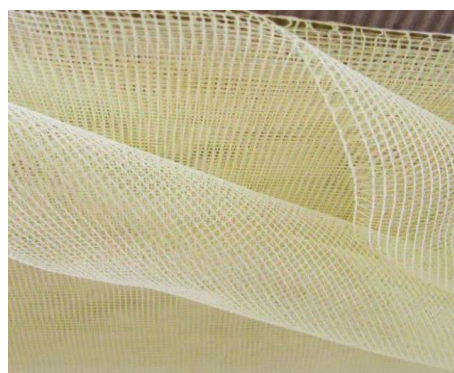
Pada Gambar 3-8 menunjukkan plastik *vacuum* berguna sebagai menjaga perbedaan tekanan di dalam maupun di luar cetakan.



Gambar 3-8 Plastik *Vacuum*

## 8. Kain Strimin

Pada Gambar 3-9 menunjukkan Kain strimin berfungsi sebagai media agar plastik tidak merekat secara permanen pada permukaan produk.



Gambar 3-9 Kain Strimin

### 9. *Peel Ply*

Pada Gambar 3-10 menunjukkan *peel ply* berfungsi sebagai pemisah antara serat *carbon fiber* dengan kain strimin.



Gambar 3-10 *Peel Ply*

### 10. Selang *Resin*

Pada Gambar 3-11 menunjukkan selang resin yang berfungsi untuk mengalirkan resin dari wadah ke cetakan dan sebagai saluran *vacuum* pada *vacuum pump* ke dalam resin *trap*.



Gambar 3-11 Selang Resin

### 11. Selang Spiral

Pada Gambar 3-12 menunjukkan Selang spiral berfungsi untuk mengalirkan resin ke semua bagian dalam cetakan dan menyalurkan aliran tekanan dari *vacuum pump*.



Gambar 3-12 Selang Spiral

## 12. Resin dan Katalis

Pada Gambar 3-13 menunjukkan resin sebagai matriks atau pengikat *carbon fiber* agar menjadi kaku. Sedangkan katalis berfungsi sebagai campuran resin agar proses mempercepat reaksi dalam resin.



Gambar 3-13 Resin dan Katalis

## 13. Sealant Tape

Pada Gambar 3-20 menunjukkan *Sealant tape* berfungsi untuk merekatkan *vacuum bag* di setiap sisinya agar tidak terjadi kebocoran udara ketika proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-14 Sealant Tape

#### 14. *Adhesive Film*

Pada gambar 3-15 menunjukkan *adhesive film* yang berfungsi sebagai perekat dan menutup masuknya resin kedalam *core* sehingga Dalam penelitian ini menggunakan perekat kertas sebagai penghalang resin masuk ke *core* dan lem *epoxy* sebagai perekat terhadap *skin carbon fiber*.



Gambar 3-15 *Adhesive Epoxy*

#### 15. Resin *PLA-Bio Photopolymer*

Pada gambar 3-16 menunjukkan resin *PLA-Bio Photopolymer* berfungsi sebagai pembuatan spesimen pada *3D Print SLA*.



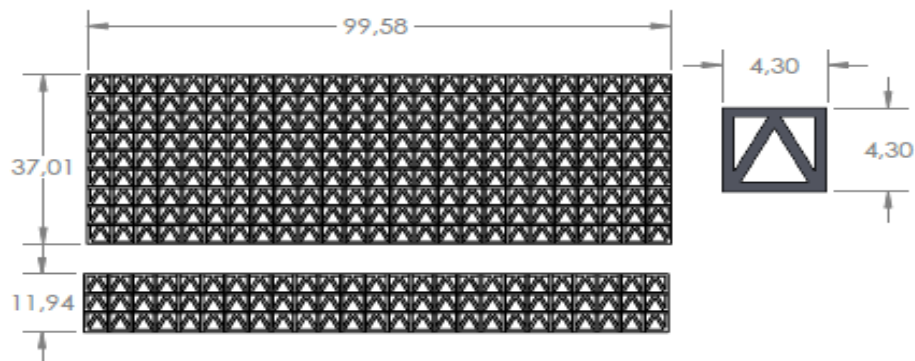
Gambar 3-16 Resin Bio – Photopolymer

### 3.3 Dimensi Spesimen *Bending*

Spesimen Komposit *sandwich* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan standar ASTM C393, dengan *core truss warren,pratt* dan *lattice* dan ukuran 30%,3 dan 4.

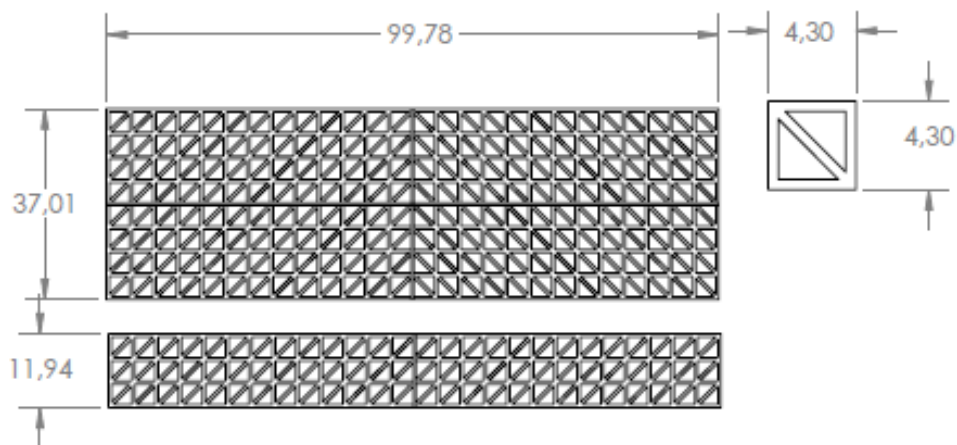
### 3.3.1 Dimensi Spesimen Variasi Struktur Core

Spesimen dengan tipe variasi struktur *core warren* memiliki susunan rangka batang membentuk segitiga seperti pada gambar 3-17. Spesifikasi *core warren* yaitu ukuran pola 4,3 mm 30% dengan panjang 100 mm, lebar 37,5 mm dan tebal 12 mm dengan ukuran rangka 0,5 mm.



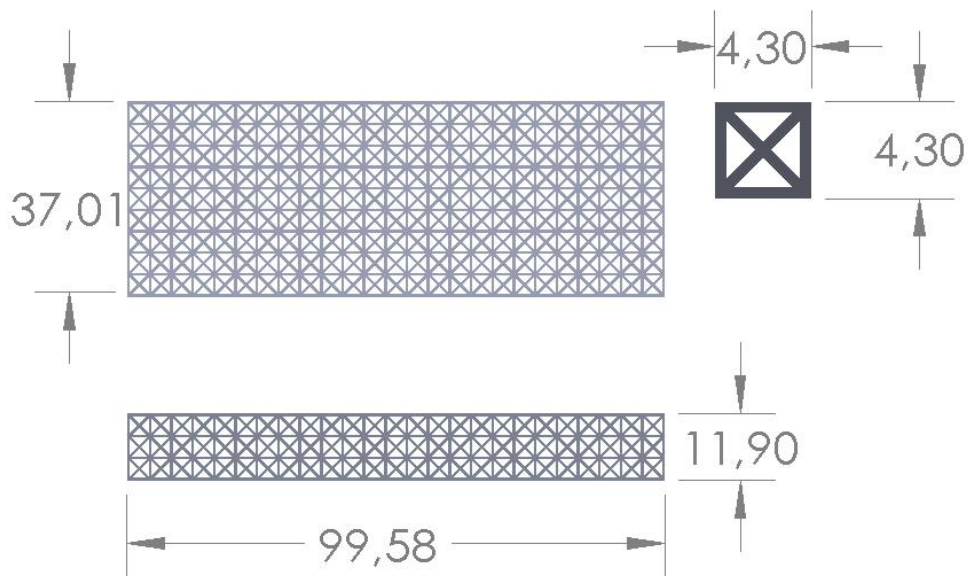
Gambar 3-17 Dimensi Struktur Core Warren

Selain struktur *core warren*, *core pratt* memiliki susunan rangka batang yang membentuk sudut lancip  $45^{\circ}$  di bagian kanan dan  $45^{\circ}$  di bagian kiri seperti pada gambar 3-18. Spesifikasi *core pratt* yaitu ukuran pola 4,3 mm 30% dengan panjang 100 mm, lebar 37,5 mm dan tebal 12 mm dengan ukuran rangka 0,5 mm.



Gambar 3-18 Dimensi Struktur Core Pratt

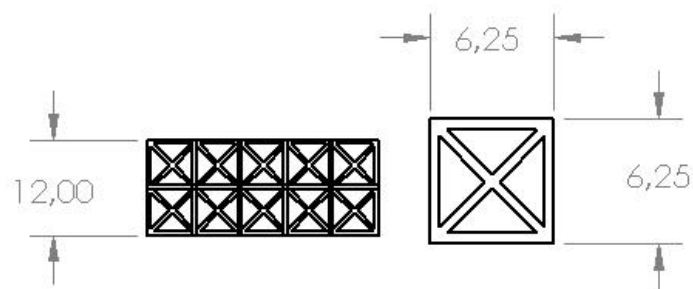
Tipe *Lattice* memiliki struktur rangka batang yang membentuk diagonal seperti pada gambar 3-19. Spesifikasi *core pratt* yaitu ukuran pola 4,3 mm 30% dengan panjang 100 mm, lebar 37,5 mm dan tebal 12 mm dengan ukuran rangka 0,5 mm.



Gambar 3-19 Dimensi Spesimen *Core Lattice*

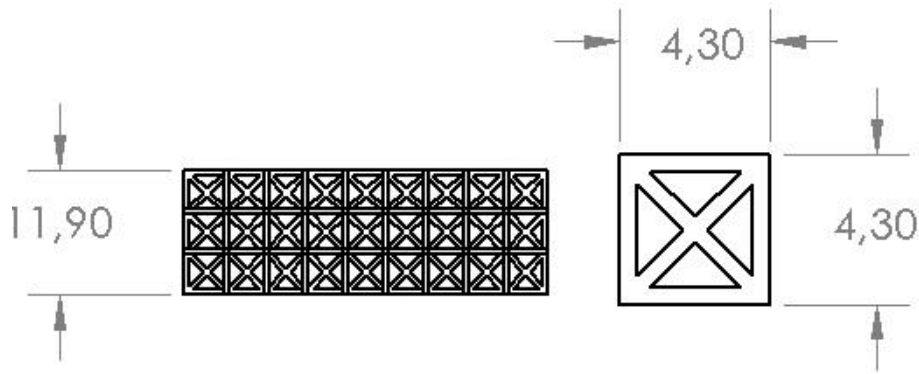
### 3.3.2 Dimensi Spesimen Variasi *Core Density*

Terdapat 3 jenis variasi *core density* yaitu 15%, 30% dan 60% dengan ukuran pola yang berbeda – beda tetapi mempunyai bentuk *core* yang sama yaitu *lattice core*. Struktur core 15% memiliki ukuran pola 6,25 mm dengan 2 lapisan struktur rangka didalamnya serta memiliki panjang 100 mm, lebar 37,5 mm dan tebal 12 mm dengan ukuran rangka 0,5 mm seperti pada Gambar 3-20.



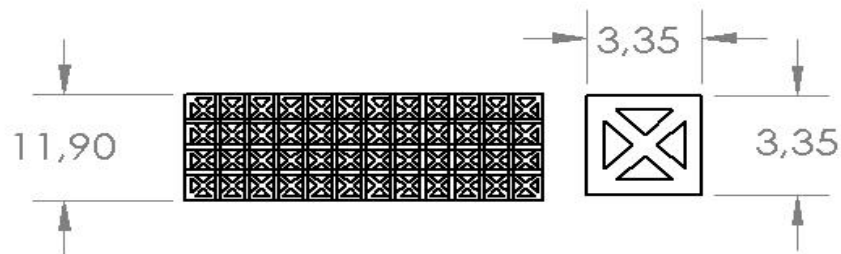
Gambar 3-20 Struktur *Core density* 15%

*Core density* 30% memiliki ukuran pola 4,3 mm terdiri dari 3 lapisan struktur rangka didalamnya serta memiliki panjang 100 mm, lebar 37,5 mm dan tebal 12 mm dengan ukuran rangka 0,5 mm seperti pada Gambar 3-21.



Gambar 3-21 Struktur *Density Core 30%*

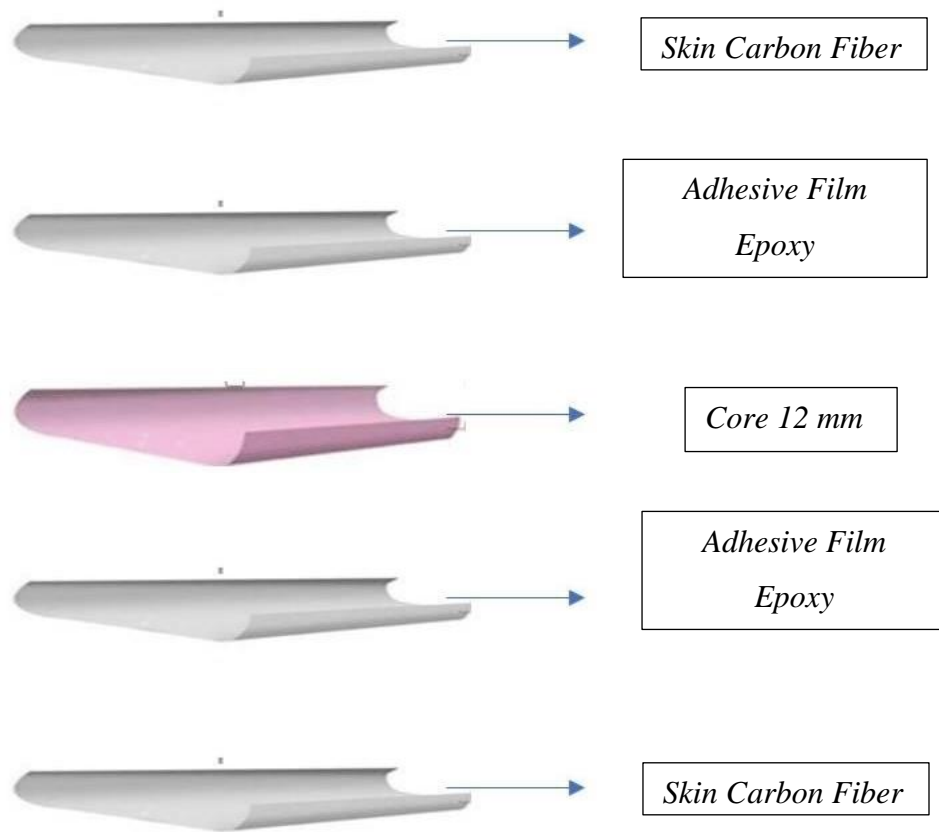
Struktur ukuran *core 60%* memiliki ukuran yang lebih kecil daripada 30% dan 3 dengan ukuran pola 3,35 mm. Spesifikasi spesimen tersebut memiliki 4 lapisan lapisan struktur rangka didalamnya serta memiliki panjang 100 mm, lebar 37,5 mm dan tebal 12 mm dengan ukuran rangka 0,5 mm seperti pada Gambar 3-22.



