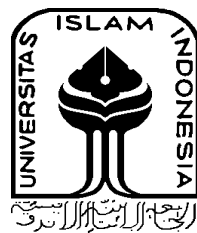


**Pengaruh Orientasi *Printing* (3D Print) Dan Jenis Material *Core*
Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Carbonfiber***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh:

**Nama : Achmad Satria Wira Kesuma Putra
No. Mahasiswa : 16525041
NIRM :**

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

2022

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya bertanda tangan dibawah ini, Achmad Satria Wira Kesuma Putra selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Orientasi *Printing* (3D Print) Dan Jenis Material *Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Carbonfiber*” menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri bukan hasil plagirisim dari karya tulis yang dibuat orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 6 Oktober 2022



Achmad Satria Wira KP
16525041

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

Pengaruh Orientasi Printing (3D Print) Dan Jenis Material Core Terhadap Kekakuan Bending Komposit *Sandwich Carbonfiber*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

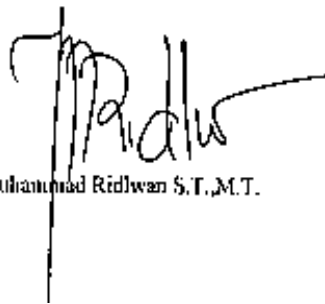
Nama : Achmad Satria Wira Kesuma Putra

No. Mahasiswa : 16525041

NIRM :

Yogyakarta, 17 November 2022

Penguji I



Muhammad Ridwan S.T.,M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Pengaruh Orientasi Printing (3D Print) Dan Jenis Material Core Terhadap Kekakuan Bending Komposit Sandwich Carbonfiber TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Achmad Satria Wira Kesuma Putra
No. Mahasiswa : 16525041
NIRM :

Tim Penguji

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

Ketua



Tanggal : 06/02/2023

Purtojo, S.T., M.T.

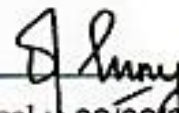
Penguji I



Tanggal : 06/02/2023

Finny Pratama Putra, S.T., M.Eng.

Penguji II



Tanggal : 02/02/2023

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

Orang tua saya,

Bapak Rumsyah S.H. dan Ibu Puji Astuti yang telah memberikan motivasi serta doa dengan tulus kepada saya untuk mengerjakan penulisan tugas akhir ini selesai.

Kakak saya Muhammad Reazanzimo Panji KP dan Ramantasia AKP serta adik saya Ozzama Zachry Aulia KP yang sudah memberikan nasehat dan doa terhadap penulisan tugas akhir ini selesai.

HALAMAN MOTTO

“Kegagalan Hanyalah Kesempatan Untuk Memulai Lagi. Kali Ini Lebih Cerdas”

Henry Ford

“Edison Gagal 10.000 Kali Sebelum Dia Membuat Lampu Listrik. Jangan Berkecil
Hati Jika Kamu Gagal Beberapa Kali”

Napoleon Hill

“Hidup Ini Sederhana, Tapi Kitalah Yang Membuat Rumit”

Confucius Qiu

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillah rabbil 'alamiin, puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat, hidayah dan inayah-Nya, penulis bisa menyelesaikan pembuatan Tugas Akhir dengan **Pengaruh Orientasi *Printing* (3D Print) Dan Jenis Material *Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Carbofiber***. Tugas Akhir ini disusun untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia. Tugas Akhir ini merupakan salah satu mata kuliah yang bertujuan untuk mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman ilmu yang telah didapat dalam bangku perkuliahan.

Selama pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis sudah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bantuannya baik langsung maupun tidaklangsung, khususnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman dan Islam kepada penulis dan Nabi paling mulia Muhammad SAW juga atas segenap keluarga, para sahabat serta para pengikutnya hingga akhir zaman.
2. Bapak Rumsyah. S.H., alm. Ibu Puji Astuti, kakak saya Panji dan Tasya, serta adik Ocam terima kasih untuk memberi semangat dan motivasi.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin
4. Bapak Muhammad Ridlwan.,S.T.,M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan waktu luangnya untuk membimbing penulis. Terimakasih atas saran, masukan dan nasihat yang membangun untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
5. Ibu Umi dan Bapak Sukirna selaku *Front Office* Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia yang telah banyak membantu.
6. Teman seperjuangan tugas akhir Amien Tri Hartanto, Aldo Susanto,

Reezcky Noer, David Yade, Abdi Haritz, dan Rio Ari Mahasiswa bimbingan Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. atas dukungan dan bantuan dalam mengerjakan proses tugas akhir saya.

7. Gufran Rahardi Mukhlis S.T. atas dukungan dan bantuan dalam mengerjakan proses tugas akhir saya.
8. Seluruh mahasiswa Teknik Mesin FTI UII dan untuk semua pihak yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu persatu oleh penulis.
9. Teman-teman TBTM, Kontrakan Penipu, dan RDM yang telah mendukung saya dalam mengerjakan tugas akhir ini.

Semoga amal kebaikan yang telah diberikanakan mendapat balasan dari Allah SWT.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penyusunan laporan berikutnya dan semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan untuk orang lain.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 6 Oktober 2022



Achmad Satria Wira KP
16525041

ABSTRACT

Composite is a material composed of two or more materials that have mechanical properties between different materials produced by a mixing process. Based on the structure, composites can be divided into two, namely the layer structure and the sandwich structure. In principle, sandwich composites are composites composed of 2 parts, namely the middle as the core and the top as the skin. In this study, carbon fiber (skin) was used, with Gyroid core and Hexagonal core made of Polylactid Acid (PLA) which were glued together using epoxy resin by vacuum infusion method. This study aims to compare the 0° and 90° molding processes and to make a composite sandwich combined with PLA material by the vacuum infusion method to compare the stiffness values of each specimen. The core is made using a 3D Print machine with PLA material with 20% infill and Hexagonal and Gyroid pattern fills. This study uses bending testing to determine the strength of each specimen tested. The bending test was carried out at the Engineering Materials Laboratory, Gadjah Mada University. Based on the bending test that has been carried out, it shows that the specimen with the highest stiffness value is the Gyroid core specimen with an angle of 0° with a value of 11.791,955 Nmm², and the highest bending stress value is 47.23 MPa in the Gyroid core sandwich composite specimen with an angle of 0°. The results of the comparison of stiffness in the Gyroid and Hexagonal specimens with an angle of 0° and 90° are higher than the core using a sandwich composite skin when compared to cores without sandwich composites and Gyroid core specimens with an angle of 0° The sandwich composite is higher with a result of 11,791 0.955 Nmm² compared to with 90° angle Gyroid core composite sandwich. As for the results of the Hexagonal core specimen sandwich composite with an angle of 90°, it is higher than Hexagonal with an angle of 0° sandwich composite.

Keywords: Sandwich Composite, CarbonFiber, Vacuum Infusion, PLA, angle 0°, angle 90°, Bending Testing.

ABSTRAK

Komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik antar material berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran. Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur lapisan dan struktur *sandwich*. Pada prinsipnya komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 2 bagian yaitu bagian tengah sebagai *core* dan dibagian bawah serta atas sebagai *skin*. Pada penelitian ini menggunakan *carbonfiber (skin)*, dengan *core gyroid* dan *core hexagonal* berbahan *Poly lactid Acid (PLA)* yang direkatkan menggunakan *epoxy resin* dengan metode *vacuum infusion*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan proses *printing* 0° dan 90° serta membuat komposit *sandwich* yang digabungkan dengan material PLA dengan metode *vacuum infusion* untuk mengetahui perbandingan nilai kekakuan masing-masing spesimen. *Core* dibuat menggunakan mesin 3D Print dengan bahan PLA dengan *infill* 20% dan fill pattern *hexagonal* dan *gyroid*. Penelitian ini menggunakan pengujian *bending* untuk mengetahui kekuatan pada masing-masing spesimen uji. Pengujian *bending* dilakukan di Laboraturim Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada. Berdasarkan pengujian *bending* yang telah dilakukan menunjukkan bahwa spesimen dengan nilai kekakuan tertinggi adalah spesimen *core gyroid* dengan sudut 0° dengan nilai sebesar 11.791.955 Nmm², dan nilai tegangan *bending* tertinggi 47,23 MPa pada spesimen komposit *sandwich core gyroid* dengan orientasi *printing* 0° . Hasil perbandingan kekakuan *bending* pada spesimen *gyroid* dan *hexagonal* dengan orientasi *printing* 0° dan 90° lebih tinggi hasil *core* yang menggunakan *skin* komposit *sandwich* jika dibandingkan dengan *core* tanpa komposit *sandwich* dan specimen *core gyroid* dengan orientasi *printing* 0° menggunakan komposit *sandwich* lebih tinggi nilai nya dengan hasil 11.791.955 Nmm² dibandingkan dengan *core gyroid* orientasi *printing* 90° komposit *sandwich*. Sedangkan untuk hasil spesimen *core hexagonal* komposit *sandwich* dengan sudut 90° lebih tinggi hasil nya dari *hexagonal* dengan orientasi 0° komposit *sandwich*.

Kata kunci: Komposit *sandwich*, *Carbon Fiber* , *Vacuum Infussion*, PLA, Orientasi *Printing* 0° dan 90° , Pengujian *Bending*.

DAFTAR ISI

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 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.....	6
2.2.1 Komposit	6
2.2.2 Komposit <i>Sandwich</i>	7
2.2.3 <i>3D Print Filament</i>	10
2.2.4 <i>Vacuum Infusion</i>	11
2.2.5 Pengujian <i>Bending</i>	12
2.2.6 Modus Kegagalan Komposit <i>Sandwich</i>	16
2.2.7 Standar ASTM C393.....	18
Bab 3 Metode Penelitian	20
3.1 Alur Penelitian	20
3.2 Peralatan dan Bahan	21
3.3 Dimensi Spesimen <i>Bending</i>	30
3.4 Susunan Lapisan Komposit <i>Sandwich</i>	32

3.5	Proses Pengerjaan.....	33
3.5.1	Pembuatan <i>Core</i> dengan Mesin 3D <i>Printing Filament</i>	33
3.5.2	Proses <i>Vacuum Infusion</i>	34
3.5.3	Hasil Setelah <i>Vacuum Infusion</i>	38
Bab 4	Hasil Dan pembahasan	39
4.1	Pengujian <i>Bending</i>	39
4.2	Hasil Pengujian <i>Bending</i>	40
4.3	Analisis dan Perhitungan.....	41
4.3.1	Analisis Modus Kegagalan <i>Core</i> Orientasi <i>Printing</i> 0°	42
4.3.2	Analisis Modus Kegagalan <i>Core</i> Orientasi <i>Printing</i> 90°	43
4.3.3	Analisis Modus Kegagalan <i>Core Gyroid</i> Tanpa <i>Skin</i>	44
4.3.4	Analisis Modus Kegagalan <i>Core Hexagonal</i> Tanpa <i>Skin</i>	44
4.4	Perhitungan	45
4.5	Pembahasan.....	47
4.5.1	Beban <i>Bending</i>	47
4.5.2	Tegangan <i>Bending</i>	48
4.5.3	Modulus Elastisitas	50
4.5.4	Kekakuan <i>Bending</i>	52
4.5.5	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik.....	54
4.5.6	Analisis Perbandingan Spesimen <i>Core Hexagonal</i> Dengan Orientasi <i>Printing</i> 0° Dan 90°.....	57
Bab 5	Penutup	59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya	60
	Daftar Pustaka	61
	Lampiran	64