Gambar 3-22 Struktur *Density Core 60%*

### 3.4 Susunan Komposit *Sandwich*

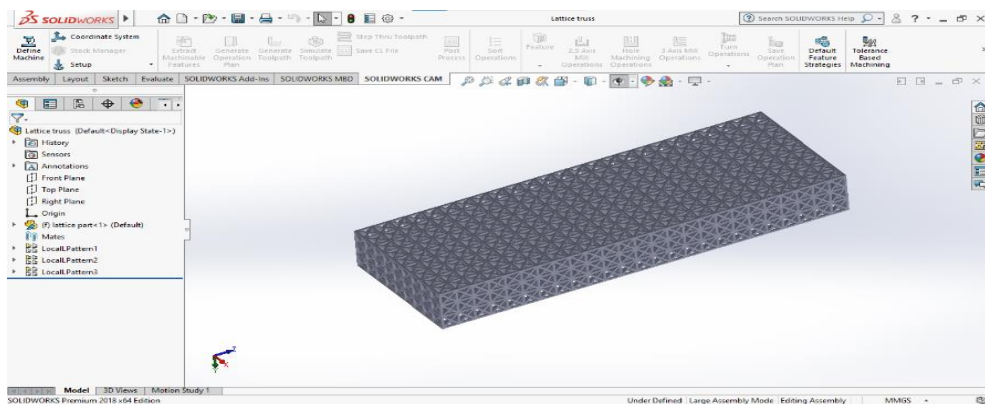
Gambar 3-23 susunan komposit *sandwich* menggunakan metode *vacuum infusion*. *Core* yang akan digunakan yaitu hasil dari parameter terbaik dari variasi struktur dan ukurannya dengan pemberian skin *carbon fiber* motif *unidirectional* 1 lapis dengan *adhesive epoxy*.



Gambar 3-23 Susunan komposit sandwich

### 3.5 Proses Pembuatan Spesimen

Proses Pembuatan spesimen diawali dengan mendesain 3d menggunakan software *Solidwork* seperti pada Gambar 3-24.

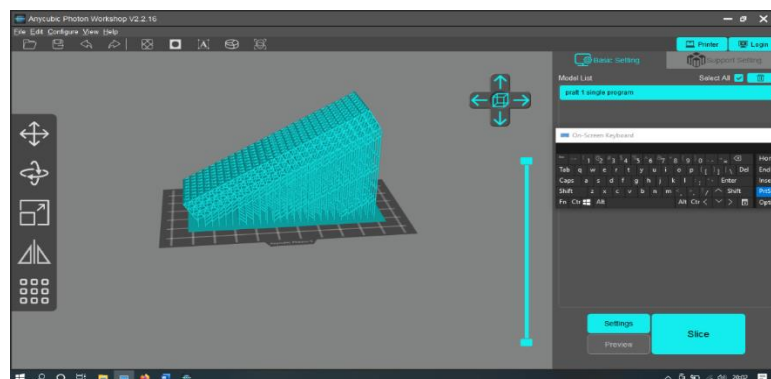


Gambar 3-24 Proses Pembuatan Model 3D Spesimen

Setelah melakukan proses desain 3D, selanjutnya file di *convert* dalam bentuk STL agar bisa dilakukan proses penambahan *support* dan parameter 3D *print resin SLA* menggunakan *software photon workshop* seperti pada Gambar 3-25 dan tabel 3-1.

Tabel 3-1 Parameter 3D *Print SLA*  
(Sasongko 2021)

No	Variabel	Nilai	Satuan
1	<i>Off Time</i>	1	(s)
2	<i>Bottom Exposure</i>	60	(s)
3	<i>Bottom Layer</i>	8	-
5	<i>Z Lift Distance</i>	6	(mm)
6	<i>Z Lift Speed</i>	3	(mm/s)
7	<i>Z Retract Speed</i>	3	(mm/s)
8	<i>Layer Thickness</i>	0,05	(mm)
9.	<i>Normal Exposure Time</i>	2	(s)



Gambar 3-25 Proses Peletakan *support* dan posisi *print* pada aplikasi *anycubic photon workshop*

### 3.5.1 Proses *Washing* Spesimen

Pada Gambar 3- 26 menunjukkan spesimen dilakukan proses pencucian untuk membersihkan dan mengeluarkan resin yang masih terperangkap didalam.

Proses pencucian menggunakan mesin *foam wash anycubic* menggunakan cairan IPA alkohol 98% dengan durasi pencucian 10 menit sesuai standar mesin.



Gambar 3-26 Proses *Washing* Spesimen

### 3.5.2 Proses *Curing* Spesimen

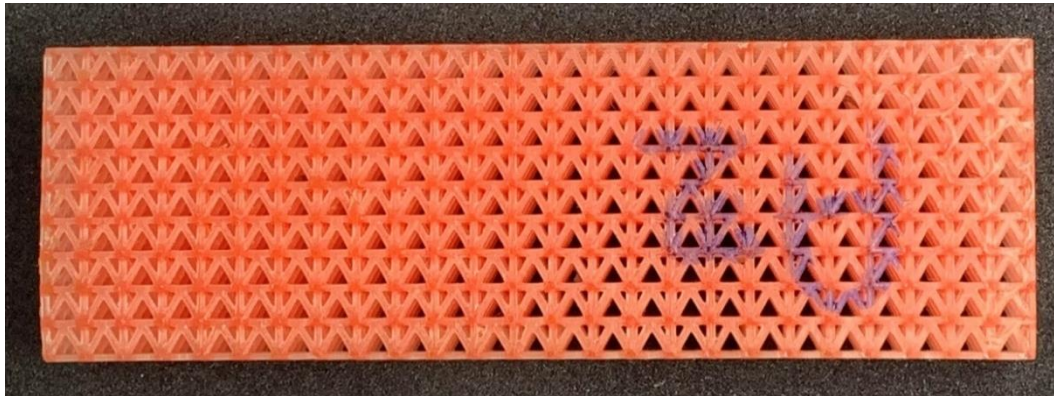
Setelah melakukan proses *washing* spesimen akan melalui proses *curing*. Proses tersebut berfungsi sebagai mengeringkan spesimen dan memperkuat struktur resin dengan dipaparkan sinar UV pada spesimen. Proses *curing* dilakukan selama 30 menit dengan suhu 60 derajat sesuai standar mesin seperti pada Gambar 3-27.



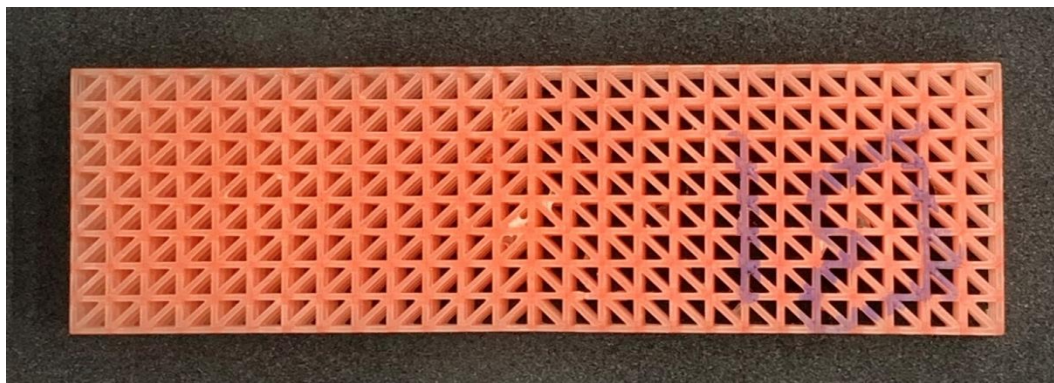
Gambar 3-27 Proses *Curing* Spesimen

### 3.6 Hasil Proses Pembuatan Spesimen

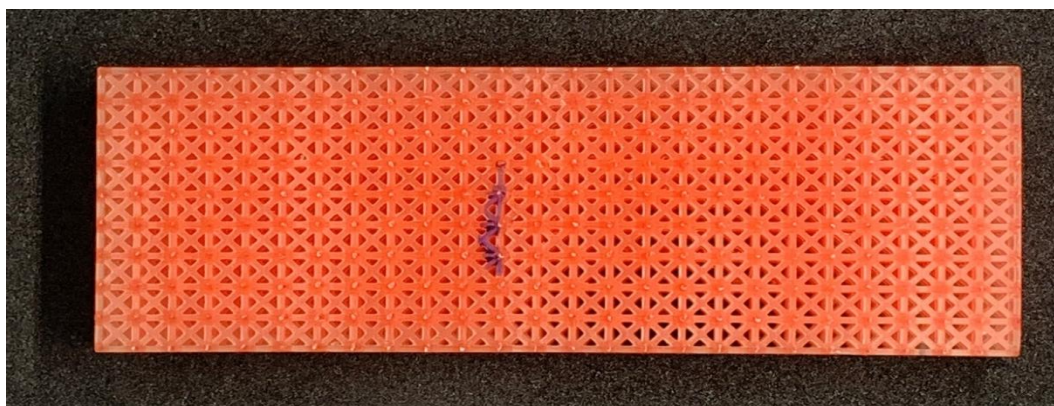
Setelah melalui tahapan *washing* dan *curing* maka spesimen akan didiamkan selama 3 hari sebelum dilakukan pengujian *bending*. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya fluktuasi data *bending*. Berikut merupakan hasil pembuatan spesimen pada Gambar 3-28 yaitu *warren core*, Gambar 3-29 *pratt core* dan 3-30 *lattice core* untuk variasi struktur *core*.



Gambar 3-28 Spesimen *core* Warren

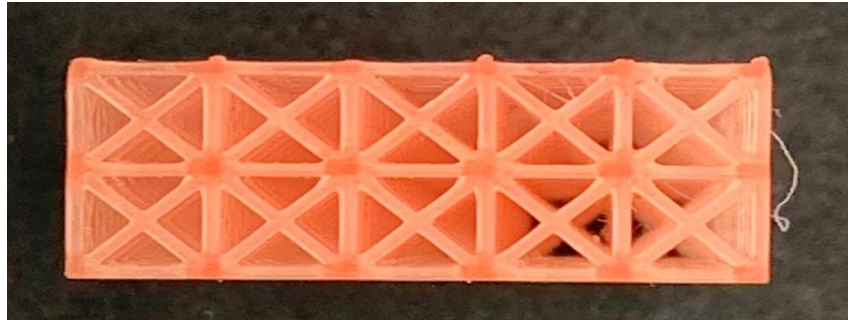


Gambar 3-29 Spesimen *Core* Pratt

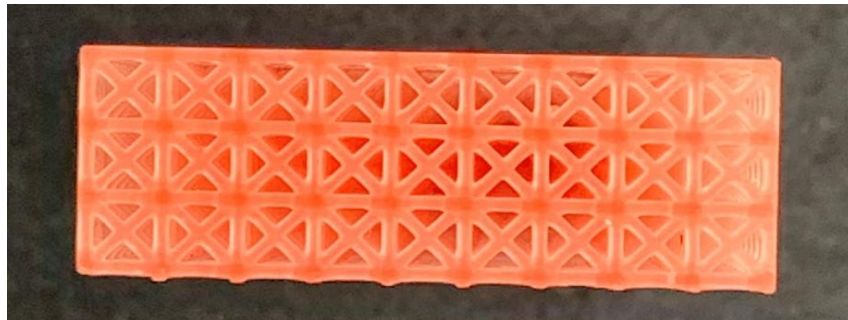


Gambar 3-30 Spesimen *Core* Lattice

Setelah menemukan parameter terbaik dari variasi struktur *core* selanjutnya adalah menentukan variasi ukuran terbaik dalam struktur *core* berikut adalah contoh spesimen pada gambar 3-31 30%, gambar 3-32 30% dan gambar 3-33 60%.



Gambar 3-31 Spesimen *Core Density* 15%



Gambar 3-32 Spesimen *Core Density* 30%



Gambar 3-33 Spesimen *Core Density* 60%

### **3.7 Proses Komposit *Sandwich***

Setelah melakukan proses pengujian *bending* untuk mendapatkan hasil parameter terbaik dari tipe dan ukuran struktur *core* maka spesimen akan melalui proses komposit *sandwich* untuk mengetahui perbedaan sebelum dan sesudah diberi *skin carbon fiber*

### 3.7.1 Proses *Vacuum Infusion*

1. Menyusun *sealant tape* di bagian ujung *Vacuum Bagging* seperti pada gambar 3-34.



Gambar 3-34 Menyusun *Sealant tape*

2. Menyusun Kain Strimin

Kain strimin yang dibalut oleh perekat kertas di bagian pinggir. Hal ini mencegah terjadinya kebocoran ketika proses *vacuum* seperti pada gambar 3-35.