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen Sebelum Dilakukan Proses <i>Vacuum Infusion</i>	32
Tabel 3. 2 Parameter Proses Pembuatan <i>Core</i>	34
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian <i>Bending</i>	40
Tabel 4.2 Perbandingan Spesimen Setelah Proses <i>Vacuum Infusion</i>	41
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dan Kekakuan <i>Bending</i> Spesimen	46
Tabel 4.4 Perbandingan Beban <i>Bending</i> Spesimen Dengan Komposit <i>Sandwich</i> Dan Tanpa Komposit	47
Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Beban <i>Bending</i> Antar Spesimen	47
Tabel 4.6 Perbandingan Tegangan <i>Bending</i> Spesimen dengan Komposit <i>Sandwich</i> Dan Tanpa Komposit	48
Tabel 4.7 Perbandingan Nilai Tegangan <i>Bending</i> Antar Spesimen.....	49
Tabel 4.8 Perbandingan Modulus Elastisitas Spesimen Dengan Komposit <i>Sandwich</i> Dan Tanpa Komposit.....	50
Tabel 4.9 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Antar Spesimen.....	50
Tabel 4. 10 Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> Spesimen Dengan Komposit <i>Sandwich</i> Dan Tanpa Komposit.....	52
Tabel 4.11 Perbandingan Nilai Kekakuan <i>Bending</i> Antar Spesimen	52
Tabel 4. 12 Perhitungan Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik Spesimen Dengan Komposit Dan Tanpa Komposit	54
Tabel 4.13 Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik Spesimen Dengan Komposit dan Tanpa Komposit	54
Tabel 4.14 Perbandingan Nilai Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik Antar Spesimen	55
Tabel 4.15 Perbandingan Berat Setelah Proses <i>Printing</i> antara <i>Core Hexagonal</i> Orientasi <i>Printing</i> 0° dan 90°	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Komposit <i>Sandwich</i>	7
Gambar 2.2 Struktur <i>Gyroid</i>	8
Gambar 2.3 Struktur <i>Honeycomb</i>	8
Gambar 2.4 Serat Karbon.....	9
Gambar 2.5 Mesin <i>3D print</i>	10
Gambar 2.6 Metode <i>Vacuum Infusion</i>	11
Gambar 2.7 <i>Universal Testing Machine</i>	12
Gambar 2.8 Proses <i>Three Point Bending</i>	12
Gambar 2.9 Rumus Luas Penampang <i>Core</i>	13
Gambar 2.10 Rumus Perhitungan Momen Inersia <i>Core</i>	13
Gambar 2.11 Rumus Perhitungan Luas Penampang Komposit <i>Sandwich</i>	14
Gambar 2.12 Rumus Perhitungan Momen Inersia Komposit <i>Sandwich</i>	14
Gambar 2.13 Jenis-jenis Kegagalan Pada <i>Skin Komposit Sandwich</i>	16
Gambar 2.14 Jenis-jenis Kegagalan Pada <i>Core Komposit Sandwich</i>	16
Gambar 2.15 Pengujian Standar ASTM C393 <i>Thrid Point Bending</i>	18
Gambar 2.16 Spesimen Standar ASTM C393	19
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Pompa Vakum	22
Gambar 3.3 Tabung <i>Reservoir (Catch Pot)</i>	22
Gambar 3.4 Timbangan.....	23
Gambar 3.5 <i>Vacuum Bagging Film</i>	23
Gambar 3.6 Kain <i>Strimmin</i>	24
Gambar 3.7 <i>Peel Ply</i>	24
Gambar 3.8 Selang	25
Gambar 3.9 Selang Spiral	25
Gambar 3.10 Butyl Tape	26
Gambar 3.11 Resin Epoksi dan <i>Hardener</i>	26
Gambar 3.12 <i>Polyactic Acid (PLA)</i>	27
Gambar 3.13 Serat <i>Carbonfiber</i>	27
Gambar 3.14 Isolasi Kertas	28

Gambar 3.15 Lem Dextone	28
Gambar 3.16 Gelas Plastik	29
Gambar 3.17 Stik kayu	29
Gambar 3.18 Katup Bensin	30
Gambar 3.19 Dimensi Spesimen Uji <i>Bending Core</i>	31
Gambar 3.20 Susunan Lapisan Komposit <i>Sandwich</i>	32
Gambar 3.21 Proses Pembuatan <i>Core</i> Sudut 0°	33
Gambar 3.22 Proses Pembuatan <i>Core</i> Sudut 90°	33
Gambar 3.23 Susunan Komposit <i>Sandwich</i>	34
Gambar 3.24 Pemasangan Selang Spiral	35
Gambar 3.25 Pelapisan Dextone	35
Gambar 3.26 Memasukan Semua Bahan Kedalam <i>Vacuum Bag</i>	36
Gambar 3.27 Proses Pencampuran	36
Gambar 3.28 Proses <i>Vacuum Infusion</i>	37
Gambar 3.29 Hasil <i>Core</i> PLA Setelah <i>Vacuum Infusion</i>	38
Gambar 4.1 Proses Pengujian <i>Three Point Bending</i>	39
Gambar 4.2 Hasil Pengujian <i>Bending</i>	40
Gambar 4.3 Spesimen Komposit <i>Sandwich</i> Orientasi <i>Printing</i> 0°	42
Gambar 4.4 Spesimen Komposit <i>Sandwich</i> Orientasi <i>Printing</i> 90°	43
Gambar 4.5 Spesimen <i>Core Gyroid</i> Tanpa <i>Skin</i>	44
Gambar 4.6 Spesimen <i>Core Hexagonal</i> Tanpa <i>Skin</i>	44
Gambar 4.7 Grafik Beban <i>Bending</i>	48
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Tegangan <i>Bending</i>	49
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas	51
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i>	53
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik	55
Gambar 4.12 <i>Core Hexagonal</i> Orientasi <i>Printing</i> 90°	57
Gambar 4.13 <i>Core Hexagonal</i> Orientasi <i>Printing</i> 0°	57

DAFTAR NOTASI

E_b	= Modulus elastisitas <i>bending</i> (N/mm ²)
L	= Jarak <i>point</i> (mm)
b	= Lebar benda uji (mm)
h	= Ketebalan benda uji (mm)
δ	= Defleksi (mm)
I	= Momen Inersia (kgm)
A	= Luas Penampang (m ²)
W	= Beban Akhir Rata-Rata (g)
P	= Beban yang diberikan (N)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi 3D *printing filament* cukup menjanjikan dalam kemampuan mendapatkan geometri produk secara pesat. Dibandingkan dengan proses manufaktur lainnya, akan tetapi untuk proses *printing* membutuhkan waktu yang sangat lama. Jadi 3D *printing* ini sangat cocok untuk digunakan membuat produk yang lebih sedikit, namun mampu membuat produk dengan kompleksitas geometri yang lebih tinggi. Teknologi ini menggunakan berbagai bahan polimer sebagai filamen, seperti *Polylactid Acid* (PLA), *Acrolonitrle Butadiene Styrene* (ABS), Nylon, *Polycarbonate* (PC), dan sebagainya. Saat ini terdapat 16 macam material filamen yang digunakan dalam proses *Fused Deposition Modeling* (FDM) sehingga dapat memberikan fleksibilitas dalam pemilihan material produk.

Namun saat ini peneliti banyak yang menggunakan material filament *Polylactid Acid* (PLA). PLA memiliki kekurangan dan kelebihan, dimana kelebihanannya harga material terbilang sangat terjangkau dan mudah didapatkan. Namun material PLA memiliki kelemahan yaitu pada daya tahan di suhu panas yang tinggi. Maka dari itu banyak peneliti yang meningkatkan sifat mekanik dengan menggunakan metode komposit *sandwich*.

Komposit *sandwich* adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material pembentuk yang memiliki sifat yang berbeda. Komposit *sandwich* memiliki banyak keunggulan seperti lebih ringan, kaku, dan ekonomis. Prinsip dari komposit *sandwich* adalah komposit yang tersusun dari 2 bagian yang dimana ada bagian tengah sebagai *core* dan bagian atas serta bawah sebagai *skin*.

Core adalah bagian tengah yang dapat memperkuat komposit sehingga sifat mekaniknya dapat lebih kaku, kuat, dan tangguh jika dibandingkan dengan tidak menggunakan *core*. Pada umumnya peneliti banyak yang menggunakan *core* dengan struktur *gyroid* dan *hexagonal* yang dimana struktur *gyroid* adalah struktur yang terinspirasi dari alam yaitu struktur pada tulang belakang burung dan sayap kupu – kupu yang memiliki keunggulan pada rasio kekakuan dengan

berat yang sangat baik. Struktur *hexagonal* atau *honeycomb* adalah struktur yang terinspirasi oleh struktur dari sarang lebah. Struktur ini juga mempunyai keunggulan seperti memiliki ketahanan kompresi dan gaya geser yang lebih besar. Perbandingan penggabungan antara kekuatan serat karbon yang digunakan sebagai *skin* dengan kekakuan 2 struktur yaitu struktur *gyroid* dan struktur *hexagonal* pada bagian *core*, dengan menggunakan orientasi *printing* sudut 0° dan 90° diharapkan dapat menghasilkan nilai dengan sifat mekanik yang terbaik.

Vacuum infusion adalah salah satu metode pengerjaan komposit dengan memanfaatkan dari mesin vakum udara melalui selang yang di pasang ke dalam plastic bag yang direkatkan dengan sealent tape untuk memvakum udara keluar didalam plastic tersebut, dan nantinya aliran dari campuran resin epoxy dan hardener dapat mengalir masuk dan mengisi cetakan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh dari proses *printing* dengan orientasi *printing* 0° dan 90° terhadap kekakuan *bending*?
2. Bagaimana analisis kegagalan yang terjadi pada spesimen setelah pengujian *bending*?
3. Bagaimana cara menentukan nilai kekakuan spesifik dari penggabungan material *PLA* dengan *core gyroid* orientasi *printing* 0° dan orientasi *printing* 90° menggunakan komposit *sandwich*, serta *core hexagonal* orientasi *printing* 0° dan orientasi *printing* 90° menggunakan komposit *sandwich*.

1.3 Batasan Masalah

1. Pembuatan spesimen menggunakan mesin *3D Print filament* dengan *infill* 20% dan *fill patern Gyroid* dan *Hexagonal*.
2. Proses *Vacuum infusion* hanya menggunakan peralatan yang berada di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin UII.
3. Tebal *core gyroid* dan *hexagonal* yang digunakan yaitu 10 mm dan 1 lapis *skin Carbonfiber*.
4. Proses pembuatan *core* hanya sampai kederajatan sudut 0° dan 90° .

5. Spesimen yang di uji menggunakan standar ASTM C393.
6. Penelitian ini hanya sampai pembuatan spesimen uji dan melakukan pengujian *bending* saja.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur pengaruh orientasi proses *printing* dengan material *Polylactid Acid* (PLA) untuk membandingkan kekuatan antara *core gyroid* dan *hexagonal (honeycomb)*, dengan variasi orientasi *printing core* (0° dan 90°), serta memakai *skin (Carbonfiber)* dan tidak memakai *skin* dengan menggunakan metode *vacuum infusion* untuk mengetahui nilai beban *bending*, tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending spesifik* pada tiap spesimen pengujian *bending*.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat yang didapatkan setelah melakukan nya penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan kombinasi terbaik dari pengaruh orientasi *printing* material *core* komposit *sandwich* terhadap kekakuan *bending*.
2. Memperkirakan nilai kekakuan penambahan *skin* carbonfiber terhadap kekakuan pada produk dua sisi *sandwich*.
3. Mengetahui nilai kekakuan *bending* yang signifikan dengan orientasi *printing*.
4. Dapat diterapkan pada produk yang proses *printing* nya menggunakan orientasi *printing*.
5. Lebih hemat bahan dan biaya produksinya ketimbang material lain.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada bagian ini dituliskan urutan dan sistematika penulisan yang dilakukan. Berikan ringkasan mengenai isi masing-masing bab. Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri dari lima bab, yaitu :

1. BAB 1. Pendahuluan, yang berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan

2. Bab 2. Kajian pustaka dan teori-teori yang akan dipakai pada penggunaan metode ini.
3. Bab 3. Metodologi penelitian, berisikan alur penelitian, alat dan bahan, dan proses pengerjaan yang digunakan untuk proses pembuatan spesimen dan proses melakukan nya *vacuum infusion* pada spesimen.
4. Bab 4. Hasil dan Pembahasan, berisikan analisis data dan hasil pengujian *bending* dan penampilan grafik dan tabel.
5. Bab 5. Kesimpulan dan saran, berisikan kesimpulan dari hasil pembuatandan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Kajian Pustaka yang pertama digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini berjudul “Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3D *Printing* Bahan Polyactid Acid (PLA) Dan *Acrolonitrle Butadiene Styrene* (ABS) Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk” oleh (Sabro L et al., 2016) yang meneliti tentang pengaruh posisi objek dalam pembuatan prototipe cepat (*rapid prototyping*) dengan menggunakan 3D *printing* untuk bahan polymer PLA dan ABS terhadap kekuatan tarik maupun ketelitian dimensi yang dihasilkan. Untuk mencapai objektif penelitian ini dilakukan percobaan dengan membuat *prototype* spesimen uji tarik berdasarkan ASTM dengan menggunakan 3D printer. Produk yang dihasilkan dilakukan pengukuran dimensi untuk melihat akurasi peroduk melalui perubahan dua posisi variasi orientasi objek yakni secara vertikal dan horizontal. Dari eksperimen yang dilakukan diketahui bahwa posisi orientasi dan besar layer pada proses *printing* memberi efek terhadap kualitas permukaan, efisiensi waktu dan kekuatan dari benda. Produk material PLA dengan orientasi posisi objek horizontal memiliki kualitas dimensi yang paling baik. Jumlah kesalahan akurasi material ini tidak melebihi 1 mm pada setiap layer. Material ABS dengan posisi orientasi objek vertikal dan tebal layer sebesar 0,10 mm menghasilkan kekuatan tegangan tarik yang terkecil sebesar 8,62 MPa dan material PLA dengan orientasi posisi objek horizontal dengan dan tebal layer sebesar 0,40 mm menghasilkan kekuatan tegangan tarik terbesar 35,57 MPa.

Kajian Pustaka yang kedua untuk digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini berjudul “Analisi Perilaku Sampel 3D Yang Dicitak oleh FFF/FDM Teknologi Dibawah Tekanan *Bending* Dengan Fokus Pada *Infill*” oleh (Juraka D, 2021) dalam penelitian ini menggunakan perbandingan *infill* rectilinear pattern, *gyroid* pattern, dan *honeycomb* pattern. Setelah pengujian *bending* dilakukan terdapat tegangan *bending infill* honey comb yang paling tinggi dari pada *infill gyroid* saat di cetak miring.

Kajian Pustaka yang ketiga untuk digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini berjudul “Analisis Uji *Bending* Komposit *Sandwich* Yang Digabungkan 3D *Printing*” oleh (Adriansyah, 2021) dalam penelitian ini membahas tentang pengujian *bending* pada komposit *sandwich* dengan metode *hand layup* dengan *infill core* 10% dan *infill* 20%. Mendapatkan hasil terbaik ialah *infill* 20 %

Kajian pustaka yang keempat untuk digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini berjudul “Kaji Eksperimental Sifat Mekanik *Honeycomb* Komposit *Sandwich* Serat Karbon Dengan Uji *Bending*” oleh (Marsono et al., 2021) dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui panel *sandwich honeycomb* dibuat dari komposit serat karbon, serta melakukan pengujian *bending* untuk menentukan kekuatan lentur dan kekakuan lentur. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa kekuatan lentur dan kekakuan dari spesimen 2 lapis serat karbon dengan resin epoksi yang di panas kan menghasilkan nilai tertinggi.

Kajian pustaka yang kelima untuk digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini berjudul “Studi Sifat Mekanik Komposit *Sandwich Divincell Foam* Dengan Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion (VAR)* Untuk *Float* Pesawat Amfibi” oleh (Nurul Lailatul et al., 2021) dalam penelitian ini untuk mengetahui tentang sifat mekanik dari komposit *sandwich* dengan jumlah *layer* ke *core* yaitu 4 atas: 1 tengah (*core*): 2 bawah *layer*. Dalam hasil didapatkan pada spesimen yang telah dilakukan proses *vaccum assisted resin infusion* untuk nilai tertinggi *flatwise compressive ultimate strenght* didapatkan spesimen yang menggunakan proses *post curing* ketimbang tidak menggunakan proses *curing*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

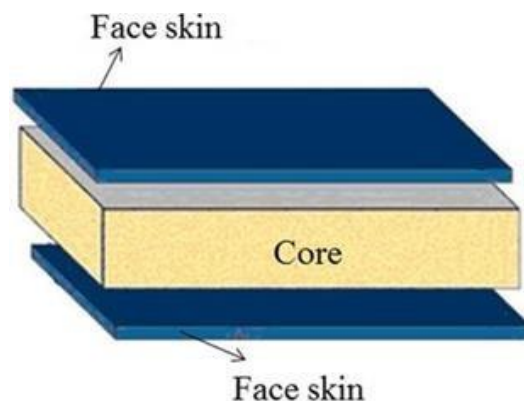
Komposit merupakan metode penggabungan antara dua material atau lebih untuk menghasilkan produk yang lebih bernilai dan berkualitas. Biasanya pencampuran material komposit yaitu antara pengisi dan matrik yang terdiri dari berbagai macam kombinasi. Bagian pengisi terdiri dari berbagai macam serat atau partikel kecil. Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka

komposit antar material harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent* (Yani et al., 2019).

Kelebihan komposit khususnya dalam penelitian ini yaitu kemampuan material yang dapat dibentuk sesuai dengan keinginan. Kelebihan lainnya yaitu material yang kuat ringan, dan tahan korosi sehingga material komposit cocok digunakan untuk penelitian ini. Selain kelebihan terdapat kekurangan dari komposit yaitu kurang elastis pada saat proses pencampuran matrik selesai dilakukan dan bersifat getas (Wardani, 2015).

2.2.2 Komposit *Sandwich*

Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua bagian struktur yaitu bagian struktur lapisan dan bagian struktur *sandwich*. Pada prinsip tersebut komposit *sandwich* adalah komposit yang tersusun oleh 2 bagian yaitu bagian tengah atau disebut juga dengan *core* dan bagian atas dan bawah sebagai lapisan *skin*. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang lebih ringan akan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi (Hidayat et al.2016).



Gambar 2.1 Struktur Komposit *Sandwich*

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

Skin merupakan struktur *sandwich* yang berfungsi sbagai pelapis *core* pada saat melakukan komposit *sandwich*. Untuk melakukan metode ini *skin* harus direkatkan secara rapat ke *core* dengan menggunakan resin *epoxy* dan hardener untuk perekat nya.

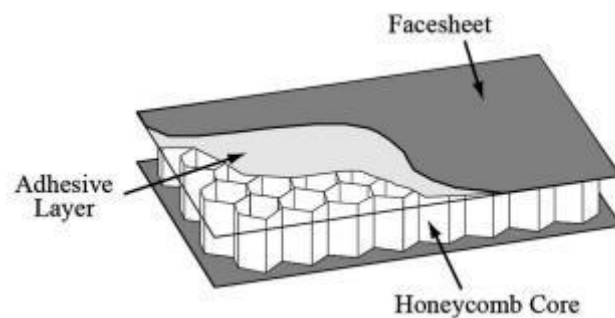
2.2.2.1 Core

Core merupakan bagian penting dari komposit *sandwich* yang dimana bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Dengan kekakuannya *core* diharapkan mampu menahan geseran agar tidak terjadi slide antar permukaan. Material dengan kekakuan yang rendah tidak cocok untuk dijadikan sebagai *core*, karena akan mengurangi kekuatan pada lapisan *sandwich* nya akan berkurang.



Gambar 2.2 Struktur *Gyroid*

Berbagai jenis bentuk *core* telah banyak diterapkan pada struktur *sandwich*. Untuk bentuk *core* yang paling banyak digunakan pada struktur *sandwich* yaitu struktur *gyroid* dan struktur *hexagonal*. Dimana struktur *gyroid* adalah struktur yang terinspirasi dari alam yaitu struktur pada tulang belakang burung dan sayap kupu – kupu yang memiliki keunggulan pada rasio kekakuan dengan berat yang sangat baik.



Gambar 2.3 Struktur *Honeycomb*

Untuk struktur *hexagonal (honeycomb)* adalah struktur yang terinspirasi oleh struktur dari sarang lebah. Struktur ini juga mempunyai keunggulan seperti memiliki ketahanan kompresi dan gaya geser yang lebih besar.

2.2.2.2 Skin

Skin merupakan bagian dari struktur komposit *sandwich* yang dimana *skin* terletak pada bagian luar dari komposit *sandwich*. *Skin* pada umumnya yang melapis pada bagian *core*. *Skin* berfungsi untuk menahan tensile dan compressive stress.

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



Gambar 2.4 Serat Karbon

2.2.2.3 Matrik

Matrik merupakan salah satu bahan komposit yang terbesar yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Harapan dari matrik sebagai bahan utama yaitu dapat meningkatkan *reinforcement* dengan baik. Matrik pada umumnya berbahan sintesis. Bahan komposit yang biasa digunakan untuk proses komposit polimer berpenguat serat dikelompokkan menjadi dua diantaranya:

1. *Thermoset*

Polimer yang tidak dapat mengikuti perubahan suhu merupakan *Thermoset*. Apabila terjadi proses pengerasan pada polimer maka polimer

tersebut tidak dapat dilunakkan kembali. Proses yang dapat menyebabkan kerusakan pada polimer biasanya dapat membentuk arang dan terurai apabila dipanaskan dengan suhu tinggi. Contoh dari polimer *thermoset* adalah resin *epoxy* dan *polyester*.

2. *Thermoplastic*

Pada umumnya *thermoplastic* merupakan bahan yang digunakan untuk penguat plastik. Plastik jenis ini memiliki kestabilan struktur kimia yang relatif rendah karena memiliki ikatan linear dengan monomer – monomer penyusunnya. *Thermoplastic* dapat mengikuti perubahan suhu dan minim mengalami kerusakan. Contoh dari *thermoplastic* yaitu resin polyethylene (PE), resin *polystyrene* (PS), dan resin *polypropylene* (PP).

2.2.3 *3D Print Filament*

3D Printing filament atau biasa juga dikenal dengan *additive layer manufacturing* adalah proses membuat objek pada tiga dimensi atau berbagai bentuk apapun dari mode digital. *3D Printer* bisa mencetak, modelling, purawarupa/pemodelan, alat-alat peraga untuk pendidikan, model perhiasan, alat-alat penunjang kesehatan, desain produk, mainan anak-anak, dan berbagai kebutuhan untuk mencetak bentuk dalam tiga dimensi sehingga teknologi ini menjadi salah satu kemajuan teknologi informasi dan komunikasi masa kini. Hal ini dapat dilihat dari kebutuhan manusia yang semakin lama semakin maju (Putra & Sari, 2018).

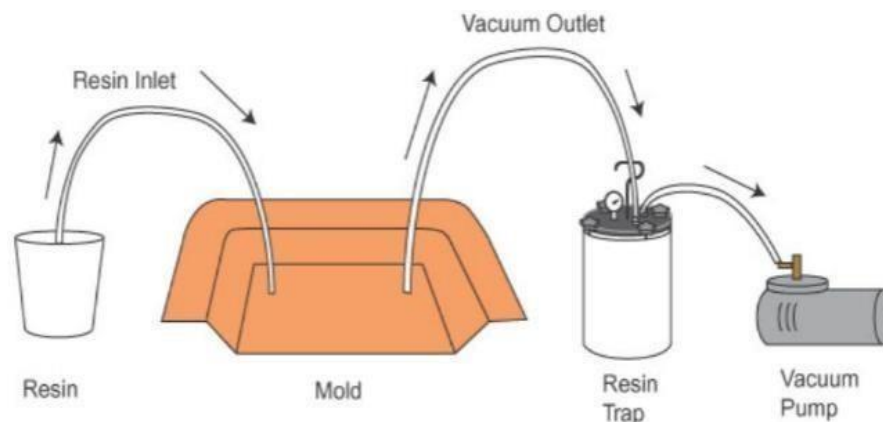


Gambar 2.5 Mesin *3D print*

2.2.4 Vacuum Infusion

Vacuum Infusion merupakan salah satu metode pengerjaan komposit dengan memanfaatkan kevakuman udara dengan memanfaatkan *plastic bag* yang direkatkan dengan *sealant tape* untuk mengurung udara dan mencetak komposit yang dibantu dengan resin dan katalis. *Vacuum Infusion* merupakan salah satu metode pembuatan komposit modern dan mempunyai kekuatan yang lebih baik dibanding metode hand lay up (Schuster et al., 2015).

Metode *vacuum infusion* dilakukan dengan merekatkan *plastic bag*, pipa, selang spiral dan produk dengan *sealant tape* dan dihisap menggunakan pompa vakum hingga udara dalam *plastic bag* tersedot dan membentuk sesuai bentuk yang diinginkan kemudian memasukkan resin kedalam cetakan dengan bantuan pompa vakum. Proses distribusi resin dengan menggunakan metode *vacuum infusion* dapat meminimalisir *void* sehingga dapat dialirkan secara merata dan meningkatkan sifat mekanik dari komposit itu sendiri. Dalam pengerjaan metode *vacuum*



Gambar 2.6 Metode *Vacuum Infusion*

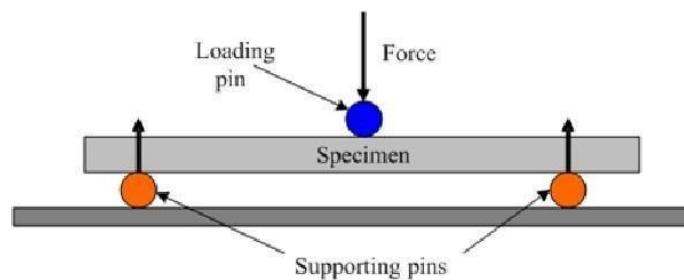
Dapat dilihat pada Gambar 2. 6 terdapat panah yang menunjukkan skema aliran resin pada saat di infus oleh mesin *vacuum pump*. Tekanan yang terdapat dalam *vacuum pump* lebih rendah dibanding tekanan diluar atau tekanan atmosfer. Proses tersebut yang membuat komposit lebih mudah dibentuk sesuai yang diinginkan.

2.2.5 Pengujian *Bending*

Uji lengkung (*bending test*) 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. Pengujian *bending* memiliki 2 macam pengujian yaitu *three point bending* dan *four point bending* (Beliu et al, 2016).