Gambar 3-35 Menyusun Kain Strimin

3. Menyusun Kain *Peel Ply*

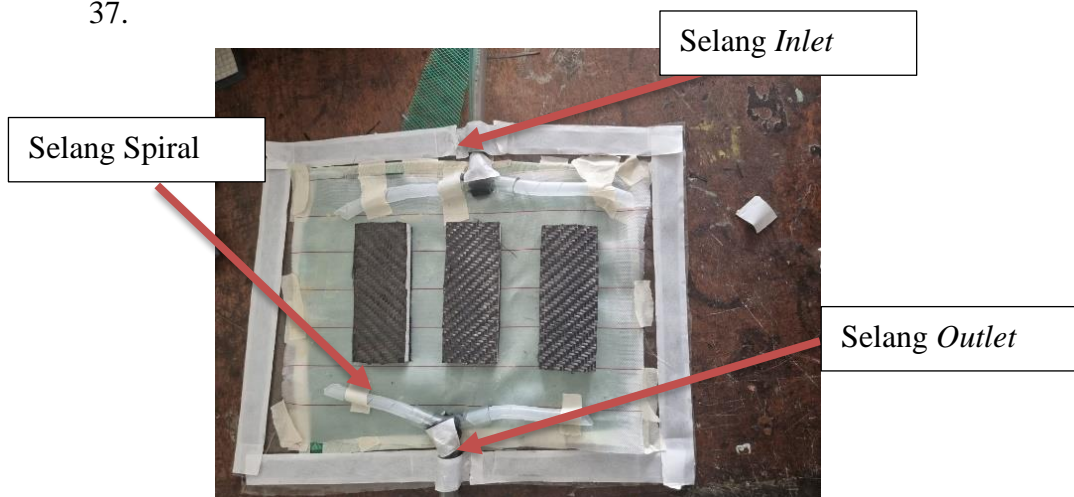
Kain *Peel ply* yang dilapisi *mirror glaze* agar pada saat proses pencabutan *carbon fiber* tidak lepas dari spesimen.



Gambar 3-36 Menyusun Peel Ply

#### 4. Meletakkan Spesimen dan pembuatan Selang T *Inlet* dan *Outlet*

Spesimen yang telah dilapisi *skin carbon fiber* diletakan di atas kain *peel ply*. Setelah itu dalam proses ini Selang T akan diletakan sebagai perantara aliran resin. Terdapat 2 jalur yaitu *Inlet* yang berfungsi sebagai masuknya resin ke dalam susunan komposit *sandwich* dan *Outlet* sebagai *resin trap* agar resin tidak berlebih didalam *Vacuum bagging*. Alasan selang dibuat melingkar seperti huruf T agar resin dapat memenuhi semua bagian.berikut merupakan peletakan posisi selang sesuai pada gambar 3-37.



Gambar 3-37 Menyusun selang T

#### 5. Menyusun Bahan Ke dalam Plastik *vacuum*

Proses ini Menyusun seluruh bahan yang digunakan untuk proses *vacuum infusion* seperti pada gambar 3-37 sesuai pada urutan gambar 3-23.



Gambar 3-38 Menyusun Bahan Komposit

#### 6. Proses Pencampuran *Resin* dan *Katalis*

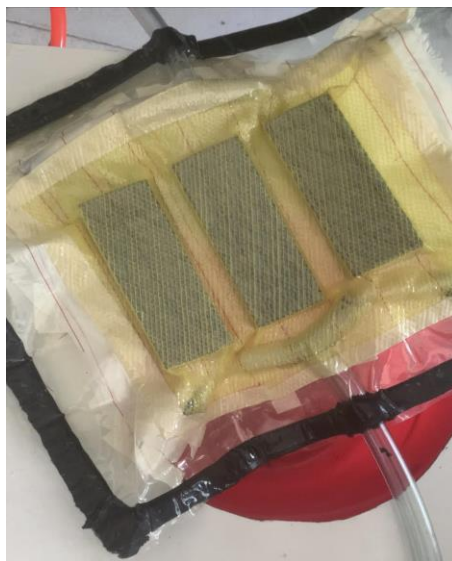
Proses pencampuran resin dan katalis dengan merk *eposchon* dengan grade Dalam hal ini perbandingan resin dan katalis menggunakan perbandingan 60 resin :40 katalis seperti pada gambar 3-39.



Gambar 3-39 Proses Pencampuran *Resin* dan *Katalis*

#### 7. Proses *Vacuum Infusion*

Pada Gambar 3-40 menunjukkan proses *vacuum infusion*. Sebelum memasukan campuran resin dan katalis perlu dilakukan pengecekan pada vacuum bag apakah terjadi kebocoran di beberapa bagian. Dengan *vacuum bag* yang tidak mengalami kebocoran pada saat proses pengeluaran udara di dalamnya maka resin dan katalis siap dimasukan kedalam.



Gambar 3-40 Proses *Vacuum Infusion*

### 3.8 Proses Pengujian *Bending*

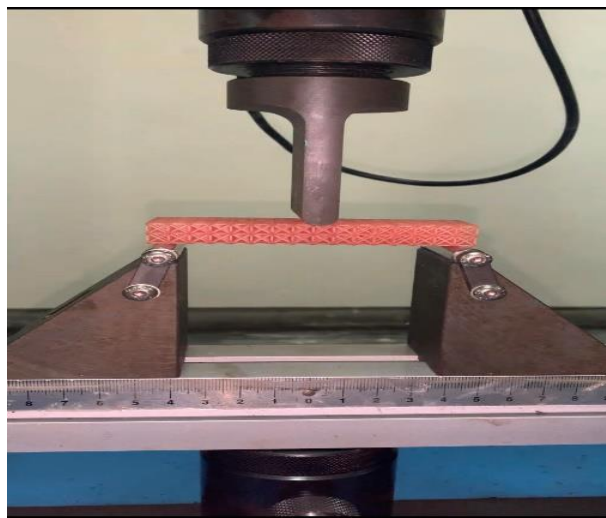
Pada penelitian ini spesimen akan dilakukan proses pengujian *bending* dengan metode *three point bending*. Spesimen pada penelitian ini menggunakan standar ASTM C393 dan pengujian dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam Politeknik Sanatha Dharma Yogyakarta.

Berikut merupakan langkah yang dilakukan untuk pengujian *bending* adalah sebagai berikut:

1. Memastikan spesimen memiliki dimensi yang sesuai standar ASTM C393
2. Memberikan nama dari setiap spesimen yang berbeda parameternya
3. Letakan spesimen pada alat uji *bending* sesuai ketentuan pada Gambar 3-42. Dengan jarak titik tumpuan sesuai standar ASTM C393 yaitu 75mm seperti pada gambar 3-4



Gambar 3-41 Proses Penentuan Jarak Tumpu Pengujian *Bending*



Gambar 3-42 Peletakan Spesimen di Alat Uji *Bending*

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengaruh Variasi Struktur *Core* Terhadap Tegangan *Bending*, Nilai Kekakuan dan Kekakuan Spesifik

Pada sub bab ini menjelaskan terkait pengaruh Variasi Struktur *Core* Terhadap, Tegangan *Bending*, Nilai Kekakuan dan Kekakuan Spesifik. Dalam hal ini variasi struktur *core* yang akan dibahas adalah *warren*, *pratt* dan *lattice core*.

##### 4.1.1 Pengaruh Variasi Struktur *Core* Terhadap Tegangan *Bending*

Berikut data variabel terkait tegangan *bending* pada spesimen variasi struktur *core warren*, *pratt* dan *lattice* yang dapat dilihat pada pada tabel 4-1.

Tabel 4-1 Data Variabel Tegangan *Bending* Variasi Struktur *Core*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
Wr 1	118,86	75	36,87	12,19
Wr 2	121,70	75	36,51	12,46
Wr 3	126,51	75	36,45	12,47
Pr 1	109,93	75	36,79	12,53
Pr 2	100,71	75	36,25	12,47
Pr 3	87,77	75	36,02	12,43
Lt 1	217,22	75	36,92	12,29
Lt 2	220,16	75	36,15	12,24
Lt 3	178,48	75	36,89	12,26

Berikut merupakan contoh hasil perhitungan tegangan *bending* maksimal struktur *core warren* Wr1, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui :     $b = 36,87 \text{ mm}$                        $h = 12,19 \text{ mm}$   
                      $P = 118,86 \text{ N}$                           $L = 75 \text{ mm}$

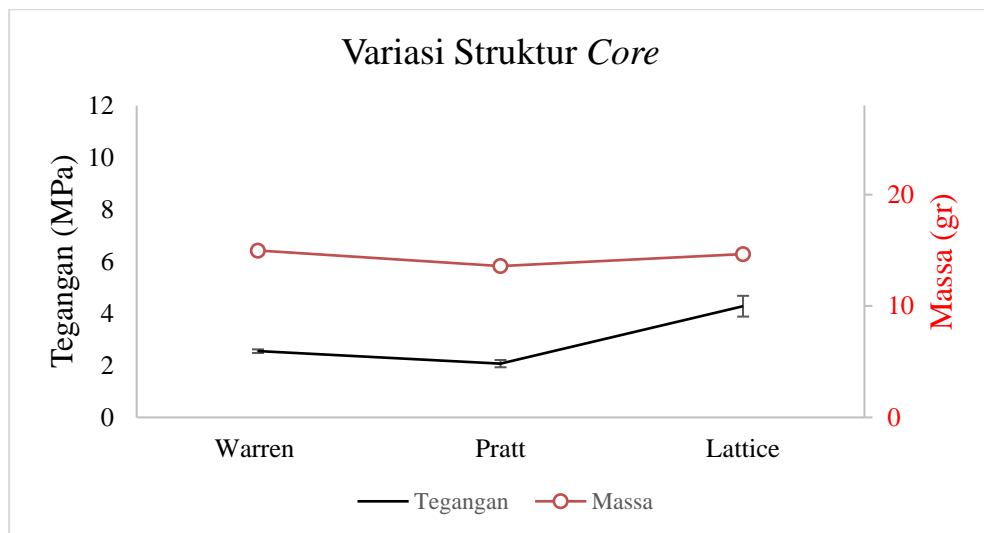
1. Tegangan *Bending*

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 118,86 \times 75}{2 \times 36,87(12.19)^2}$$

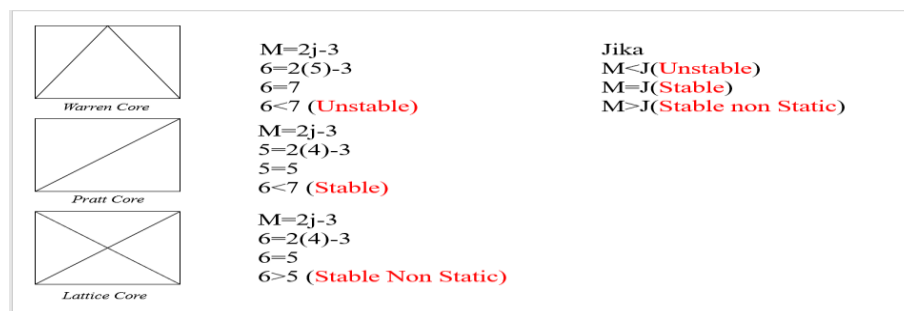
$$\sigma_b = 2,48 \text{ MPa}$$

Pada Gambar 4–1 menunjukkan grafik perbandingan nilai tegangan *bending* terhadap variasi struktur *core*. *Lattice core* mempunyai nilai tertinggi yaitu 4,28 Mpa dibandingkan dengan *Warren* dengan 2,55 Mpa dan *pratt* yaitu 2,07 Mpa. Hal ini disebabkan bahwa struktur *core lattice* memiliki struktur yang stabil berdasarkan *degree of freedom* pada struktur rangka batang seperti pada Gambar 4-2. Selain tegangan *bending* grafik tersebut menunjukkan massa dari semua variasi struktur *core* dengan rata rata 14 gram.



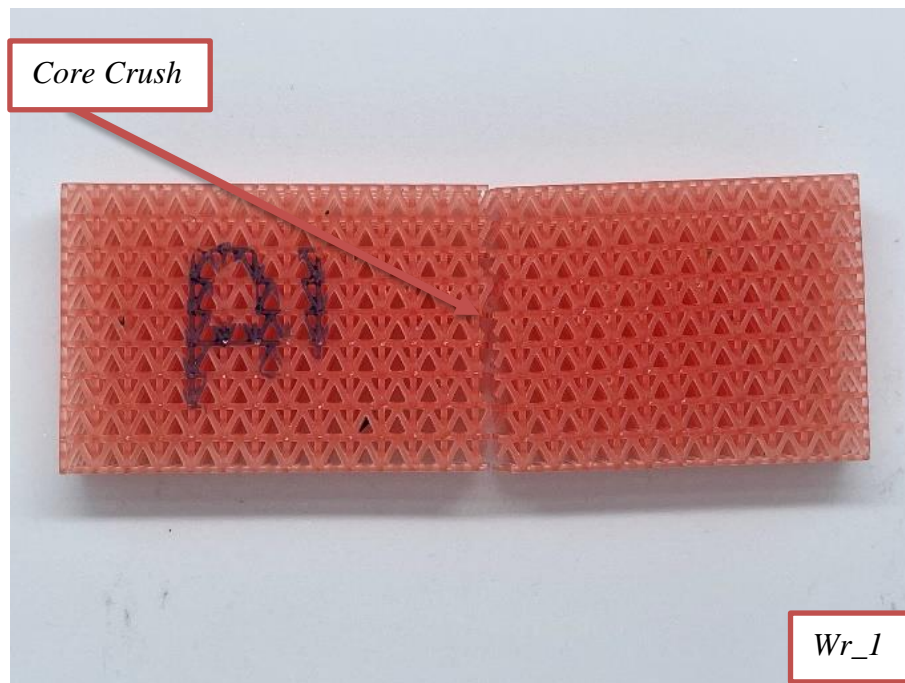
Gambar 4-1 Grafik Perbandingan Tegangan *Bending*

Variasi Struktur *Core*



Gambar 4-2 *Degree Of Freedom* Variasi Struktur *Core*

Pada Gambar 4-2 menunjukkan analisis modus kegagalan *bending core crush* hingga terbelah menjadi dua bagian pada variasi struktur *core warren*. Hal ini disebabkan struktur *core warren* memiliki struktur rangka yang tidak stabil berdasarkan perhitungan *degree of freedom* pada Gambar 4-3. Sebuah struktur dapat dinyatakan stabil jika jumlah *link* pada struktur sama dengan jumlah *joint* nya. Pada struktur *warren* terdapat 4 *link* dan 6 *joint* sehingga membuat struktur *core warren* memiliki rangka batang yang tidak stabil.