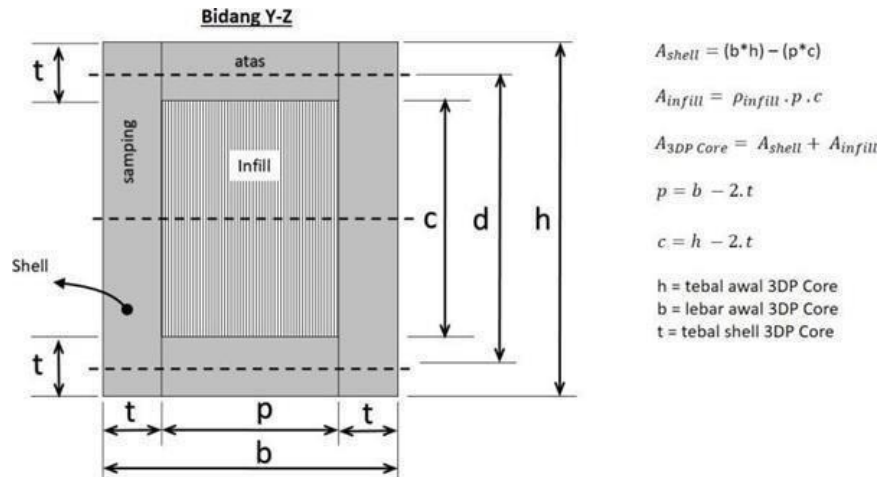
Gambar 2.7 *Universal Testing Machine*



Gambar 2.8 Proses *Three Point Bending*

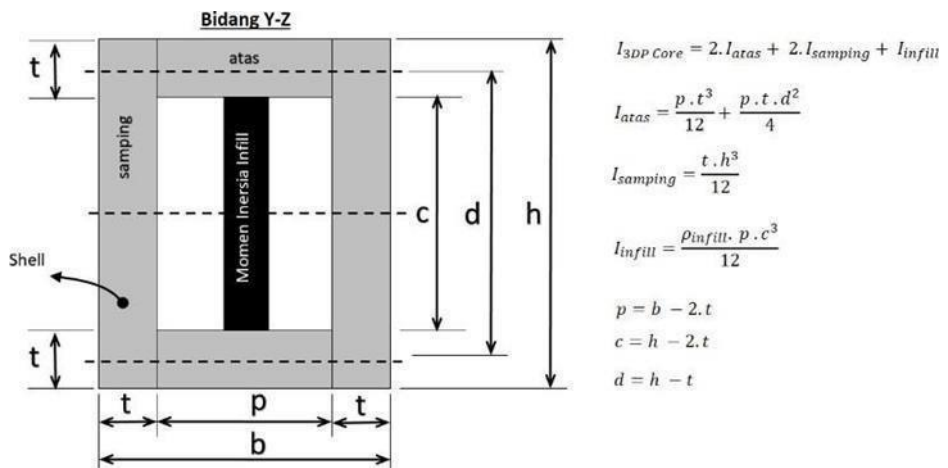
Perhitungan pada komposit *sandwich* berbeda dengan perhitungan spesimen pejal. Hal ini dikarenakan pada bagian dalam *core* komposit *sandwich* tidak berbentuk pejal melainkan *infill* berbentuk *gyroid* dan *infill* berbentuk *hexagonal (honeycomb)*. Perhitungan untuk luas penampang dan momen inersia komposit *sandwich* dapat dilihat pada gambar dibawah ini

1. Luas Penampang spesimen *3D printing*



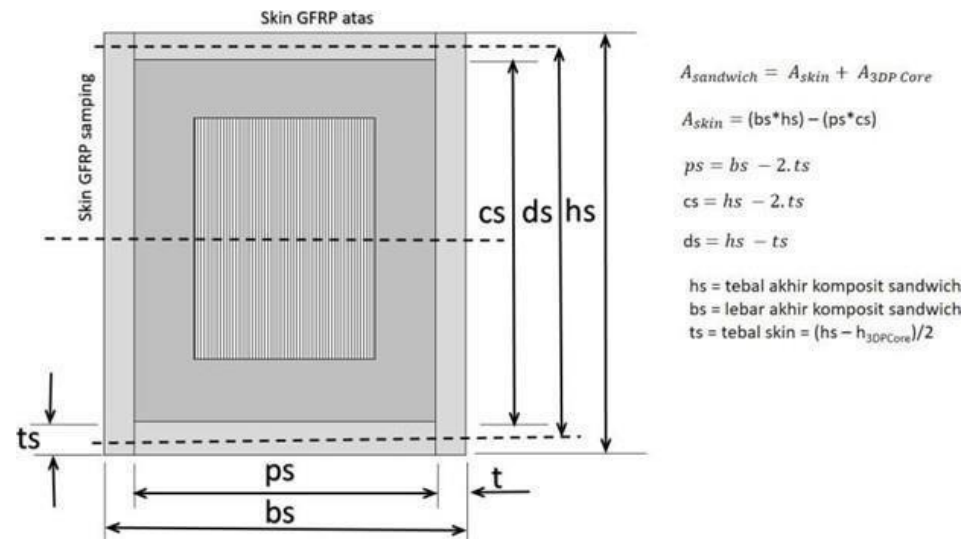
Gambar 2.9 Rumus Luas Penampang Core

2. Momen Inersia *3D printing*



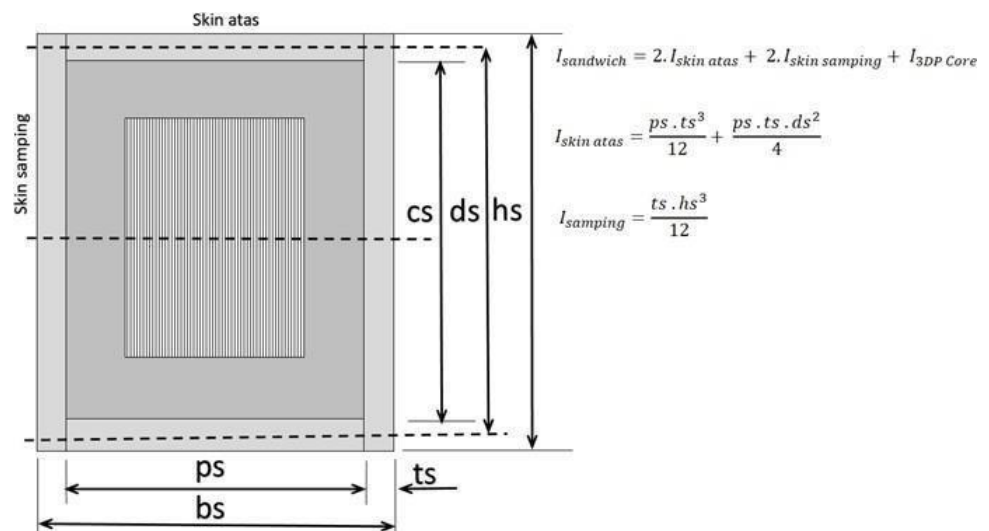
Gambar 2.10 Rumus Perhitungan Momen Inersia Core

3. Luas Penampang spesimen Sandwich



Gambar 2.11 Rumus Perhitungan Luas Penampang Komposit Sandwich

4. Momen Inersia Sandwich



Gambar 2.12 Rumus Perhitungan Momen Inersia Komposit Sandwich

Rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan *bending* sebagai berikut:

1. Besar Tegangan Maksimal

$$\sigma = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

2. Persamaan Defleksi Maksimal

$$\delta = \frac{p \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_{sandwich}}$$

3. Modulus Elastisitas

$$E_B = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \delta \cdot I_{sandwich}}$$

4. Kekakuan *Bending*

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

5. Kekakuan *Bending* Spesifik

$$D/w$$

Keterangan rumus:

E_B = Modulus elastisitas *bending* (N/mm²)

P = Beban yang diberikan (N)

L = jarak point (mm)

b = lebar benda uji (mm)

h = ketebalan benda uji (mm)

δ = Defleksi (mm)

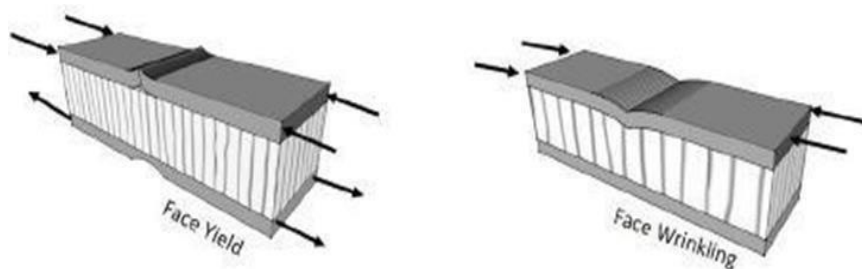
I = Momen Inersia (kgm)

A = Luas Penampang (m²)

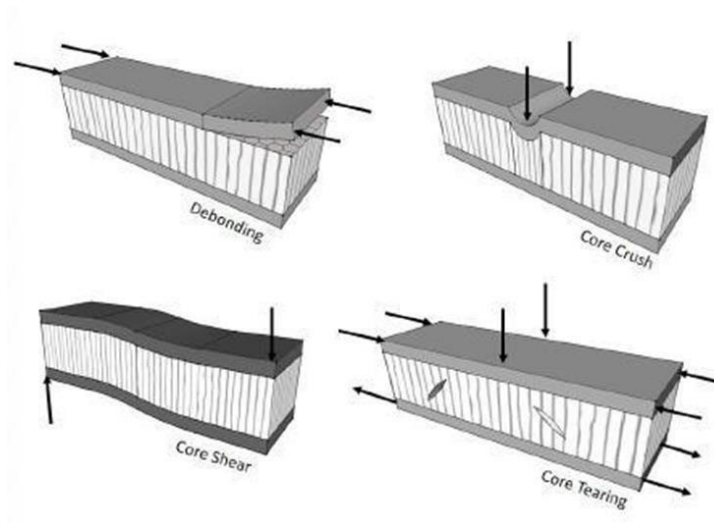
W = Beban Akhir Rata-Rata (g)

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



Gambar 2.13 Jenis-jenis Kegagalan Pada *Skin* Komposit *Sandwich*



Gambar 2.14 Jenis-jenis Kegagalan Pada *Core* Komposit *Sandwich*

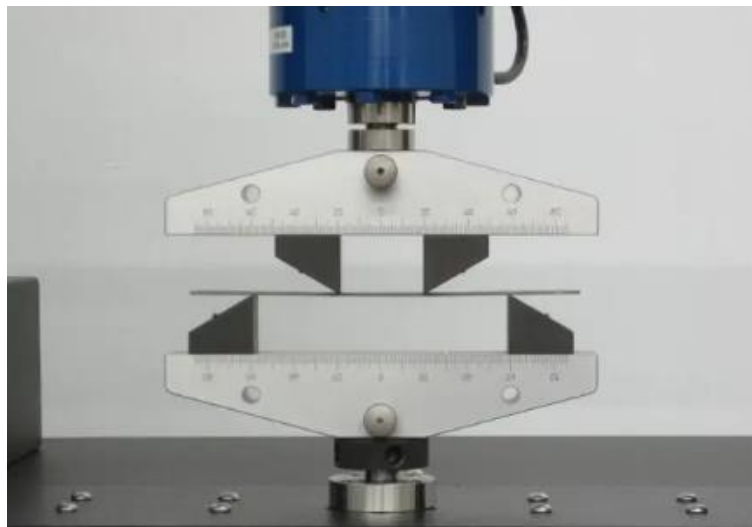
Pada kegagalan *skin* komposit *sandwich* yang pertama yaitu *face yield* dimana bisa terjadi ketika tegangan normal melebihi tegangan luluh material *skin*. Jika material *skin* bersifat getas, maka kegagalan *face yield* kemungkinan terjadi pada *skin* bagian atas karena lebih kritis terhadap tegangan tekan. Kemudian kegagalan *face wrinkling* yaitu fenomena *buckling* yang terjadi pada

bagian *skin* atas akibat tegangan tekan dan kurangnya *support* dari *core* karena dimensi struktur *core* yang terlalu besar (densitas rendah).

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

2.2.7 Standar ASTM C393

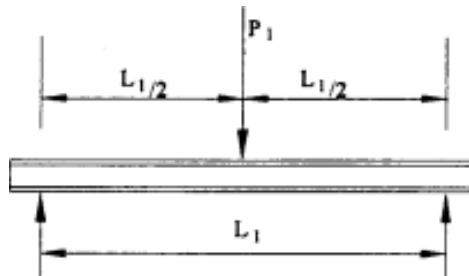
Standar ini merupakan metode pengujian yang dirancang untuk menentukan sifat geser inti dari konstruksi sandwich. Sifat geser ditentukan melalui uji tikungan dalam kondisi pembebanan 3 atau 4 titik. Standar pengujian ini memerlukan perlengkapan tikungan artikulasi yang sangat unik dengan bantalan tekanan untuk membantu memberikan hasil geser inti yang paling akurat dan konsisten, bahkan dengan proses pembuatan konstruksi sandwich yang terkadang sulit dikendalikan.



Gambar 2.15 Pengujian Standar ASTM C393 Third Point

Uji lentur pada konstruksi sandwich datar dapat dilakukan untuk menentukan kekakuan lentur sandwich, kekuatan geser inti dan modulus geser, atau kekuatan tekan dan tarik permukaan. Pengujian untuk mengevaluasi kekuatan geser inti juga dapat digunakan untuk mengevaluasi ikatan antar inti. Metode pengujian ini memberikan metode standar untuk memperoleh kekuatan dan kekakuan lentur panel sandwich. Kekuatan geser inti dan modulus geser paling baik ditentukan sesuai dengan Metode Uji C 273. Kekakuan sandwich dan modulus geser inti dapat ditentukan dengan perhitungan yang melibatkan defleksi terukur dari spesimen lentur sandwich. Pengujian dapat dilakukan pada benda uji pendek dan benda uji panjang atau pada satu benda uji yang dibebani dengan dua cara, dan kekakuan lentur dan modulus geser dapat ditentukan dengan solusi simultan dari persamaan defleksi lengkap untuk setiap bentang atau setiap

pembebanan. Jika nilai modulus permukaan diketahui, balok bentang pendek dapat diuji dan defleksi lentur yang dihitung dikurangi dari defleksi total balok. Ini memberikan defleksi geser dari mana modulus geser inti dapat ditentukan.



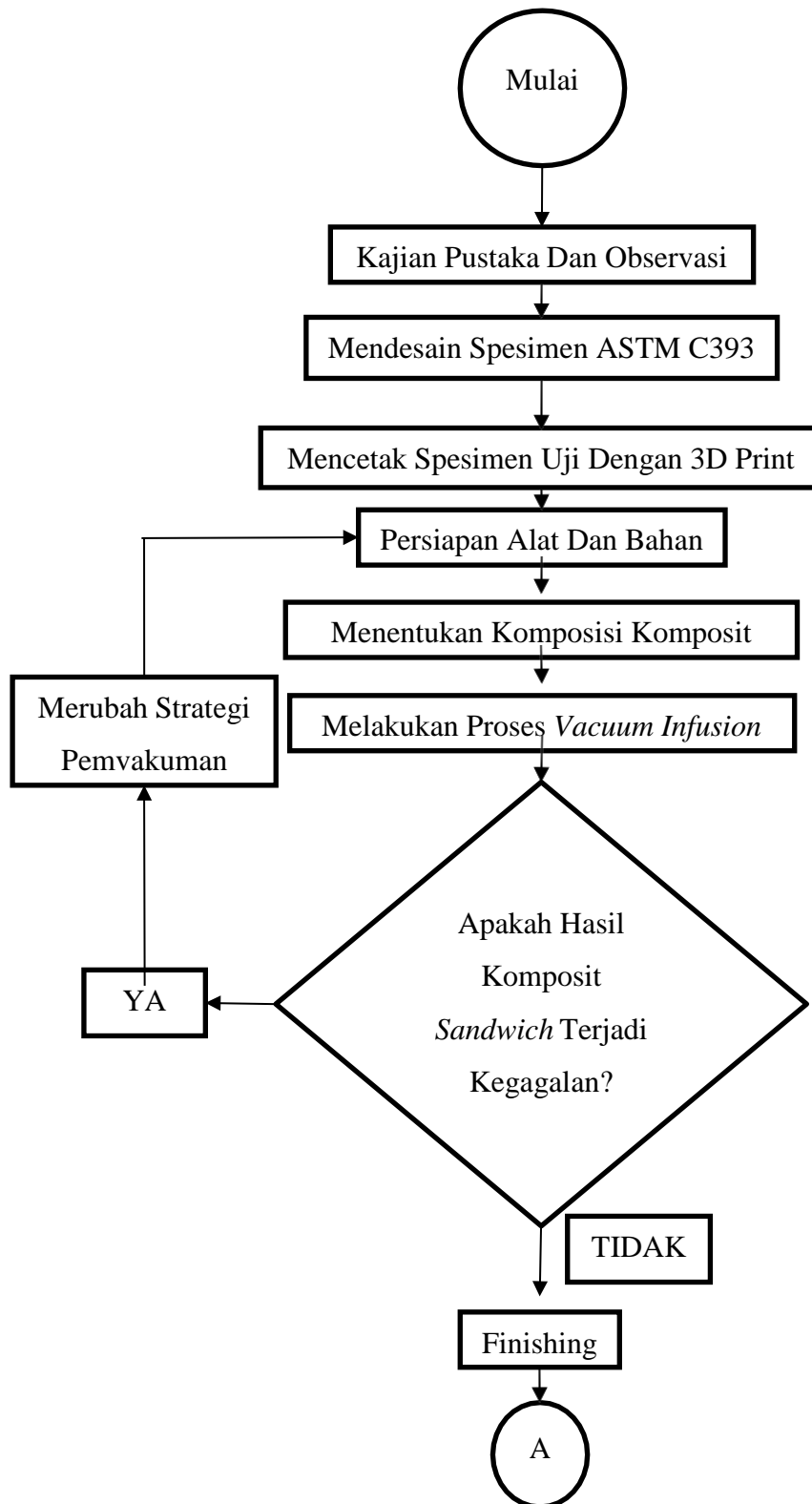
Gambar 2. 16 Spesimen Standar ASTM C393

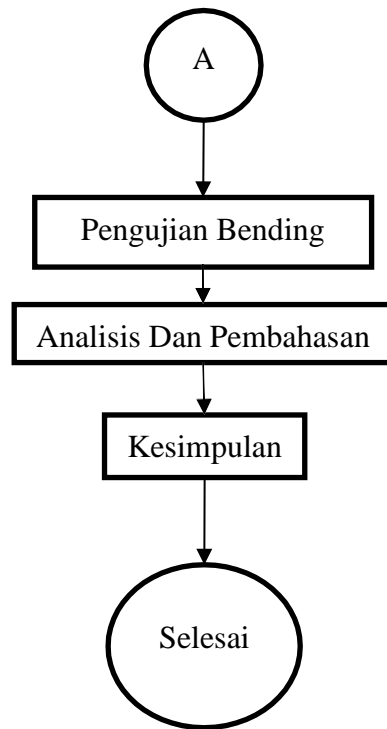
Spesimen uji harus berbentuk persegi panjang dengan penampang melintang. Kedalaman benda uji harus sama dengan tebal konstruksi lapis lapis, dan lebarnya tidak boleh kurang dari dua kali tebal total, tidak kurang dari tiga kali dimensi sel inti, atau lebih dari setengah panjang bentang. Panjang spesimen harus sama dengan panjang bentang ditambah 50 mm atau ditambah setengah ketebalan sandwich mana yang lebih besar. Untuk menentukan kekuatan geser inti, benda uji perlu dirancang sedemikian rupa sehingga momen yang dihasilkan pada keruntuhan inti tidak menekan permukaan di luar tegangan batas proporsional tekan atau tarik dari bahan yang menghadap. Ini membutuhkan permukaan yang lebih tebal dan rentang penyangga yang lebih pendek. Jika fasad terlalu tebal, beban geser akan dipikul sampai batas yang cukup besar oleh fasad, sehingga menghasilkan kekuatan geser inti semu yang tinggi seperti yang dihitung dengan metode perkiraan biasa.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian





Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

Dalam Penelitian ini menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Untuk perangkat lunak menggunakan Laptop yang berfungsi untuk mendesain dan membuat spesimen dengan standar ASTM C393 serta *printing* dengan sudut 0° dan sudut 90° untuk proses *vacuum infusion*. Untuk perangkat keras yang digunakan dapat dilihat seperti berikut:

1. Pompa Vakum

Pompa Vakum yang digunakan adalah merk *Krisbow* dengan tenaga $\frac{1}{2}$ HP. Fungsi pompa vakum adalah menghisap udara pada saat proses *vacuum infusion* dilakukan. Bentuk pompa vakum dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pompa Vakum

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

Tabung *Reservoir* (*Catch Pot*) mempunyai 2 input. Input 1 berfungsi untuk menampung sisa resin saat resin mengisi cetakan yang sudah di vakum dan mencegah sisa resin masuk dan merusak pompa, sedangkan input 2 berfungsi untuk membaca tekanan saat melakukan proses vakum. Bentuk Tabung *Reservoir* (*Catch Pot*) dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Tabung *Reservoir* (*Catch Pot*)

3. Timbangan

Timbangan adalah alat untuk menakar berat campuran resin epoksi dan hardener untuk digunakan pada saat proses vakum. Untuk berat campuran nya adalah 100:30 yang dimana 100gram resin epoksi dan 30gram haedener. Bentuk Timbangan dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Timbangan

4. *Vacuum Bagging Film*

Vacuum Bagging Film berfungsi sebagai wadah diletakkannya cetakan 3D print komposit yang akan dilakukan proses *vacuum infusion*. Fungsi lainnya yaitu untuk mencegah udara keluar masuk pada saat proses *vacuum infusion*. Bentuk dari Vacuum Bag dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Vacuum Bagging Film*

5. Kain *Strimmin*

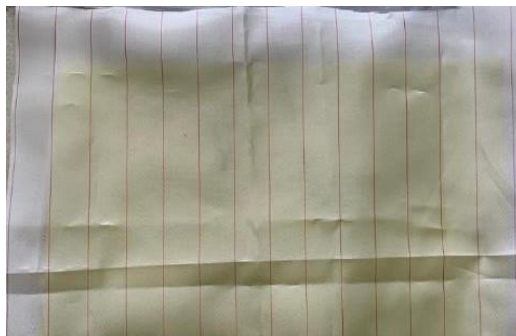
Kain *Strimmin* berfungsi sebagai media untuk membantu menyebarkan aliran resin agar dapat berjalan dengan lancar dan sesuai dengan bentuk produk. Bentuk kain dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Kain *Strimmin*

6. *Peel Ply*

Peel Ply berfungsi sebagai pembatas antara *Infusion Mesh* dengan *carbonfiber* dan memudahkan untuk pelepasan produk dari cetakan. Bentuk dari *Peel Ply* dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Peel Ply*

7. Selang

Selang berfungsi untuk mengalirkan resin dari wadah kedalam *vacuum bag* dan membantu mengalirkan resin dan katalis dari *vacuum bag* menuju *reservoir trap*. Jenis selang yang digunakan adalah diameter 8 mm dan 10 mm. Bentuk dari selang dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Selang

8. Selang Spiral

Kegunaan dari Selang spiral yaitu untuk membantu mengalirkan resin dan katalis ke dalam cetakan dan menyalurkan aliran tekanan dari vacuum pump. Bentuk dari selang spiral dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Selang Spiral

9. Butyl Tape

Butyl Tape berfungsi untuk merekatkan *vacuum bag* pada saat proses *vacuum infusion*. Tujuannya untuk menghalangi udara keluar masuk pada saat proses *vacuum infusion*. Bentuk dari Butyl Tape dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Butyl Tape

10. Resin Epoksi dan Hardener

Resin Epoksi adalah senyawa kimiawi yang didapatkan dari polimerisasi epoksida. Epoksi berfungsi sebagai perekat antara *core 3D printing* dan serat karbon. *Hardener* merupakan senyawa kimia yang dapat membantu mempercepat proses pengerasan epoksi. Epoksi dan *Hardener* dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Resin Epoksi dan *Hardener*

11. *Polylactic Acid (PLA)*

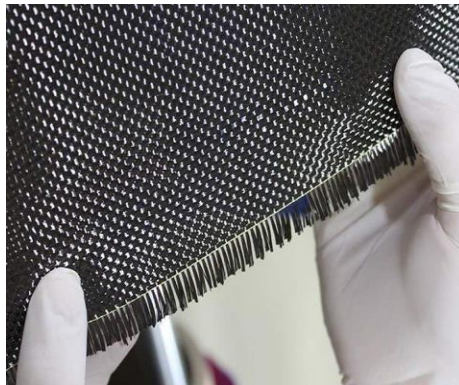
Polylactic Acid (PLA) berfungsi sebagai bahan untuk pembuatan cetakan produk. Bentuk dari *Polylactic Acid (PLA)* dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 *Polylactic Acid (PLA)*

12. Serat *Carbonfiber*

Serat *Carbonfiber* pada penelitian ini berfungsi sebagai prototype produk dalam media cetakan. Serat *Carbonfiber* yang digunakan adalah serat *Carbon Kevlar fiber 3k 2x2 200gsm plain & twill* dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Serat *Carbonfiber*

13. Isolasi Kertas

Isolasi Kertas Berfungsi untuk membantu merekatkan selang, selang spiral, dan *infusion mesh* agar tidak bergeser dan tetap di tempat pada saat proses *vacuum infusion* serta membantu merekatkan selang setelah proses *vacuum infusion* selesai agar *vacuum bag* tidak memasukkan ataupun mengeluarkan udara. Lem Kertas yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Isolasi Kertas

14. Lem Dextone

Lem dextone berfungsi untuk merekatkan antara serat karbon dengan *core 3D Printing* agar tidak terjadi nya kegeseran antara serat dan *core* saat proses *vacuum infusion*. Lem dextone dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Lem Dextone

15. Gelas Plastik

Gelas Plastik berfungsi sebagai wadah campuran resin *epoxy* dan *hardener*. Bentuk dari Gelas Plastik dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Gelas Plastik

16. Stik Kayu

Stik kayu berfungsi untuk mengaduk resin dan katalis pada saat proses pencampuran keduanya. Bentuk nya dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Stik kayu