Gambar 4-3 Modus Kegagalan *Core Crush* pada  
*Warren Core*

#### 4.1.2 Pengaruh Variasi Struktur *Core* Terhadap Nilai Kekakuan

Berikut data variabel terkait nilai kekakuan pada spesimen variasi struktur *core warren*, *pratt* dan *lattice* yang dapat dilihat pada pada tabel 4-2.

Tabel 4-2 Data Variabel Nilai Kekakuan Variasi Struktur *Core*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	$\delta$ (mm)
Wr 1	118,86	75	36,87	12,19	5,21
Wr 2	121,70	75	36,51	12,46	4,97
Wr 3	126,51	75	36,45	12,47	5,07
Pr 1	109,93	75	36,79	12,53	6,41
Pr 2	100,71	75	36,25	12,47	6,63
Pr 3	87,77	75	36,02	12,43	6,35
Lt 1	217,22	75	36,92	12,29	8,16
Lt 2	220,16	75	36,15	12,24	8,33
Lt 3	178,48	75	36,89	12,26	7,96

Sebelum menuntukan nilai kekakuan maka diperlukan modulus elastias pada setiap spesimen. Berikut hasil perhitungan modulus elastisitas variasi struktur *core warren Wr1*, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui :  $b = 36,87 \text{ mm}$        $h = 12,19 \text{ mm}$        $\delta = 5,21 \text{ mm}$   
 $P = 118,86 \text{ N}$        $L = 75 \text{ mm}$

1. Modulus Elastisitas

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bh^3} \times \frac{P}{\delta}$$

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{(75)^3}{36,87 \times 12,19^3} \times \frac{118,86}{5,21}$$

$$Eb = 36,03 \text{ Mpa}$$

Setelah mendapatkan hasil modulus elastisitas pada spesimen, maka selanjutnya menentukan nilai kekakuan pada setiap spesimen. Berikut hasil perhitungan kekakuan variasi struktur *core warren Wr1*, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui :  $Eb = 36,03 \text{ N/mm}^2$   
 $b = 36,87 \text{ mm}$   
 $h = 12,19 \text{ mm}$

1. Momen Inersia

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

$$I = \frac{1}{12} \times 36,87 \times (12,19)^3$$

$$I = 5565,58 \text{ mm}^4$$

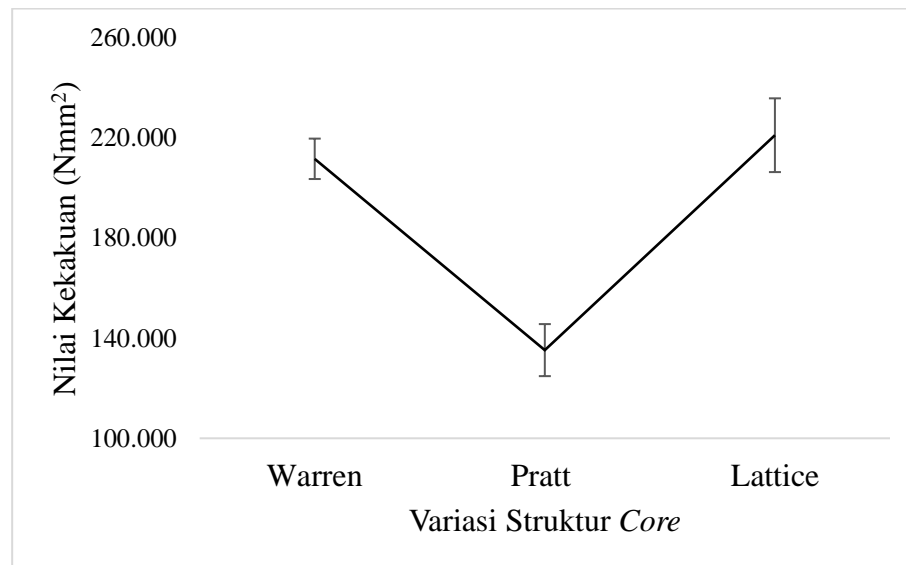
2. Kekakuan

$$D = Eb \times I$$

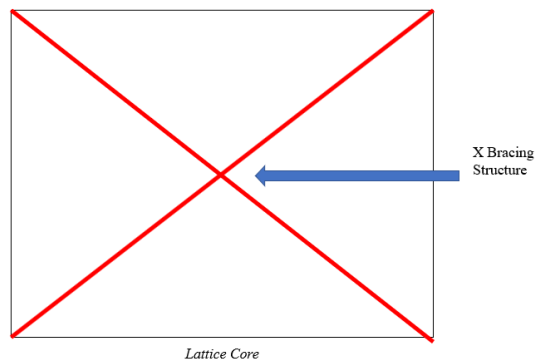
$$D = 36,03 \times 5565,58$$

$$D = 665934,76 \text{ Nmm}^2 = 200.512 \text{ Nmm}^2$$

Pada Gambar 4-4 menunjukkan nilai kekakuan pada setiap variasi struktur *core* dengan nilai tertinggi *lattice core* yaitu 221,109 Nmm<sup>2</sup>, *pratt core* 135,240 Nmm<sup>2</sup> dan *warren* 211,68 Nmm<sup>2</sup>. Pada struktur *core lattice* susunan rangka batang lebih tahan terhadap gaya lentur yang terjadi yang disebabkan terdapatnya *X Bracing* pada bagian tengah seperti pada Gambar 4-5. Fungsi *X Bracing* pada struktur yaitu memperkaku serta memberikan kestabilan pada rangka batang dari beban yang diberikan. (Liu et al. 2010)



Gambar 4-4 Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan *Bending* Variasi Struktur *Core*



Gambar 4-5 X Bracing Structure

### 4.1.3 Pengaruh Variasi Struktur Core Terhadap Nilai Kekakuan Spesifik

Kekakuan spesifik adalah kekakuan dibagi dengan berat spesimen. Oleh karena itu kekakuan dapat dibagi dengan berat spesimen pada tiap spesimen variasi struktur *core warren, pratt dan lattice*. Berikut data variabel terkait kekakuan spesifik yang dapat dilihat pada tabel 4-3.

Tabel 4-3 Data Variabel Nilai Kekakuan Spesifik Variasi Struktur Core

Kode Spesimen	D ( $Nmm^2$ )	m (gr)
Wr 1	200.512,09	14,82
Wr 2	215.217,08	14,97
Wr 3	219.310,51	15,17
Pr 1	150.730,37	14,30
Pr 2	133.506,26	13,98
Pr 3	121.482,84	13,20
Lt 1	233.965,71	14,57
Lt 2	232.292,92	14,77
Lt 3	197.069,33	14,21

Berikut hasil perhitungan kekakuan spesifik struktur *core warren* Wr1, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui:  $D = 200512,09 \text{ Nmm}^2$

$W = 14,82 \text{ gram}$

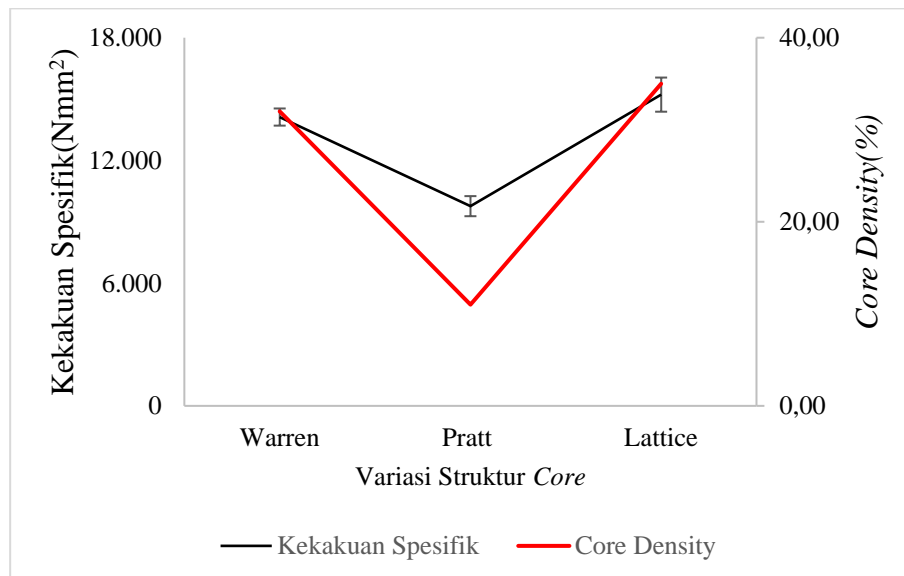
1. Kekakuan Spesifik

$$D \text{ spesifik} = \frac{D}{W}$$

$$D \text{ spesifik} = \frac{200512,09}{14,82}$$

$$D \text{ spesifik} = 13.530 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$$

Pada Gambar 4-6 menunjukkan grafik nilai kekakuan spesifik terhadap variasi struktur *core*. *Lattice core* mempunyai nilai kekakuan spesifik tertinggi dengan nilai  $15.217 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$ , *warren core* yaitu  $14.121 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$  dan *pratt core*  $9.765 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$ . Alasan struktur *core lattice* mempunyai nilai kekakuan spesifik tertinggi yaitu besarnya nilai kekakuan daripada struktur *core warren* dan *pratt*. Hal ini disebabkan struktur *core lattice* memiliki *core density* lebih besar daripada struktur *core warren* dan *pratt* sehingga memiliki nilai kekakuan spesifik yang tinggi senilai 35%.



Gambar 4-6 Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan *Bending* Spesifik Variasi Struktur *Core*

## 4.2 Pengaruh Variasi *Core density* Terhadap Tegangan *Bending*, Nilai Kekakuan dan Kekakuan Spesifik

Pada sub bab ini akan menjelaskan terkait pengaruh Variasi Struktur Ukuran Core Terhadap Beban Bending, Tegangan Bending, Nilai Kekakuan dan Kekakuan Spesifik. Dalam hal ini variasi *density core* yang akan dibahas adalah 15%, 30% dan 60%

### 4.2.1 Pengaruh Variasi Ukuran *Core density* Terhadap Tegangan *Bending*

Berikut data variabel terkait tegangan *bending* pada *core density* yang dapat dilihat pada pada tabel 4-4 dengan T2 untuk kode spesimen *core density* 15%, T3 untuk kode spesimen *core density* 30% dan T4 untuk kode spesimen *core density* 60%

Tabel 4-4 Data Variabel Nilai Kekakuan Variasi *Core Density*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
T2 1	105,81	75	36,77	12,68
T2 2	85,22	75	36,56	12,63
T2 3	84,04	75	36,53	12,58
T3 1	217,22	75	36,92	12,29
T3 2	220,16	75	36,15	12,24
T3 3	178,48	75	36,89	12,26
T4 1	320,48	75	36,11	12,31
T4 2	288,71	75	36,27	12,83
T4 3	260,4	75	36,96	12,26

Berikut merupakan contoh hasil perhitungan tegangan *bending* maksimal pada spesimen variasi *core density* 15% T2 1, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui :     $b = 36,77 \text{ mm}$                        $h = 12,68 \text{ mm}$   
                      $P = 105,81 \text{ N}$                           $L = 75 \text{ mm}$

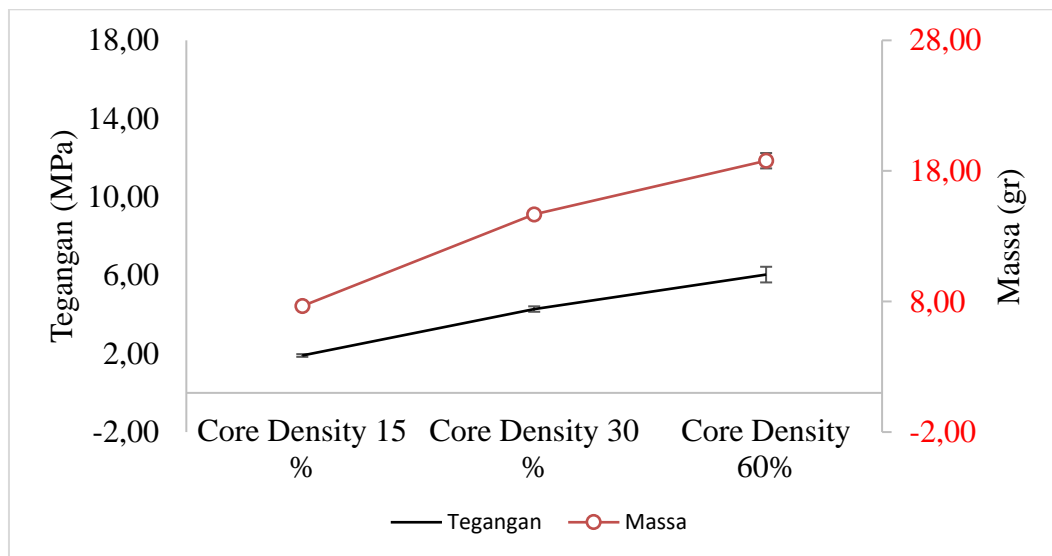
1. Tegangan *Bending*

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 105,81 \times 75}{2 \times 36,77(12,68)^2}$$

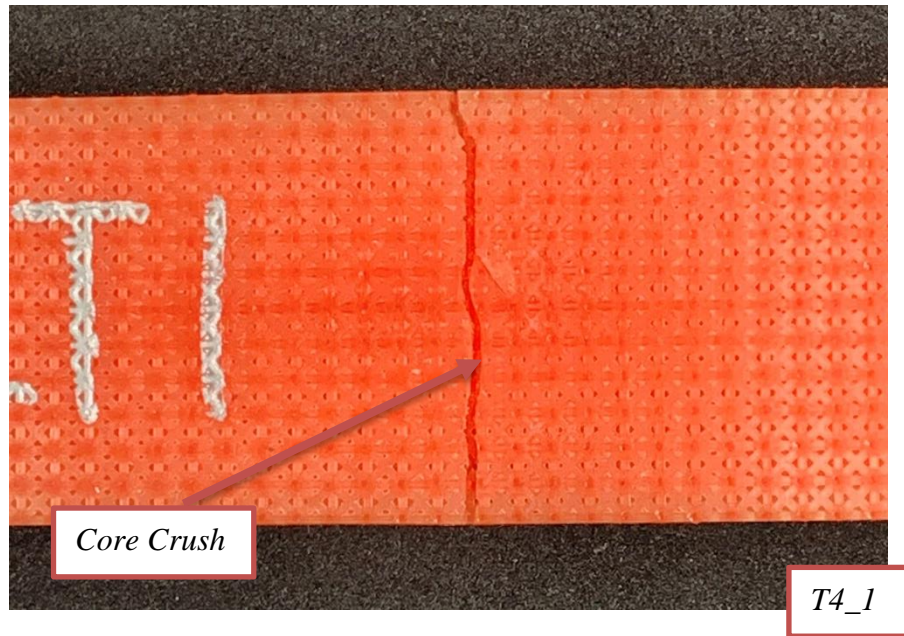
$$\sigma_b = 2,20 \text{ MPa}$$

Pada gambar 4-7 menunjukkan grafik tegangan *bending* terhadap variasi *Density core* dengan nilai tertinggi yaitu tingkat 60% dengan nilai 6,04 Mpa dibandingkan dengan tingkat 15% dan 30 % yaitu 1,91 dan 4,28 Mpa. Massa dari setiap spesimen juga mengalami perbedaan berdasarkan variasi *density* dengan 15% adalah 7,62 gram, 30% yaitu 14,52gram dan 60% dengan 18,78 gram. Dalam hal ini pengaruh ukuran struktur *core* yang lebih kecil dan rapat dapat meningkatkan nilai tegangan *bending* dan massa spesimen.



Gambar 4-7 Grafik Perbandingan Tegangan *Bending* Variasi *Core Density*

Pada Gambar 4-8 menunjukkan terjadinya *core crush* pada spesimen *Core density* 60%. Hal ini berbeda dari modus kegagalan pada gambar 4-3 karena spesimen tidak patah terbelah menjadi dua. Patahan yang terjadi pada spesimen 60% hanya sekedar retakan pada bagian luar saja. Hal ini disebabkan struktur *core lattice* memiliki struktur rangka yang stabil sehingga hanya terjadi retakan dibagian luar saja.



Gambar 4 -8 Modus Kegagalan *Core Crush* pada  
*Core Density* 60%

#### 4.2.2 Pengaruh Variasi *Core density* Terhadap Nilai Kekakuan

Berikut data variabel terkait nilai kekakuan pada spesimen variasi *density* 15% ,30% dan 60% yang dapat dilihat pada pada tabel 4-5.

Tabel 4-5 Data Variabel Nilai Kekakuan Variasi *Core Density*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	$\delta$ (mm)
T2 1	105,81	75	36,77	12,68	6,57
T2 2	85,22	75	36,56	12,63	4,62
T2 3	84,04	75	36,53	12,58	4,43
T3 1	217,22	75	36,92	12,29	8,16
T3 2	220,16	75	36,15	12,24	8,33
T3 3	178,48	75	36,89	12,26	7,96
T4 1	320,48	75	36,11	12,31	5,21
T4 2	288,71	75	36,27	12,83	5,4
T4 3	260,4	75	36,96	12,26	5,92

Sebelum menuntukan nilai kekakuan maka diperlukan modulus elastias pada setiap spesimen. Berikut hasil perhitungan modulus elastisitas variasi *core density* 15 % T2 1 dengan contoh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } \quad b &= 36,77 \text{ mm} & h &= 12,68 \text{ mm} & \delta &= 6,57 \text{ mm} \\ P &= 105,81 \text{ N} & L &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

1. Modulus Elastisitas

$$\begin{aligned} Eb &= \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bh^3} \times \frac{P}{\delta} \\ Eb &= \frac{1}{4} \times \frac{(75)^3}{36,77 \times 12,68^3} \times \frac{105,81}{6,57} \\ Eb &= 22,66 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan hasil modulus elastisitas pada spesimen, maka selanjutnya menentukan nilai kekakuan pada setiap spesimen. Berikut hasil perhitungan kekakuan variasi struktur *core warren* Wr1, dengan contoh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } \quad Eb &= 22,66 \text{ N/mm}^2 \\ b &= 36,77 \text{ mm} \\ h &= 12,69 \text{ mm} \end{aligned}$$

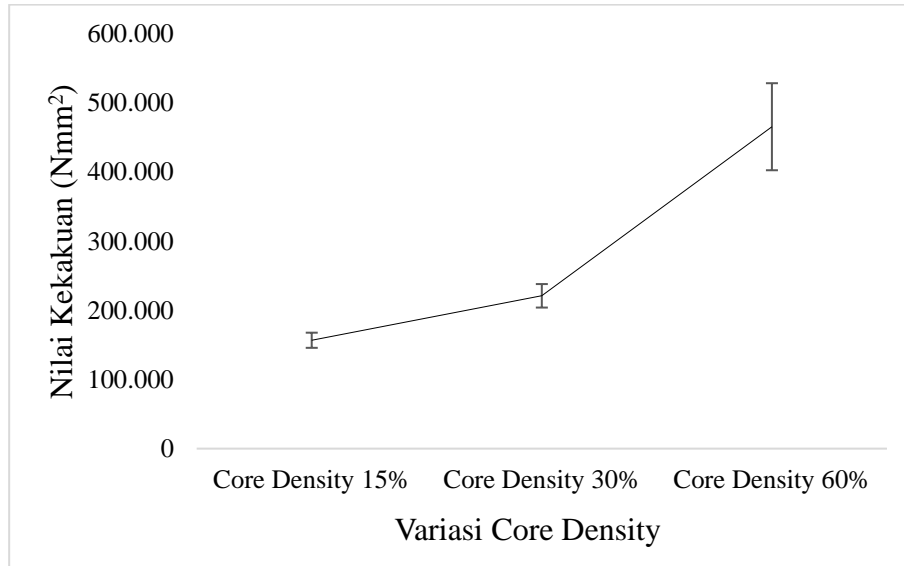
2. Momen Inersia

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} bh^3 \\ I &= \frac{1}{12} \times 36,77 \times (12,69)^3 \\ I &= 6246,98 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

3. Kekakuan

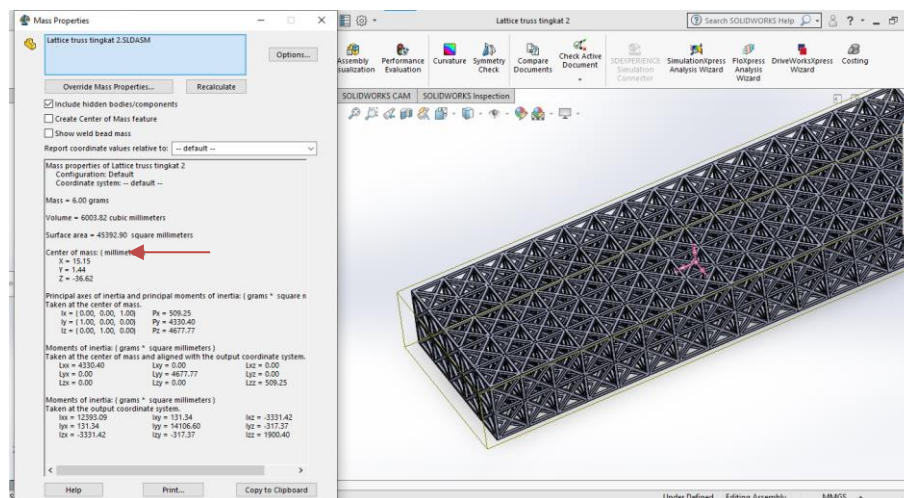
$$\begin{aligned} D &= Eb \times I \\ D &= 22,66 \times 6246,98 \\ D &= 141.548 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Pada Gambar 4-9 menunjukan nilai kekakuan pada setiap variasi *Core density* dengan nilai tertinggi 60% yaitu 465,714 Nmm<sup>2</sup>, 30 % dengan 221,11 Nmm<sup>2</sup> dan 15% pada 156,80 Nmm<sup>2</sup>



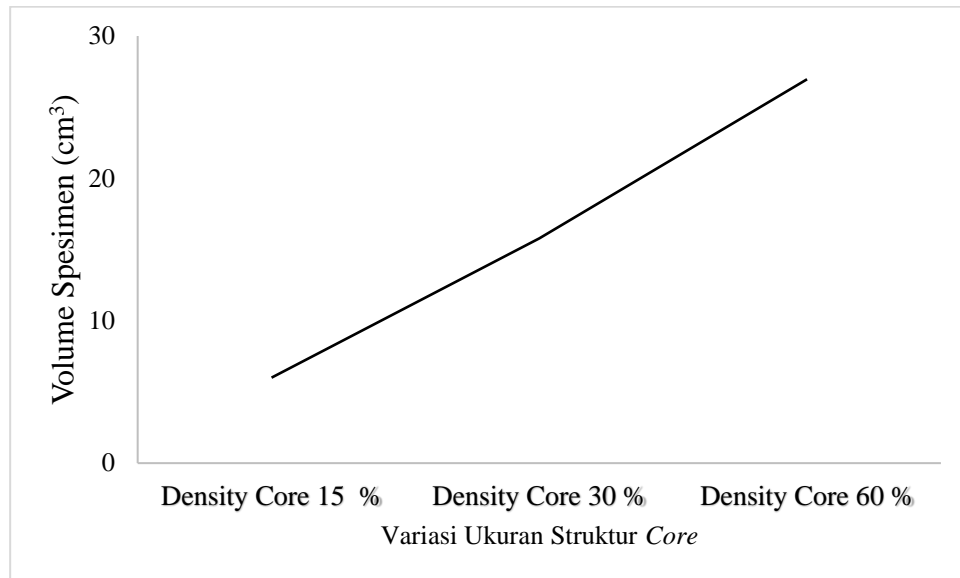
Gambar 4-9 Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan Variasi Ukuran Struktur *Core*

Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai *core density* pada spesimen maka dapat menambahkan nilai kekakuan. Hal ini didukung pada perbandingan *volume* dari setiap spesimen dengan semakin besar rongga yang ada pada spesimen maka semakin kecil nilai kekakuannya. Dikarenakan spesimen memiliki rongga maka untuk mencari nilai dari *volume* setiap spesimen menggunakan aplikasi *Solidwork 2018* seperti pada Gambar 4-10.



Gambar 4-10 Analisis *Volume* Spesimen Variasi *Core Density*

Pada Gambar 4-11 menunjukkan perbandingan *volume* pada setiap variasi ukuran spesimen. Dengan *Core density* 15% yaitu  $6 \text{ cm}^3$ , 30 % dengan  $15,80 \text{ cm}^3$  60 % memiliki nilai  $26,96 \text{ cm}^3$ . Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran struktur *core* maka semakin sedikit ruang yang terisi sehingga memiliki nilai volume yang tinggi.



Gambar 4-11 Grafik Perbandingan *Volume* Spesimen Variasi Ukuran Struktur *Core*

### 4.2.3 Pengaruh Variasi *Density Core* Terhadap Nilai Kekakuan Spesifik

Kekakuan spesifik adalah kekakuan dibagi dengan berat spesimen. Oleh karena itu kekakuan dapat dibagi dengan berat kekakuan pada spesimen variasi *density* 15% ,30% dan 60% yang dapat dilihat pada pada tabel 4-6.

Tabel 4- 6 Data Variabel Nilai Kekakuan Spesifik Variasi *Core Density*

Kode Spesimen	D ( $Nmm^2$ )	m (gr)
T2 1	141.548	7,89
T2 2	162.122	7,54

T2 3	166.734	7,51
T3 1	233.966	14,57
T3 2	232.293	14,77
T3 3	197.069	14,21
T4 1	540.637	19,54
T4 2	469.906	18,70
T4 3	386.600	18,10

Berikut hasil perhitungan kekakuan spesifik *core density* 15% T2 1, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui:  $D = 141.548 \text{ Nmm}^2$

$W = 14,82 \text{ gram}$

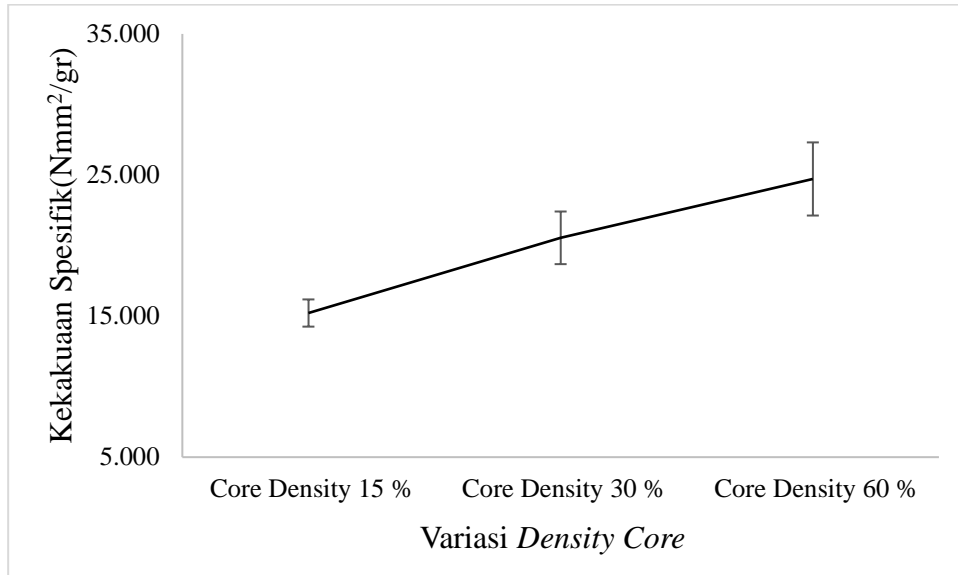
1. Kekakuan Spesifik

$$D \text{ spesifik} = \frac{D}{W}$$

$$D \text{ spesifik} = \frac{141.548}{7,89}$$

$$D \text{ spesifik} = 17,940 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$$

Pada Gambar 4-12 menunjukkan grafik nilai kekakuan spesifik terhadap variasi *density core* 60 % memiliki nilai tertinggi yaitu 24.719 Nmm<sup>2</sup>/gr, 30 % dengan 20,548 Nmm<sup>2</sup>/gr dan 15 % pada 15.218 Nmm<sup>2</sup>/gr. Hal ini disebabkan *density core* 60% mengisi lebih banyak ruang daripada 30% dan 15%.