17. Katup Bensin

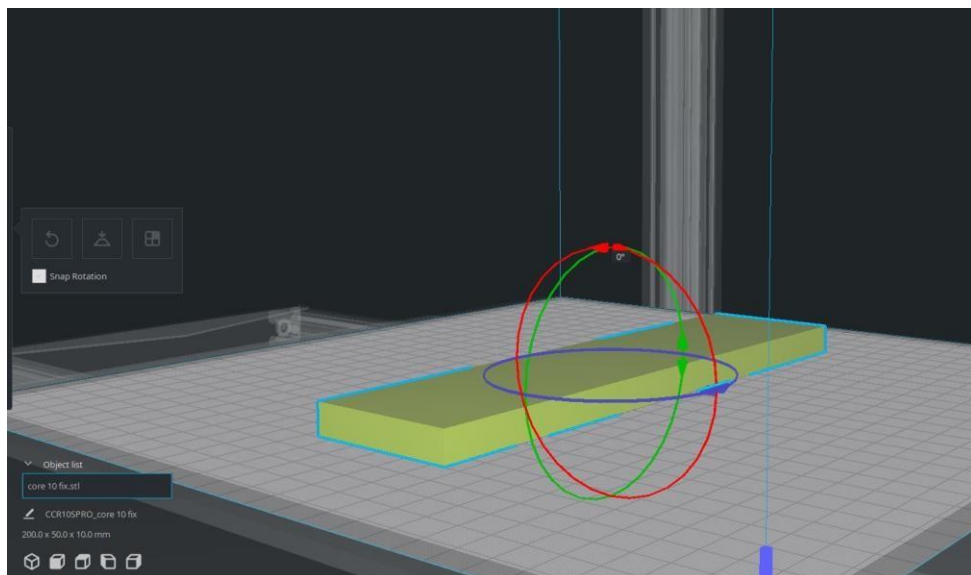
Katup bensin berfungsi sebagai pembuka dan penutup dari saluran udara dari cetakan, serta sebagai membuka dan menutup vacuum resin epoksi ke media cetakan.



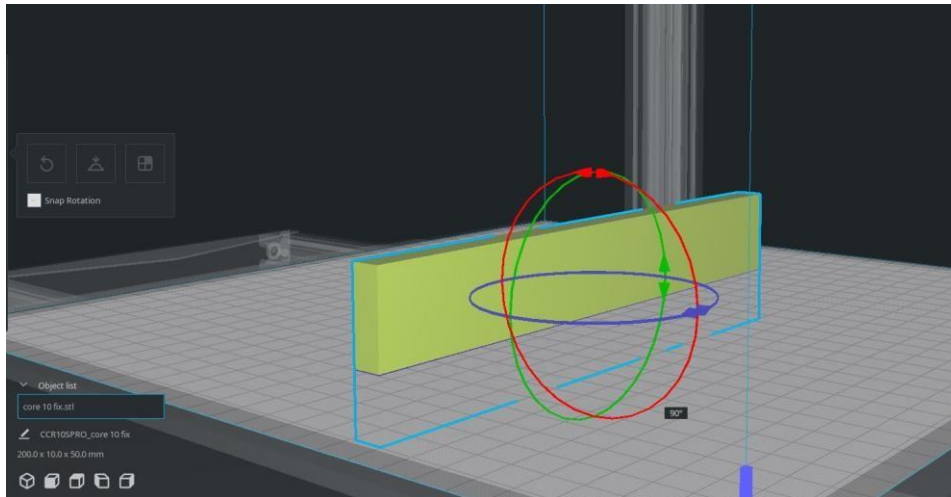
Gambar 3.18 Katup Bensin

3.3 Dimensi Spesimen *Bending*

Spesimen komposit *sandwich* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan standar ASTM C393, dengan sudut print 0° dan 90° *core* berbahan *Polylactid Acid* (PLA) serta *infill* 20% dengan 2 *fill pattern* yaitu *gyroid* dan *hexagonal* (*honeycomb*).

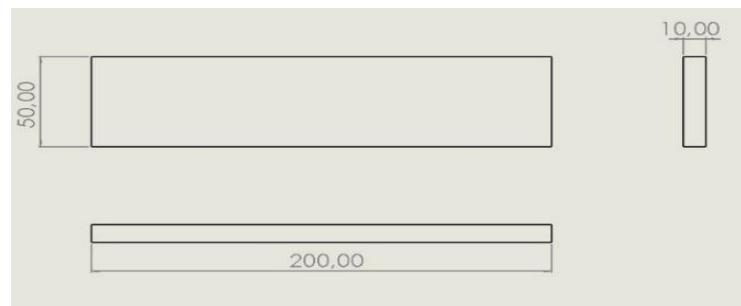


Gambar 3.19 Proses Spesimen Orientasi 0° Dalam *Software Cura*



Gambar 3.20 Proses Spesimen Orientasi 90° Dalam *Software* Cura

Gambar 3.19 dan Gambar 3.20 menunjukkan proses perubahan orientasi spesimen di dalam software cura. Untuk mengubah pandangan yang dari pandangan 0° ke pandangan 90° gunakan fitur rotate sumbu Y (berwarna merah) ditarik menjadi 90°.



Gambar 3.21 Dimensi Spesimen Uji *Bending Core*

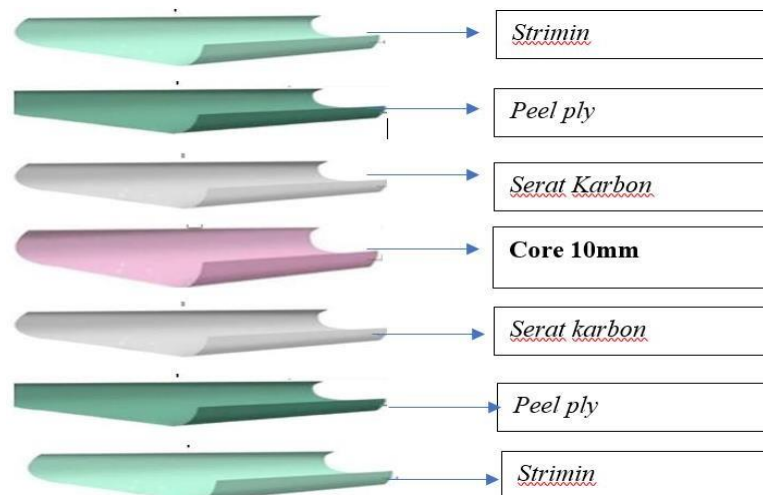
Gambar 3.19 menunjukkan dimensi spesimen yang akan dibuat mengarah pada standar ASTM C393. Pada penelitian ini dibuat dengan *core* berbahan *Poly lactid Acid* dengan rincian proses orientasi *printing* sudut 0° dan 90°. Untuk nilai pembanding perlu nya dilakukan perhitungan dimensi sesudah dan sebelum melakukan proses *vacuum infusion* antara 3D *printing* yang menggunakan lapisan komposit dan 3D *printing* tanpa menggunakan lapisan komposit.

Tabel 3. 1 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen Sebelum Dilakukan Proses *Vacuum Infusion*

Kode Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Berat (g)	Material Core	Material Skin
HR 1 (0°)	49,67	10,17	37	Polylactid Acid (PLA)	Serat Karbon
HM 1 (90°)	50,07	10,13	41		
GR 1 (0°)	49,74	10,32	47		
GM 1 (90°)	50,04	10,53	44		
HR 2 (0°)	49,67	10,17	37		Tanpa Serat Karbon
HM 2 (90°)	50,07	10,13	41		
GR2 (0°)	49,74	10,32	47		
GM 2 (90°)	50,04	10,53	44		

Tabel 3.1 menunjukkan perhitungan dimensi awal spesimen sebelum dilakukan proses *vacuum infusion*. Dapat dilihat pada spesimen HR 1 (0°) memiliki lebar 49,67 mm, tebal 10,17 mm, dan berat 37 gr sebelum spesimen melakukan proses komposit *sandwich*. Pada tiap variasi orientasi *printing* dengan sudut 0° dan 90° dibuat sebanyak 2 spesimen, maka jumlah spesimen yang akan dibuat adalah 8 spesimen.

3.4 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

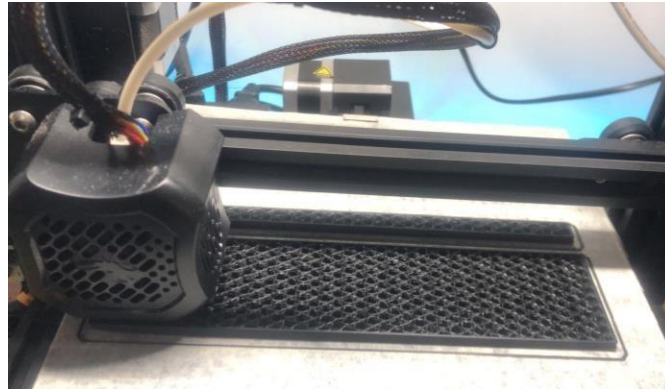


Gambar 3.22 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

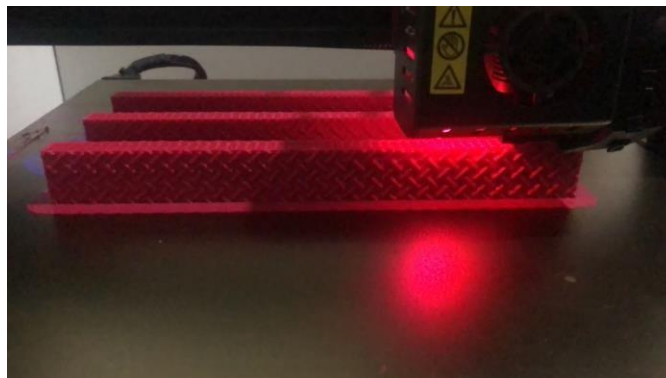
Gambar 3.20 menunjukkan lapisan komposit *sandwich* dengan ketebalan *core* 10 mm dimana lapisan serat karbon sebanyak 1 lapis dan selanjutnya akan dilakukan proses *vacuum infusion*.

3.5 Proses Pengerjaan

3.5.1 Pembuatan *Core* dengan Mesin 3D *Printing Filament*



Gambar 3.23 Proses Pembuatan *Core* Sudut 0°



Gambar 3.24 Proses Pembuatan *Core* Sudut 90°

Pada gambar di atas menunjukkan proses pembuatan *core* dari orientasi sudut 0° dan 90°, serta diikuti dimensinya mengikuti standar ASTM C393 dengan menggunakan mesin 3D *Printing*.



Gambar 3. 25 Parameter Pembuatan Infill dan Ketebalan Layer *Software Cura*

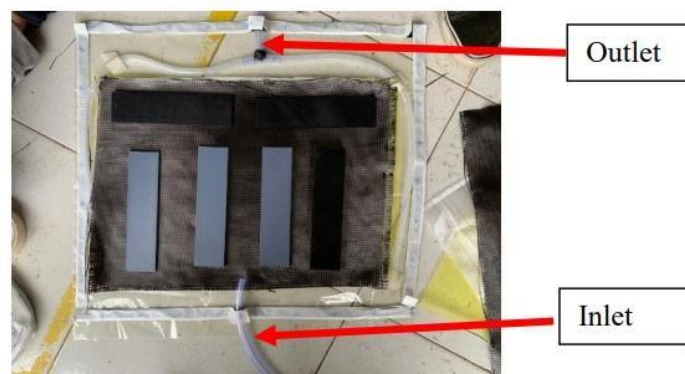
Tabel 3.2 Parameter Proses Pembuatan *Core Mesin 3D Printing*

Material	Infil (%)	Suhu Bed (°C)	Suhu Nozzle (°C)	Speed (mm/s)
PLA	20	55	220	100

Tabel 3.2 ini menunjukkan parameter proses pengerjaan spesimen uji yang dibuat dengan menggunakan bahan PLA (*Polylactid Acid*) di mesin 3D *Printing* dengan *infill* 20%, dengan ketebalan layer 0,2 mm, suhu *bed* 55 °C, suhu nozzle 220 °C, *speed* 100 mm/s, dengan menggunakan 2 *fill pattern* yaitu *gyroid* dan *hexagonal (honeycomb)*.

3.5.2 Proses *Vacuum Infusion*

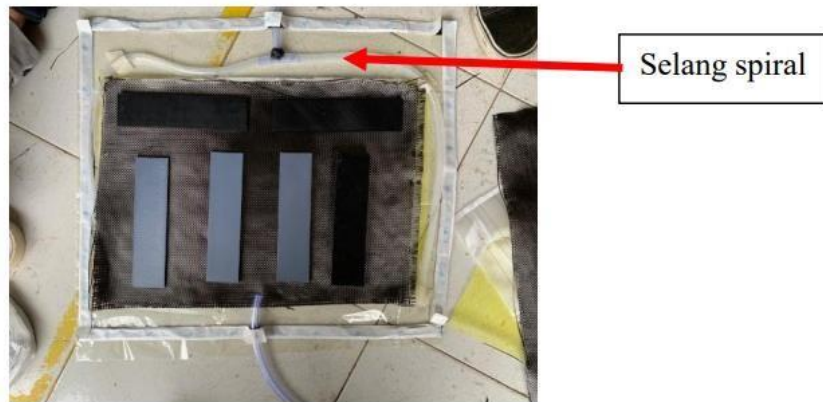
1. Menyusun Serat Karbon, Strimin (*infusion mesh*), *Butyl Tape*, dan *Peel Ply*.



Gambar 3.26 Susunan Komposit *Sandwich*

Gambar 3.23 ini menunjukkan susunan komposit *sandwich* yang sesuai petunjuk dengan gambar 3.20 dengan menggunakan satu layer/lapisan serat karbon dibagian atas dan bagian bawah.

2. Pemasangan Selang Spiral



Gambar 3.27 Pemasangan Selang Spiral

Pemasangan selang spiral merupakan selang yang dibuat berbentuk huruf U disekitar sisi dari cetakan komposit *sandwich* bertujuan agar saat proses *vacuum infusion* resin dapat menyebar ke semua bagian media.

3. Pelapisan Lem Dextone



Gambar 3.28 Pelapisan Dextone

Proses ini dilakukan sebelum menunjukan semua bahan kedalam *vacuum bag* bertujuan untuk mencegah kegeseran antara *core* dengan *skin* sehingga lebih mudah untuk melakukan proses pemvakuman. Takaran dari dextone yang digunakan adalah 12:0,1 dimana 12 gram epoksi dextone dan 0,1 gram hardener dextone.

4. Menyusun Bahan Ke Dalam *Vacuum Bag*



Gambar 3.29 Memasukan Semua Bahan Kedalam *Vacuum Bag*

Dapat dilihat dari gambar diatas adalah proses pemasukan barang dan menutup dengan *butyl tape*, lalu melakukan proses *vacuum infusion* untuk mengecek kebocoran dari vacuum bag sebanyak 3x proses vacuum.

5. Proses Pencampuran Resin *Epoxy* dan *Hardener*



Gambar 3.30 Proses Pencampuran

Gambar 3.27 telah menunjukkan proses Pencampuran resin epoksi dan *hardener* nya dengan takaran 100:30 yang dimana 100gram resin dan 30gram *hardener*.

6. Proses *Vacuum infusion*



Gambar 3.31 Proses *Vacuum Infusion*

Gambar 3.28 proses *vacuum infusion* merupakan proses yang sudah dilakukannya *vacuum* dan pencampuran resin setelah itu membuka katup bensin sehingga campuran resin naik dan mengalir kesemua media dari resin inlet menuju resin outlet seperti gambar 3.27.

3.5.3 Hasil Setelah *Vacuum Infusion*



Gambar 3.32 Hasil *Core PLA* Setelah *Vacuum Infusion*

Gambar 3.29 menunjukan hasil setelah vacuum dan proses finishing menggunakan gerinda. Untuk keterangan gambar 3- 31 dengan kode GR, GM, HR, dan HM memiliki pengertian *core* yang dimana GR adalah *gyroid* dengan proses print rebah (0°), GM adalah *gyroid* dengan proses print miring (90°), HR adalah *hexagonal (honeycomb)* dengan proses print rebah (0°), dan HM adalah *Hexagonal (honeycomb)* dengan proses print miring (90°).

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian *Bending*

Pengujian *Bending* yang dilakukan adalah pengujian spesimen yang bertujuan untuk mencari perbandingan dari nilai kekakuan dari tiap spesimen. Pengujian *bending* ini merujuk pada standar ASTM C393 yang dilakukan di Lab Bahan Teknik Universitas Gajah Mada. Gambar 4- 1 menunjukkan proses pengujian *three point bending*.



Gambar 4.1 Proses Pengujian *Three Point Bending*

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

1. Urutkan spesimen yang akan di uji dengan kestandaran ASTM C393 dengan meletakkan sesuai variasi nya masing-masing.
2. Letakan spesimen uji yang sudah di buat pada alat uji *bending* dengan jarak antar titik tumpuan 170 mm dengan panjang 200 mm.
3. Mesin uji *bending* akan diberikan beban maksimal secara perlahan sampai spesimen mengalami patah.
4. Hasil pengujian akan otomatis tercatat pada kertas yang sudah disiapkan oleh penguji di panel mesin uji.

4.2 Hasil Pengujian *Bending*

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



Gambar 4.2 Hasil Pengujian *Bending*

Gambar 4.2 menunjukkan spesimen setelah dilakukannya proses pengujian *bending*. Jika dilihat dari masing-masing spesimen mengalami beberapa modus kegagalan yang berbeda.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian *Bending*

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (kN)	Defleksi (mm)	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)
1	HR 1	11.03	53.81	0.86	11.82	6.87
2	HM 1	11.13	55.20	0.93	4.18	6.99
3	GR 1	11.38	52.11	1.25	12.26	10.31
4	GM 1	10.94	54.56	1.04	10.02	8.14
5	HR 2	10.17	49.67	0.36	16.46	3.66
6	HM 2	10.13	50.07	0.43	10.70	4.32
7	GR 2	10.32	49.74	0.65	13.85	6.49
8	GM 2	10.53	50.04	0.51	12.81	4.93

Tabel 4.1 menunjukkan hasil data yang didapatkan oleh proses pengujian *bending*. Dapat dilihat bahwa beban maksimal yang tertinggi didapatkan spesimen dengan kode variasi GR 1 yaitu *gyroid* dengan proses *printing* 0° menggunakan proses komposit *sandwich* dengan nilai 1,25 KN, untuk defleksi tertinggi didapatkan dengan spesimen HR 2 yaitu *hexagonal* dengan proses

printing 90° tidak menggunakan komposit *sandwich* dengan nilai 16,46 mm, dan untuk tegangan *bending* tertinggi didapatkan spesimen GR 1 dengan nilai 10,31 Mpa.

Tabel 4.2 Perbandingan Spesimen Setelah Proses *Vacuum Infusion*

No	Kode Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Lebar Awal (mm)	Lebar Akhir (mm)	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)
1	HR 1	37	58	49.67	53.81	10.17	11.03
2	HM 1	41	76	50.07	55.2	10.13	11.13
3	GR 1	47	76	49.74	52.11	10.32	11.38
4	GM 1	44	72	50.04	54.56	10.53	10.94
5	HR 2	37	37	49.67	49.67	10.17	10.17
6	HM 2	41	41	50.07	50.07	10.13	10.13
7	GR 2	47	47	49.74	49.74	10.32	10.32
8	GM 2	44	44	50.04	50.04	10.53	10.53

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa perubahan dimensi spesimen setelah proses vacuum infusion. Dapat dilihat spesimen HR 1 yaitu *core hexagonal* dengan orientasi *printing* 0° berat awal sebelum proses vacuum infusion sebesar 37 gram setelah di vacuum infusion menjadi 58 gram, untuk lebar awal sebelum proses vacuum infusion sebesar 49,67 mm menjadi 53,81 mm, dan tebal awal 10,17 mm menjadi 11,03 mm.

4.3 Analisis dan Perhitungan

Kegagalan komposit *sandwich* adalah kerusakan yang terjadi pada komposit *sandwich* saat di tumpun beban yang melampaui batasan kekuatannya. Berdasarkan hasil pengujian dari 8 spesimen yang di uji, pada umumnya spesimen mengalami kegagalan *face yield* yang dimana kegagalan ini terjadi pada *skin* komposit *sandwich* yang relative tipis terhadap tebal *core*. Kegagalan ini dapat menurunkan nilai dari kekuatan *bending* secara drastis.

4.3.1 Analisis Modus Kegagalan Core Orientasi Printing 0°



Gambar 4.3 Spesimen Komposit *Sandwich* Orientasi Printing 0°

Gambar 4.3 menunjukkan modus kegagalan dari specimen komposit *sandwich* dengan *core* orientasi *printing* 0° mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada specimen H_0 yaitu *core hexagonal* dengan orientasi *printing* 0° mengalami kegagalan *face wrinkling* dan kegagalan *core crush* yang dimana 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 dan untuk *core crush* yaitu *core* sudah patah akan tetapi belum sampai terbelah. Pada specimen G_0 yaitu *core gyroid* dengan orientasi *printing* 0° mengalami *face wrinkling*, kegagalan *face yield*, dan *core crush* yang dimana *core* sudah patah akan tetapi belum sampai terbelah dan *skin* bagian bawah yang sudah putus menyebabkan penurunan kekuatan *bending*. Untuk specimen G_0 terdapat resin epoksi yang masuk sehingga menyebabkan *core* menjadi getas.

4.3.2 Analisis Modus Kegagalan Core Orientasi Printing 90°



Gambar 4.4 Spesimen Komposit Sandwich Orientasi Printing 90°

Gambar 4.4 menunjukkan modus kegagalan dari specimen komposit sandwich dengan core 90° mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada specimen H_90 yaitu core hexagonal dengan orientasi printing 90° mengalami kegagalan core crush dan kegagalan face yield yang dimana core sudah patah tetapi tidak sampai terbelah dan skin bagian bawah yang sudah putus menyebabkan penurunan kekuatan *bending*. Pada specimen G_90 yaitu core gyroid dengan orientasi printing 90° mengalami kegagalan core crush yang diikuti dengan kegagalan face yield yaitu kegagalan core crush bagian inti dari core patah diikuti dengan bagian bawah yang hampir putus tetapi belum sampai terbelah sepenuhnya dan menyebabkan penurunan pada kekuatan *bending*.

4.3.3 Analisis Modus Kegagalan Core Gyroid Tanpa Skin



Gambar 4.5 Spesimen Core Gyroid Tanpa Skin

Gambar 4. 5 menunjukkan modus kegagalan dari spesimen tanpa komposit dengan core gyroid mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen G_0 yaitu core gyroid dengan orientasi *printing* 0° mengalami kegagalan *face yield* diikuti kegagalan *core crush* yang dimana *skin* bagian bawah yang sudah putus menyebabkan penurunan kekuatan *bending*. Pada spesimen G_90 yaitu core gyroid dengan orientasi *printing* 90° mengalami kegagalan *face yield* dan diikuti dengan kegagalan *core crush*.

4.3.4 Analisis Modus Kegagalan Core Hexagonal Tanpa Skin



Gambar 4.6 Spesimen Core Hexagonal Tanpa Skin

Gambar 4.6 menunjukkan modus kegagalan dari spesimen tanpa komposit dengan core hexagonal mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen H_0 yaitu core hexagonal dengan orientasi *printing* 0° mengalami kegagalan *face yield* diikuti kegagalan *core crush* yang dimana *skin* bagian bawah yang sudah putus menyebabkan penurunan kekuatan *bending*. Pada spesimen H_90 yaitu core Hexagonal dengan orientasi *printing* 90° mengalami kegagalan *face yield* diikuti dengan kegagalan *core crush*.

4.4 Perhitungan

Berdasarkan data yang didapat melalui pengujian *bending*, maka Langkah selanjutnya, yaitu mencari nilai dari tiap beban *bending*, tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekuatan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik dari tiap kode spesimen. Untuk rumus menggunakan perhitungan komposit *sandwich*:

1. Tegangan *Bending* Maksimal

$$\sigma = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

2. Modulus Elastisitas

$$E_b = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \delta \cdot I_{sandwich}}$$

3. Kekakuan *Bending*

$$D = \frac{p \cdot L^3}{48 \cdot \delta}$$

4. Kekakuan *Bending* Spesifik

$$\frac{D}{W}$$

Keterangan:

σ = Tegangan *bending* maksimal (MPa)

P = Beban yang diberikan (N)

L = Jarak point (mm)

b = Lebar spesimen uji (mm)

h = Ketebalan spesimen uji (mm)

δ = Defleksi (mm)

D = Kekakuan *bending* (Nmm²)

W = Berat spesimen uji (gram)

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dan Kekakuan *Bending* Spesimen

Kode Spesimen	Beban <i>Bending</i> Maksimal (N)	Tegangan <i>Bending</i> Maksimal (MPa)	Modulus Elastisitas <i>Bending</i> (MPa)	Kekakuan <i>Bending</i> (KNmm²)	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik (KNmm²/g)
HR 1 (0°)	860	33,49	3.169,45	8.304,2	143,1
HM 1 (90°)	930	34,68	2.342,07	8.954,7	117,8
GR 1 (0°)	1.250	47,23	4.184,12	11.791,9	155,1
GM 1 (90°)	1.040	40,61	3.164,8	9.916	137,7
HR 2 (0°)	360	17,86	2.552,64	3.623,1	97,9
HM 2 (90°)	510	21,34	1.804,49	4.344,7	105,9
GR 2 (0°)	650	31,28	2.717,91	6.446,7	137,1
GM 2 (90°)	430	23,43	1.950,163	4.957,3	112,6

Tabel 4.3 menunjukkan hasil perhitungan dari beban *bending*, tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik. Dapat dilihat dari tabel kekakuan *bending* tertinggi di dapatkan pada spesimen komposit *sandwich* kode GR 1 (0°) yaitu *core gyroid* dengan orientasi *printing* 0° memiliki nilai sebesar 11.791,9 KNmm² sedangkan untuk spesimen tanpa komposit *sandwich* yang tertinggi yaitu GR 2 (0°) *core gyroid* dengan orientasi *printing* 0° dengan nilai sebesar 6.446,7 KNmm². Untuk spesimen yang menggunakan komposit *sandwich* adalah dengan kode 1 dan untuk spesimen yang tidak memakai komposit di beri tanda dengan kode 2 dibelakang nya.