Gambar 4-12 Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan Spesifik Variasi *Density Core*

### 4.3 Pengaruh Variasi *Skin Carbon Fiber* Terhadap Terhadap Tegangan *Bending*, Nilai Kekakuan dan Kekakuan Spesifik

Pada sub bab ini akan menjelaskan terkait Pengaruh Variasi *Skin Carbon Fiber* Terhadap Terhadap Beban Bending, Tegangan Bending, Nilai Kekakuan dan Kekakuan Spesifik. Dalam sub bab ini variasi yang akan digunakan adalah spesimen tanpa dan dengan *skin carbon fiber*.

#### 4.3.1 Pengaruh Variasi *Skin Carbon Fiber* Terhadap Tegangan *Bending*

Berikut data variabel terkait tegangan *bending* pada variasi *skin carbon fiber* yang dapat dilihat pada pada tabel 4-7 dengan Ncr untuk kode spesimen *core* tanpa *skin carbon fiber* dan Cr untuk kode spesimen menggunakan *skin carbon fiber*.

Tabel 4- 7 Data Variable Tegangan *Bending*  
Variasi *Skin Carbon Fiber*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
Ncr 1	320,48	75	36,11	12,31
Ncr 2	288,71	75	36,27	12,83
Ncr 3	260,4	75	36,96	12,26
Cr 1	538,88	75	36,22	13,21
Cr 2	539,86	75	36,56	13,56
Cr 3	508,87	75	36,75	13,72

Berikut merupakan contoh hasil perhitungan tegangan *bending* maksimal spesimen setelah pemberian *skin carbon fiber* Cr 1, dengan contoh sebagai berikut:

Diketahui :     $b = 36,22 \text{ mm}$                      $h = 13,21 \text{ mm}$   
                        $P = 538,88 \text{ N}$                      $L = 75 \text{ mm}$

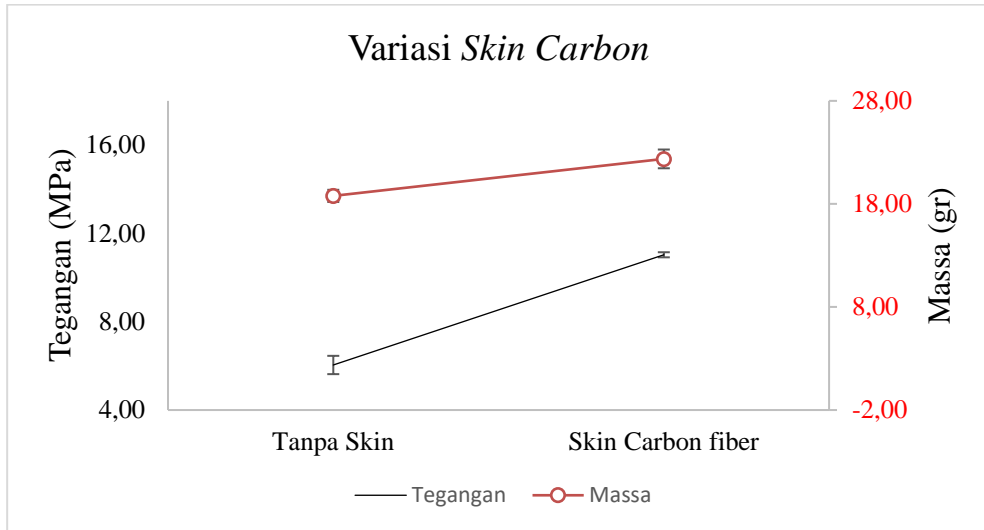
1. Tegangan *Bending*

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 538,88 \times 75}{2 \times 36,22(13,21)^2}$$

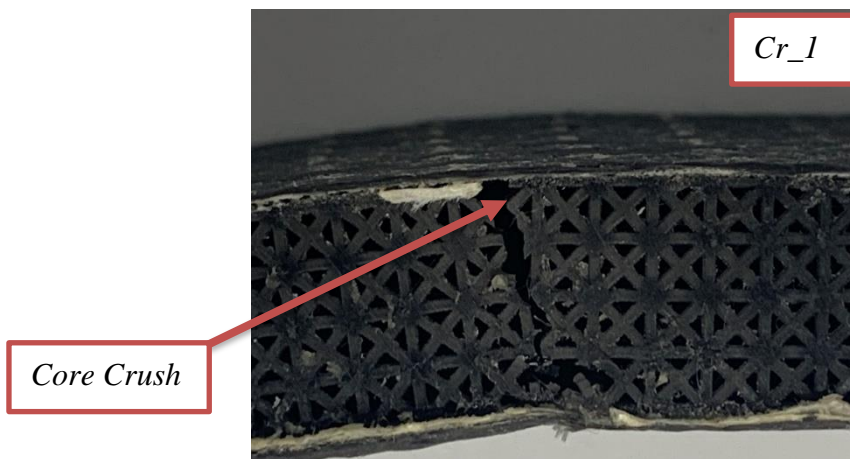
$$\sigma_b = 11,23 \text{ MPa}$$

Pada Gambar 4-13 menunjukkan grafik tegangan *bending* terhadap perbandingan spesimen tanpa *skin* dengan spesimen yang memiliki *skin carbon fiber* dimana nilai dari spesimen *skin* memiliki nilai 11,03 Mpa dibandingkan dengan spesimen tanpa *skin* yaitu 6,04 Mpa. Dalam hal ini massa pada spesimen setelah diberi *skin* meningkat dari 18,78 menjadi 22,37 gram. Hal ini disebabkan pengaruh *skin carbon fiber* motif *unidirectional* yang memiliki serat yang panjang dan lurus sehingga mampu menyalurkan tegangan yang merata pada spesimen,



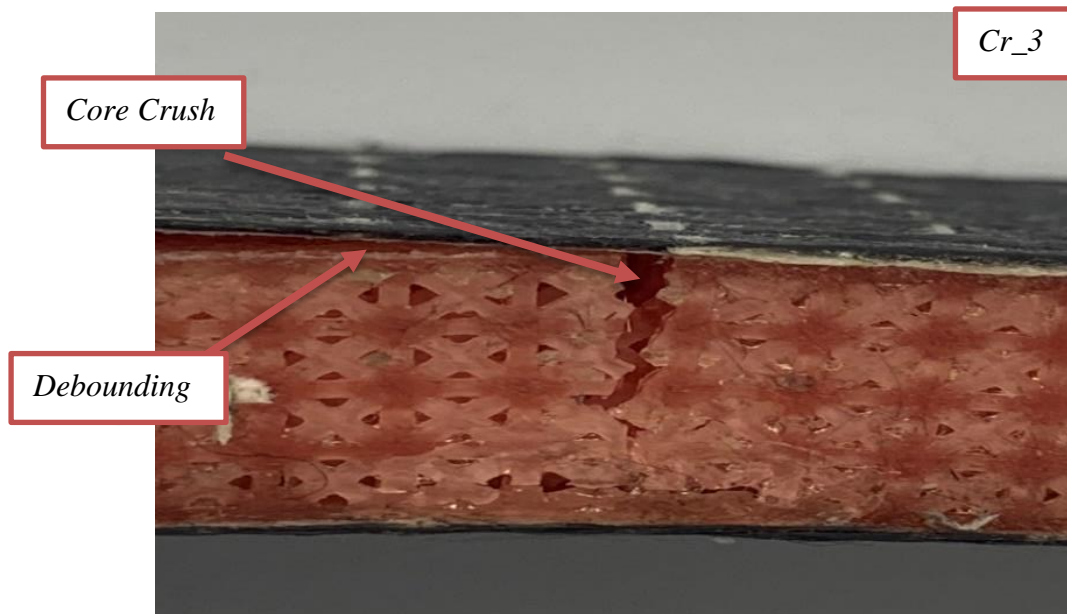
Gambar 4-13 Grafik Perbandingan Tegangan *Bending* Variasi *Skin Carbon Fiber*

Pada Gambar 4-14 menunjukkan analisis modus kegagalan *bending* pada spesimen komposit *sandwich*. Dapat dilihat bahwa spesimen Cr\_1 mengalami *core crush*. Hal ini disebabkan *skin carbon fiber* sebagai *reinforcement* menahan beban *bending* terlebih dahulu sebelum menyentuh struktur *core*. Setelah *skin carbon fiber* tidak mampu menahan beban *bending* maka beban *bending* akan disalurkan pada struktur *core* sehingga terjadinya *core crush*.



Gambar 4-14 Modus Kegagalan *Core Crush* pada Variasi *Skin Carbon Fiber*

Sedangkan pada spesimen Cr\_2 pada Gambar 4-15 terdapat *debonding* dan *core crush*. *Debonding* terjadi akibat *skin carbon fiber* terlepas pada saat proses pengujian *bending*. Terjadinya *Debonding* disebabkan pada saat proses pengujian *bending skin carbon fiber* tidak dapat menahan gaya tarik yang disebabkan oleh beban *bending*. Akibatnya *skin carbon fiber* terlepas dari struktur *core* menyebabkan beban *bending* langsung pada struktur *core*.



Gambar 4 - 15 Modus Kegagalan *Core Crush* dan *Debonding* pada Variasi *Skin Carbon Fiber*

#### 4.3.2 Pengaruh Variasi *Skin Carbon Fiber* Terhadap Nilai Kekakuan

Berikut data variabel terkait nilai kekakuan pada spesimen variasi *skin carbon fiber* dapat dilihat pada pada tabel 4-7.

Tabel 4- 8 Data Variabel Nilai Kekakuan Variasi *Skin Carbon Fiber*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	$\delta$ (mm)
Ncr 1	320,48	75	36,11	12,31	5,21
Ncr 2	288,71	75	36,27	12,83	5,4

Ncr 3	260,4	75	36,96	12,26	5,92
Cr 1	538,88	75	36,22	13,21	7,12
Cr 2	539,86	75	36,56	13,56	7,05
Cr 3	508,87	75	36,75	13,72	7,08

Sebelum menuntukan nilai kekakuan maka diperlukan modulus elastias pada setiap spesimen. Berikut hasil perhitungan modulus elastisitas variasi *skin carbon fiber* Cr1 dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui :  $b = 36,22 \text{ mm}$        $h = 13,21 \text{ mm}$        $\delta = 7,12 \text{ mm}$   
 $P = 538,88 \text{ N}$        $L = 75 \text{ mm}$

1. Modulus Elastisitas

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bh^3} \times \frac{P}{\delta}$$

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{(75)^3}{36,22 \times 13,21^3} \times \frac{538,88}{7,12}$$

$$Eb = 95,60 \text{ N/mm}^2$$

Setelah mendapatkan hasil modulus elastisitas pada spesimen, maka selanjutnya menentukan nilai kekakuan pada setiap spesimen. Berikut hasil perhitungan kekakuan variasi struktur *skin carbon fiber* Cr1, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui :  $Eb = 95,60 \text{ N/mm}^2$

$$b = 36,22 \text{ mm}$$

$$h = 13,21 \text{ mm}$$

2. Momen Inersia

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

$$I = \frac{1}{12} \times 36,22 \times (13,21)^3$$

$$I = 6957,86 \text{ mm}^4$$

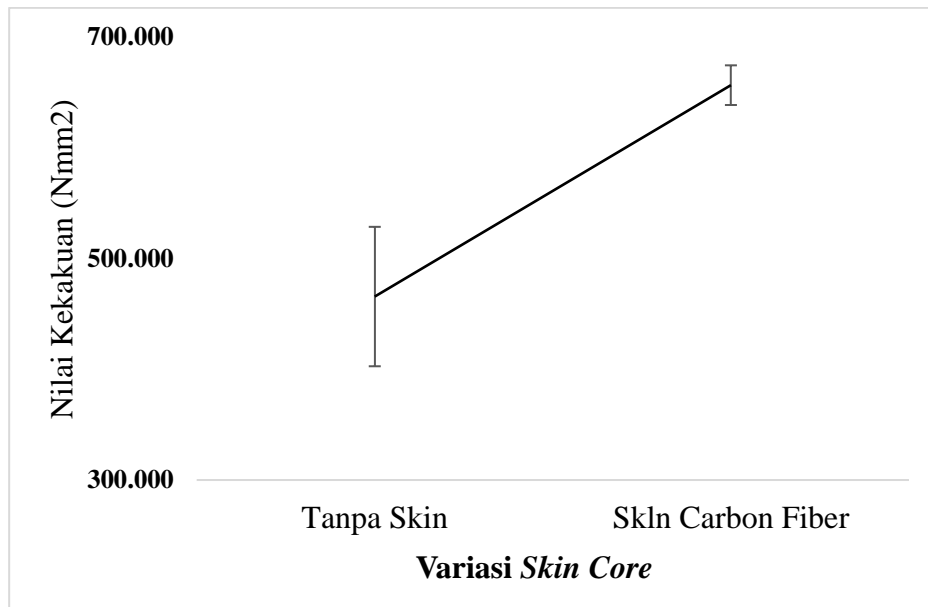
3. Kekakuan

$$D = Eb \times I$$

$$D = 95,60 \times 6957,86$$

$$D = 664.204 \text{ Nmm}^2$$

Pada Gambar 4-16 menunjukkan grafik nilai kekakuan variasi *Skin core*. Dengan *core* tanpa menggunakan *skin carbon fiber* nilai kekakuannya adalah 465.714 Nmm<sup>2</sup> sedangkan setelah dilakukan proses komposit sandwich menggunakan *skin carbon fiber* nilai kekakuan spesimen menjadi 656.647 Nmm<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *skin carbon fiber* dapat meningkatkan nilai kekakuan sebagai *reinforcement*.



Gambar 4-16 Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan Variasi *Skin Carbon Fiber*

### 4.3.3 Pengaruh Variasi *Skin Carbon Fiber* Terhadap Nilai Kekakuan Spesifik

Kekakuan spesifik adalah kekakuan dibagi dengan berat spesimen. Oleh karena itu kekakuan dapat dibagi dengan berat kekakuan pada spesimen variasi *skin carbon fiber* yang dapat dilihat pada pada tabel 4-9.

Tabel 4-9 Data Variable Kekakuan Spesifik  
Variasi *Skin Carbon Fiber*

Kode Spesimen	D (Nmm <sup>2</sup> )	m (gr)
Ncr 1	540.637	19,54
Ncr 2	469.906	18,70
Ncr 3	386.600	18,10
Cr 1	665.204	24,52
Cr 2	673.030	24,86
Cr 3	631.708	22,50

Berikut hasil perhitungan kekakuan spesifik spesimen variasi *skin carbon fiber* Cr 1, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui:  $D = 665.204 \text{ Nmm}^2$

$W = 14,82 \text{ gram}$

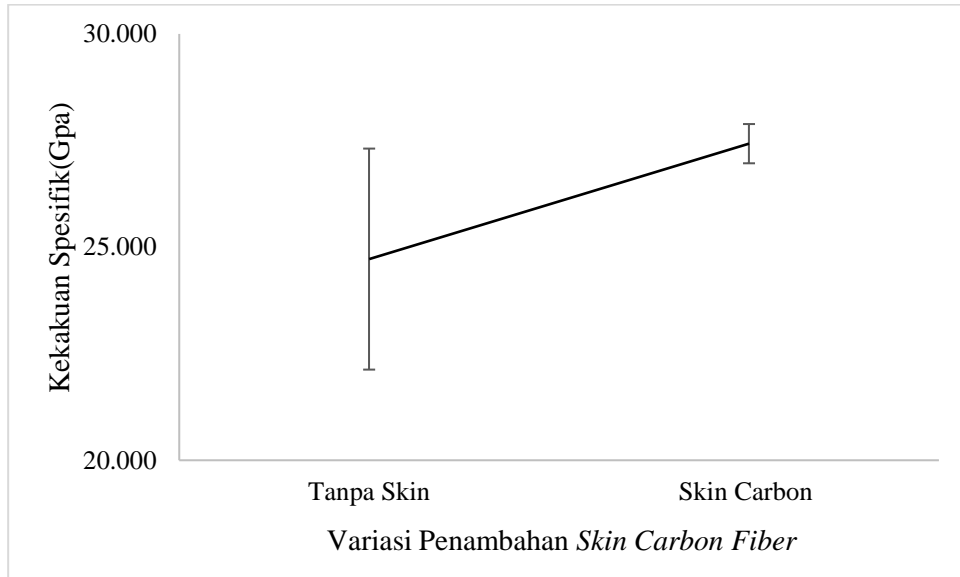
1. Kekakuan Spesifik

$$D \text{ spesifik} = \frac{D}{W}$$

$$D \text{ spesifik} = \frac{141.548}{24,52}$$

$$D \text{ spesifik} = 27.129 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$$

Pada Gambar 4-17 menunjukkan grafik nilai kekakuan spesifik variasi *Skin core*. Dengan *core* tanpa menggunakan *skin carbon fiber* nilai kekakuan spesifiknya adalah 24.178,56 Nmm<sup>2</sup>/gr, sedangkan setelah dilakukan proses komposit sandwich menggunakan *skin carbon fiber* nilai kekakuan spesimen menjadi 27.425,91 Nmm<sup>2</sup>/gr.



Gambar 4-17 Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan Variasi *Skin Carbon Fiber*

## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian ini yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Pengaruh variasi struktur *core* mempengaruhi nilai tegangan *bending*, nilai kekakuan dan kekakuan spesifik. Struktur *core lattice* memiliki nilai tertinggi pada nilai tegangan *bending* yaitu 4,28 Mpa dibandingkan dengan *pratt* 2,07 dan *warren* 2,55 Mpa. Struktur *core lattice* juga memiliki nilai tertinggi pada nilai kekakuan dengan nilai 221.109 Nmm<sup>2</sup> dibandingkan dengan tipe *pratt* 135.240 Nmm<sup>2</sup> dan *warren* 211.680 Nmm<sup>2</sup>. Kekakuan Spesifik tertinggi juga didapatkan oleh struktur *core lattice* dengan nilai 15.218 Nmm<sup>2</sup>/gr, tipe *pratt* dengan 9.765 Nmm<sup>2</sup>/gr dan *warren* 14.121 Nmm<sup>2</sup>/gr. Pengaruh variasi *core density* juga mempengaruhi nilai tegangan *bending*, nilai kekakuan dan kekakuan spesifik. *Core density* 60% memiliki nilai tegangan *bending* tertinggi yaitu 6,04 Mpa dibandingkan 30% yaitu 4,28 Mpa dan 15% dengan 1,91 Mpa. Untuk nilai kekakuan *core density* 60% memiliki nilai tertinggi dengan 465.714 Nmm<sup>2</sup> dibandingkan dengan 30% yaitu 221.119 Nmm<sup>2</sup> dan 15% dengan 156.801 Nmm<sup>2</sup> Kekakuan spesifik tertinggi didapatkan pada *density core* 60% dengan 24.719 Nmm<sup>2</sup>/gr dibandingkan 30% yaitu 20.548 Nmm<sup>2</sup>/gr dan 15% yaitu 15.128 Nmm<sup>2</sup>/gr.
2. Pengaruh penambahan *skin carbon fiber* mempengaruhi nilai tegangan *bending*, nilai kekakuan dan kekakuan spesifik. Dengan penambahan *skin* menambahkan nilai tegangan *bending* dari 6,04 Mpa menjadi 11,03 Mpa. Sedangkan nilai kekakuan meningkat juga dari 465.714 Nmm<sup>2</sup> menjadi 656.647 Nmm<sup>2</sup>/gr. Kekakuan spesifik juga mengalami penambahan dari 24.718 Nmm<sup>2</sup>/gr menjadi 27.425 Nmm<sup>2</sup>/gr

## **5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya**

1. Meneliti lebih dalam lagi terkait variasi struktur *core* dengan 3D *print SLA* selain tipe struktur *truss*.
2. Dilakukannya penelitian terkait suhu dan waktu *curing* spesimen agar mendapatkan nilai kekuatan *bending* yang lebih kuat.
3. Meneliti lebih dalam terkait variasi tipe resin yang digunakan pada 3D *print SLA*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Banowati, L., Firdaus, M., & Hartopo, H. (2022). Analisis pengaruh jumlah layer skin pada komposit sandwich carbon fiber core kayu balsa terhadap karakteristik kekuatan bending dan kekuatan impact. *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 7. <https://doi.org/10.28989/senatik.v7i0.464>
- CASTANIE, B., BOUVET, C., & Ginot, M. (2020). Review of composite sandwich structure in aeronautic applications. *Composites Part C: Open Access*, 1(June). <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100004>
- Hariyanto, A. (2017). Peningkatan Ketahanan Bending Komposit Hibrid Sandwich Serat Kenaf Dan Serat Gelas Bermatrik Polyester Dengan Core Kayu Sengon Lau. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.23917/mesin.v8i1.3094>
- Hidayat, S. (2020). *Aplikasi Perangkat Vacuum Infusion Untuk Pembuatan Komponen Berbahan Komposit*. 12–20.
- Izma Adriansyah, Y. (2021). Analisis Uji Bending Komposit Sandwich Yang Digabungkan 3D Printing Analisis Uji Bending Komposit Sandwich Yang Digabungkan 3D Printing. *Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*, 8–10.
- Moon, S. K., Tan, Y. E., Hwang, J., & Yoon, Y. J. (2014). Application of 3D printing technology for designing light-weight unmanned aerial vehicle wing structures. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, 1(3), 223–228. <https://doi.org/10.1007/s40684-014-0028-x>
- Mujika, F. (2006). On the difference between flexural moduli obtained by three-point and four-point bending tests. *Polymer Testing*, 25(2), 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2005.10.006>
- Prayoga, A., Eryawanto, B., & Hadi, Q. (2018). Pengaruh Ketebalan Skin Terhadap Kekuatan Bending dan Tarik Komposit Sandwich dengan Honeycomb Polypropylene sebagai Core. *Jurnal Teknik Mesin*, 18(1), 23–28.
- Santoso, A. N., & Sumaidi, S. (2021). Perbandingan Rangka Jembatan Tipe Warren Dan Tipe Pratt Pada Jembatan Brantas. *Jurnal Envirotek*, 13(2), 70–75. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v13i2.143>
- Steeves, C. A., Fleck, N. A., & Street, T. (2004). *Craig A. Steeves and Norman A. Fleck \* Cambridge University Engineering Department Trumpington Street, Cambridge, CB2 1PZ, U.K.*
- Sukiman, B., Junaidy, I., Karim, A., & Mukhlis, M. (2021). *Analisis Pengaruh*

*Internal Geometri Terhadap Properti Mekanik Material Dental Resin Menggunakan SLA 3D Printer Tipe Anycubic. 6, 34–38.*

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>

Widodo, B. (2008). Analisa Sifat Mekanik Komposit Epoksi dengan Penguat Serat Pohon Aren (Ijuk) Model Lamina Berorientasi Sudut Acak (Random). *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 1(1), 1–5.

NAYIROH, N. (2013). TEKNOLOGI MATERIAL KOMPOSIT. UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM: MALANG.

FIRMANSYAH, (2020). BENDING TEST : PENGERTIAN, JENIS, PROSEDUR DAN ACCEPTANCENYA. DETECH MATERIAL TESTING LABORATORY.

# LAMPIRAN 1

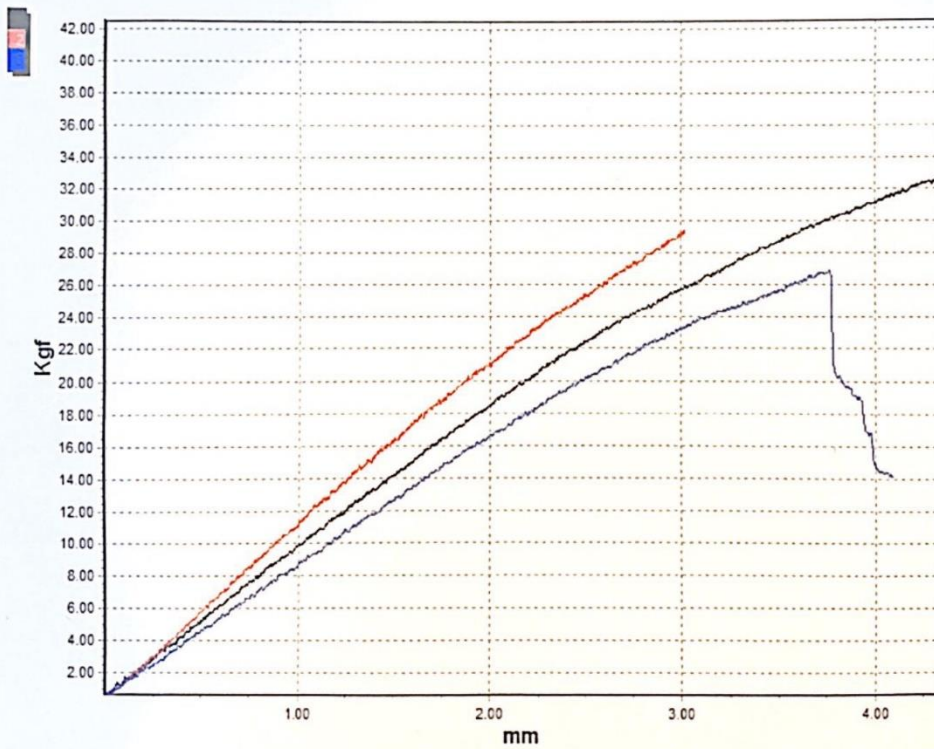
## HASIL PENGUJIAN SPESIMEN CORE DENSITY

Test Name: Wood-Based panels  
Speed: 10.00  
Area: 450.00 mm<sup>2</sup>

Test Date: 9/7/2022  
Material Name: LATTICE 4  
Customer: Good Company

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm <sup>2</sup> )
1	32.68	0.77
2	29.44	0.70
3	26.92	0.64

29.44



*[Handwritten Signature]*  
(Mardiana D.D.)

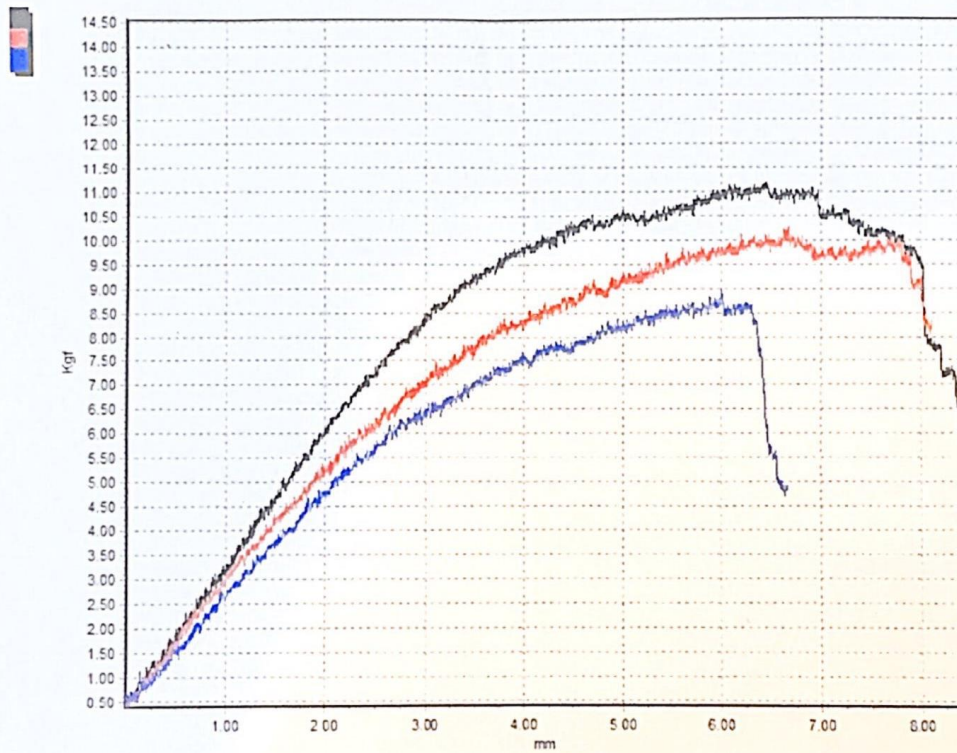
## LAMPIRAN 2


### HASIL PENGUJIAN SPESIMEN PRATT CORE

Test Name: Wood-Based panels  
Speed: 10.00  
Area: 450.00 mm<sup>2</sup>

Test Date: 9/12/2022  
Material Name: PRATT  
Customer: Good Company

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm <sup>2</sup> )
1	11.21	0.26
2	10.27	0.24
3	8.95	0.21



  
*Handwritten signature*  
M. Hafid D.N.

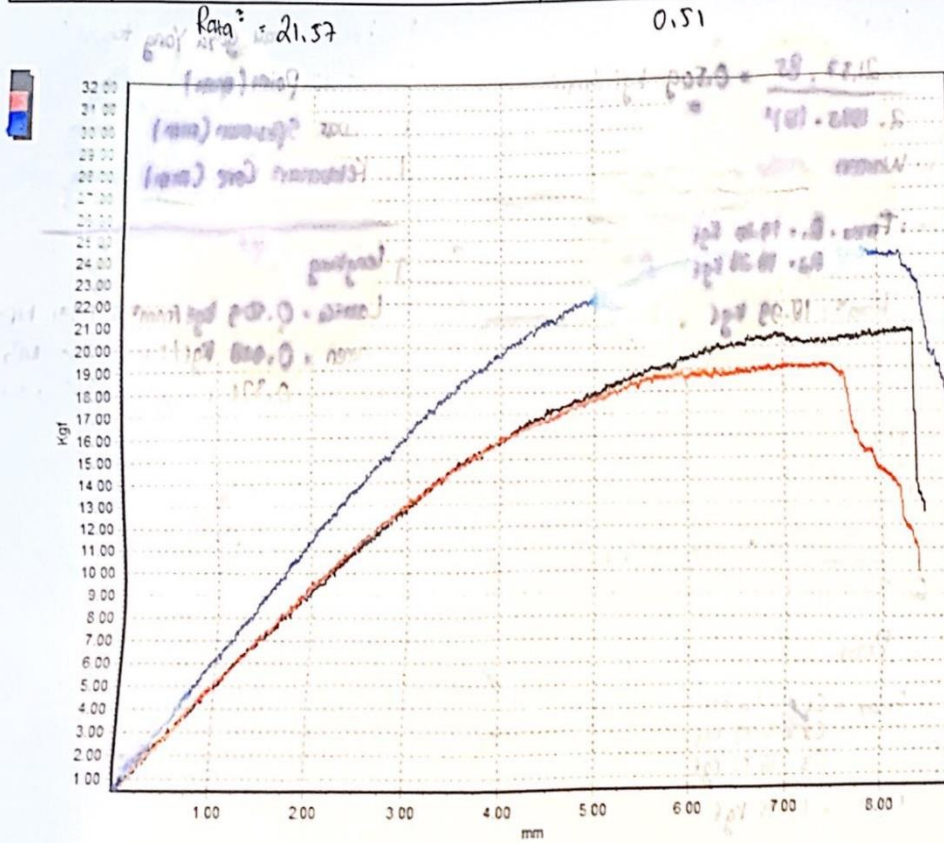
### LAMPIRAN 3

#### HASIL PENGUJIAN SPESIMEN LATTICE CORE

Test Name: Wood-Based panels  
 Speed: 10.00  
 Area: 450.00 mm<sup>2</sup>

Test Date: 7/1/2022  
 Material Name: LATTICE  
 Customer: Good Company

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm <sup>2</sup> )
1	20.72	0.49
2	19.22	0.45
3	24.78	0.59



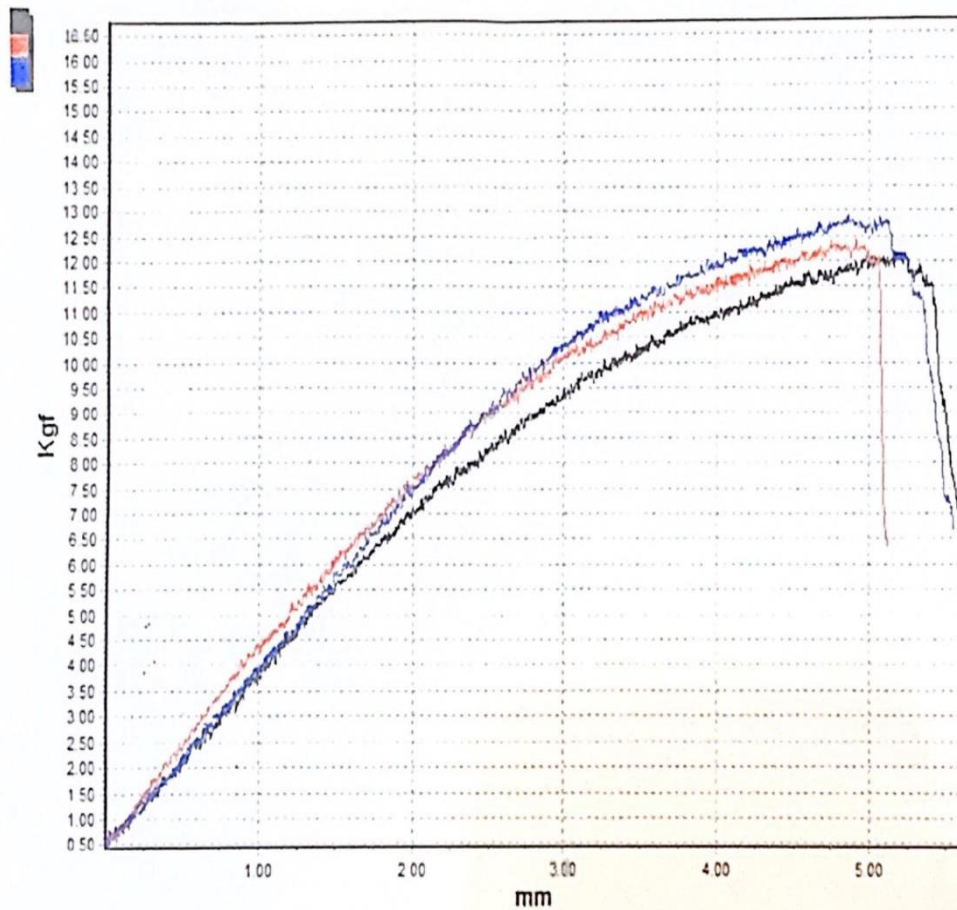
## LAMPIRAN 4


### HASIL PENGUJIAN SPESIMEN WARRENCORE

Test Name Wood-Based panels  
Speed 10.00  
Area 450.00 mm<sup>2</sup>

Test Date 9/12/2022  
Material Name WARREN  
Customer Good Company

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm <sup>2</sup> )
1	12.15	0.29
2	12.41	0.29
3	12.90	0.30



  
*Manfana DU*

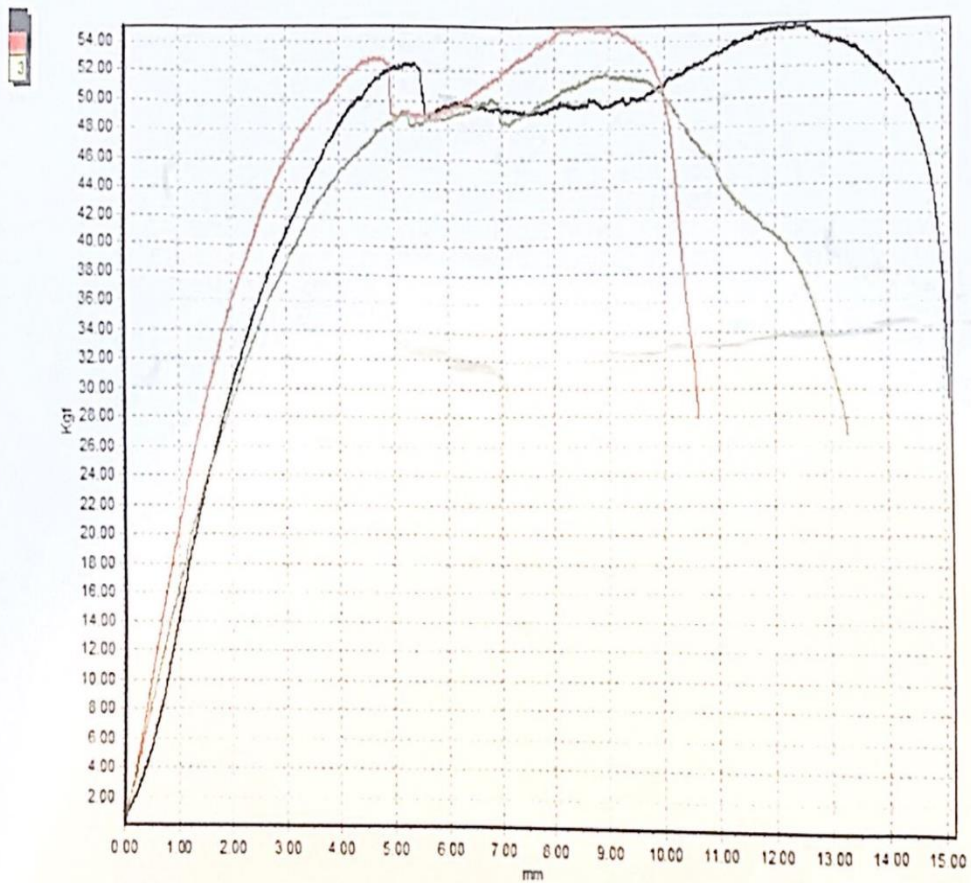
## LAMPIRAN 5

### HASIL PENGUJIAN SPESIMEN CARBON FIBER

Test Name: Wood-Based panels  
Speed: 10.00  
Area: 450.00 mm<sup>2</sup>

Test Date: 9/26/2022  
Material Name: CARBON F3  
Customer: Good Company

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm <sup>2</sup> )
1	54.98	1.30
2	55.05	1.30
3	51.89	1.23



*[Handwritten signature]*

## LAMPIRAN 6

### TABEL RATA – RATA HASIL PERHITUNGAN VARIASI STRUKTUR

#### CORE

Tabel Olah Data Rata – Rata Spesimen Variasi Struktur *Core*

Kategori	Tegangan Bending (MPa)	Kekakuan (Nmm <sup>2</sup> )	Kekakuan Spesifik ( Nmm <sup>2</sup> /gr)
<i>Warren Core</i>	2,55	211.680	14.121
<i>Pratt Core</i>	2,07	135.240	9.765
<i>Lattice Core</i>	4,28	221.109	15.218

Kode Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Massa (gram)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (Mpa)	D(Nmm <sup>2</sup> )	Dspesifik (Nmm <sup>2</sup> /gr)	Momen Inersia (mm <sup>4</sup> )
Wr1	98,03	36,87	12,19	14,82	5,21	2,48	200.512,09	13.530	5.565,48
Wr2	98,61	36,51	12,46	14,97	4,97	2,54	215.217,08	14.377	5.885,52
Wr3	98,90	36,45	12,47	15,17	5,07	2,64	219.310,51	14.457	5.890,00
Pr1	98,15	36,79	12,53	14,3	6,41	5,47	150.730,37	10.540,58	6.031,17
Pr2	99,21	36,25	12,47	13,98	6,63	5,43	133.506,26	9.549,80	5.857,69
Pr3	99,13	36,02	12,43	13,2	6,35	5,08	121.482,84	9.203,25	5.764,69
Lt1	99,42	36,92	12,29	14,57	8,16	8,99	233.965,71	16.058,04	5.711,31
Lt2	99,68	36,15	12,24	14,77	8,33	8,91	232.292,92	15.727,35	5.524,22
Lt3	99,56	36,89	12,26	14,21	7,96	10,80	197.069,33	13.868,36	5.664,99

**LAMPIRAN 7**  
**TABEL RATA RATA HASIL PERHITUNGAN**  
**VARIASI CORE DENSITY**

Tabel Olah Data Rata – Rata Spesimen Variasi *Density Core*

Kategori	Tegangan Bending (MPa)	Kekakuan (GPa)	Kekakuan Spesifik ( Nmm <sup>2</sup> /gr )
15%	1,91	156.801	15.218
30%	4,28	221.109	20.548
60%	6,04	465.714	24.719

Kode Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Massa (gram)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (Mpa)	D(Nmm <sup>2</sup> )	Dspesifik (Nmm <sup>2</sup> /gr)	Momen Inersia (mm <sup>4</sup> )
T2_1	98,18	36,77	12,68	7,89	6,57	2,20	141.548	16.058	5.711,31
T2_2	98,96	36,56	12,63	7,54	4,62	1,78	162.122	15.727	5.524,22
T2_3	98,85	36,53	12,58	7,51	4,43	1,75	166.734	13.868	5.664,99
T3_1	99,42	36,92	12,29	14,57	8,16	4,53	233,97	17.940	5.613,33
T3_2	99,68	36,15	12,24	14,77	8,33	4,59	232,29	21.502	6.383,32
T3_3	99,56	36,89	12,26	14,21	7,96	3,72	197,07	22.202	5.675,74
T4_1	98,47	36,11	12,31	19,54	5,21	6,68	540.637	27.668	6.246,98
T4_2	98,49	36,27	12,83	18,70	5,4	6,01	469.906	25.129	6.138,11
T4_3	98,31	36,96	12,26	18,10	5,92	5,43	386.600	21.359	6.060,53

## LAMPIRAN 8

### TABEL DATA VARIASI SKIN CARBON FIBER

Tabel Variasi Pemberian *Skin Carbon Fiber*

Kategori	Tegangan Bending (MPa)	Kekakuan (Nmm <sup>2</sup> )	Kekakuan Spesifik (Nmm <sup>2</sup> /gr r)
Tanpa <i>Skin</i>	6,04	465.714,19	24.718,66
<i>Skin Carbon</i>	11,03	656.647,19	27.425,91

Tabel Data Spesimen Variasi Pemberian *Skin Carbon Fiber*

Kode Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Massa (gram)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (Mpa)	D(GPa)	Dspesifik (GPa)	Momen Inersia (mm <sup>4</sup> )
Ncr_1	98,47	36,11	12,31	19,54	5,21	6,68	540.637	27.668	6.246,98
Ncr_2	98,49	36,27	12,83	18,70	5,4	6,01	469.906	25.129	6.138,11
Ncr_3	98,31	36,96	12,26	18,10	5,92	5,43	386.600	21.359	6.060,53
Cr_1	98,27	36,22	13,21	14,57	4,12	11,23	665.204	27.129	6.957,86
Cr_2	99,59	36,56	13,56	14,77	4,32	11,25	673.030	27.073	7.596,33
Cr_3	99,61	36,75	13,72	14,21	4,45	10,60	631.708	28.076	7.909,31