4.5 Pembahasan

4.5.1 Beban *Bending*

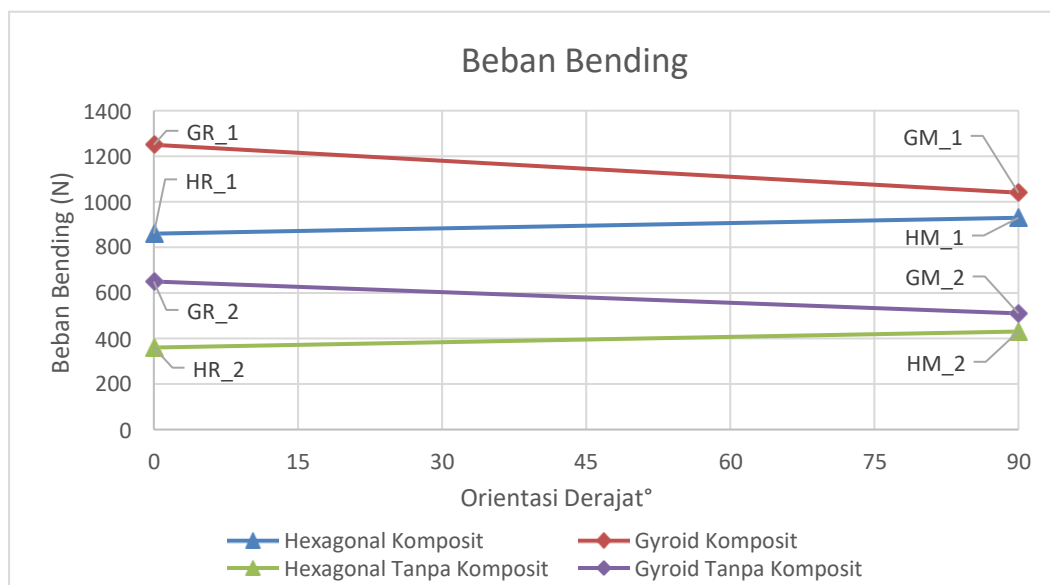
Tabel 4.4 Perbandingan Beban *Bending* Spesimen Dengan Komposit *Sandwich* Dan Tanpa Komposit

Kode Spesimen	Beban <i>Bending</i> (N)		Selisih (N)	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
HR (0°)	860	360	500	Dengan <i>skin</i> naik 2,38x
HM (90°)	930	430	500	Dengan <i>skin</i> naik 2,16x
GR (0°)	1250	650	600	Dengan <i>skin</i> naik 1,92x
GM (90°)	1040	510	530	Dengan <i>skin</i> naik 2,03x

Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Beban *Bending* Antar Spesimen

Kode Spesimen	Beban <i>Bending</i> (N)		Selisih (N)
	0°	90°	
<i>Hexagonal</i> Dengan <i>Skin</i>	860	930	70
<i>Gyroid</i> Dengan <i>Skin</i>	1250	1040	210
<i>Hexagonal</i> Tanpa <i>Skin</i>	360	430	70
<i>Gyroid</i> Tanpa <i>Skin</i>	650	510	140

Tabel 4.5 menunjukkan tabel perbandingan selisih beban *bending* antara spesimen menggunakan orientasi *printing* dimana nilai selisih terbesar adalah nilai *gyroid* menggunakan komposit yang bernilai 210 N.



Gambar 4.7 Grafik *Beban Bending*

Gambar 4. 7 menunjukkan grafik beban *bending* maksimal yang terjadi pada setiap spesimen untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh orientasi *core* pada sudut yang berbeda terhadap beban *bending* maksimal yang terjadi. Berdasarkan data hasil perhitungan dan nilai yang ditunjukkan pada tabel 4. 4 terdapat perbedaan nilai beban *bending* maksimal dari tiap spesimen. Dimana nilai tertinggi di dapatkan pada spesimen komposit *sandwich* dengan *core gyroid* sudut 0° dengan nilai tegangan *bending* sebesar 1250 N. Sedangkan spesimen tanpa komposit nilai tertinggi didapatkan *core gyroid* dengan orientasi *printing* 0°

4.5.2 Tegangan Bending

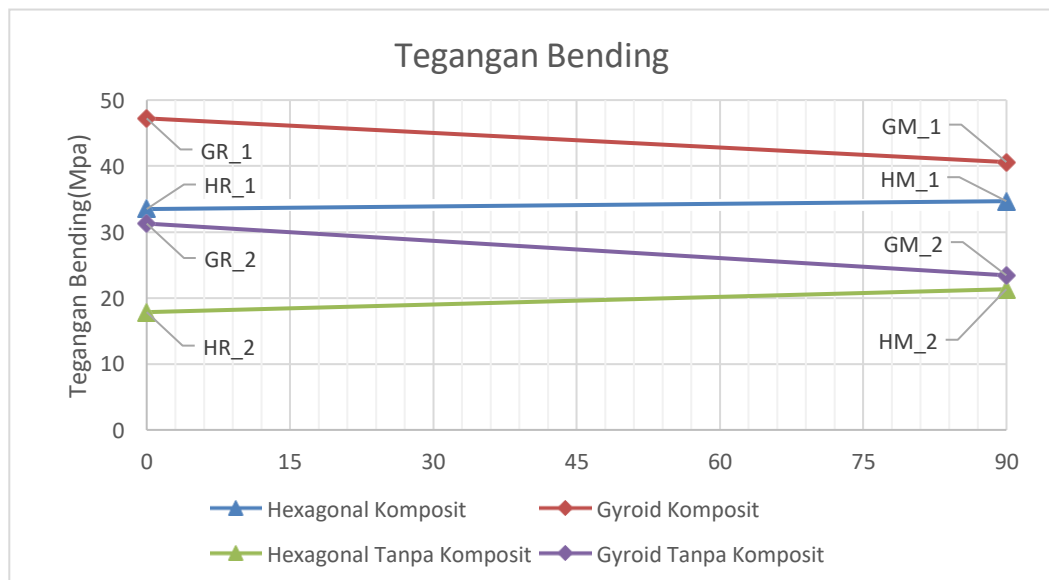
Tabel 4.6 Perbandingan Tegangan *Bending* Spesimen dengan Komposit *Sandwich* Dan Tanpa Komposit

Kode Spesimen	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)		Selisih (MPa)	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
HR (0°)	33,49	17,86	15,63	Dengan <i>skin</i> naik 1,87x
HM (90°)	34,68	21,34	13,34	Dengan <i>skin</i> naik 1,62x
GR (0°)	47,23	31,28	15,95	Dengan <i>skin</i> naik 1,50x
GM (90°)	40,61	23,43	17,18	Dengan <i>skin</i> naik 1,73x

Tabel 4.7 Perbandingan Nilai Tegangan *Bending* Antar Spesimen

Kode Spesimen	Tegangan Bending (Mpa)		Selisih (MPa)
	0°	90°	
<i>Hexagonal Dengan Skin</i>	33,49	34,68	1,19
<i>Gyroid Dengan Skin</i>	47,23	40,61	6,62
<i>Hexagonal Tanpa Skin</i>	17,86	21,34	3,48
<i>Gyroid Tanpa Skin</i>	31,28	23,43	7,85

Tabel 4.7 menunjukkan tabel perbandingan selisih tegangan *bending* antara spesimen menggunakan orientasi *printing* dimana nilai selisih terbesar adalah nilai *gyroid* tanpa komposit yang bernilai 7,85 MPa.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Tegangan *Bending*

Gambar 4.8 menunjukkan grafik tegangan *bending* untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh orientasi *printing core* pada sudut yang berbeda terhadap tegangan *bending* yang terjadi. Berdasarkan data hasil perhitungan dan nilai yang ditunjukkan pada tabel 4.5 terdapat perbedaan nilai kekakuan *bending* dari tiap spesimen. Dimana nilai tertinggi di dapatkan pada spesimen *core gyroid* dengan orientasi *printing* 0° komposit *sandwich* dengan nilai tegangan *bending* sebesar 47,23 MPa. Sedangkan tanpa komposit tertinggi didapatkan *core gyroid* dengan orientasi *printing* 0° bernilai sebesar 31,28 MPa.

4.5.3 Modulus Elastisitas

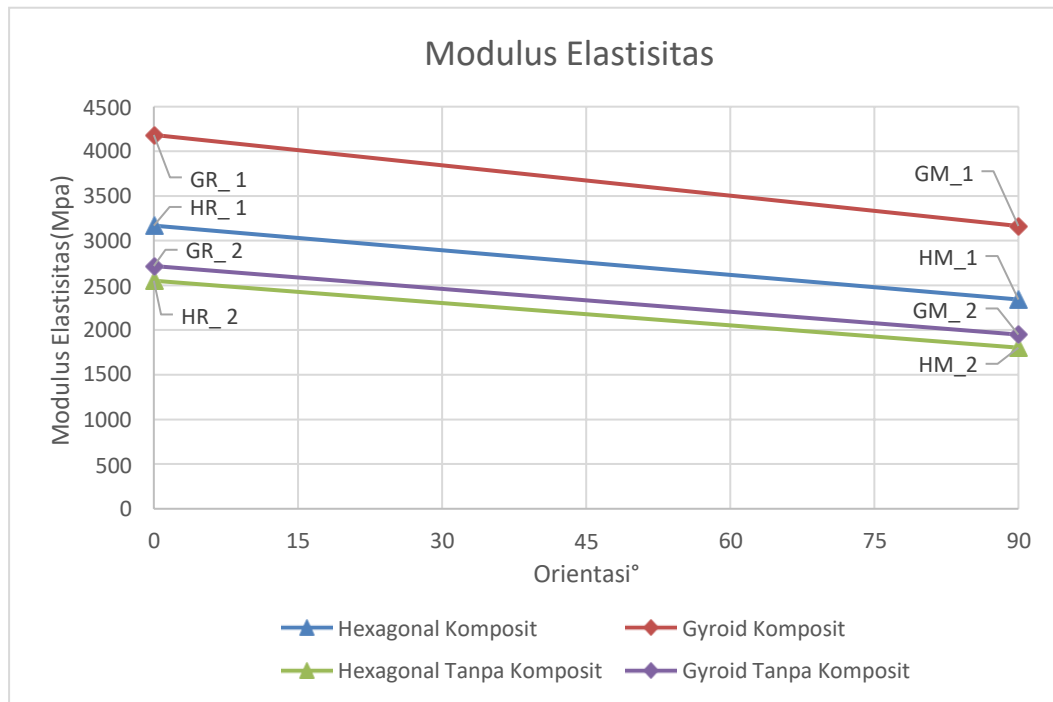
Tabel 4.8 Perbandingan Modulus Elastisitas Spesimen Dengan Komposit *Sandwich* Dan Tanpa Komposit

Kode Spesimen	Modulus Elastisitas (MPa)		Selish (MPa)	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
HR (0°)	3.169,45	2.552,64	616,81	Dengan <i>skin</i> naik 1,24x
HM (90°)	2.342,07	1.804,49	391,91	Dengan <i>skin</i> naik 1,20x
GR (0°)	4.184,12	2.717,91	2.831,55	Dengan <i>skin</i> naik 3,09x
GM (90°)	3.164,8	1.950,16	1.360,31	Dengan <i>skin</i> naik 1,75x

Tabel 4.9 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Antar Spesimen

Kode Spesimen	Modulus Elastisitas (MPa)		Selisih (MPa)
	0°	90°	
<i>Hexagonal Dengan Skin</i>	3.169,45	2.342,07	827,38
<i>Gyroid Dengan Skin</i>	4.184,12	3.164,8	1019,32
<i>Hexagonal Tanpa Skin</i>	2.552,64	1.804,49	748,15
<i>Gyroid Tanpa Skin</i>	2.717,91	1.950,16	767,33

Tabel 4.9 menunjukkan tabel perbandingan selisih modulus elastisitas antara spesimen menggunakan orientasi *printing* dimana nilai selisih terbesar adalah nilai *gyroid* menggunakan komposit *sandwich* yang bernilai 1019,32 MPa.



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas

Gambar 4.9 menunjukkan grafik untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh orientasi *printing core* pada sudut yang berbeda terhadap tegangan *bending* yang terjadi. Berdasarkan dari data tabel 4. 6 modulus elastisitas dimana untuk *core gyroid* dengan orientasi *printing* 0° komposit *sandwich* adalah nilai tertinggi dengan nilai sebesar 4184,12 Mpa. Untuk nilai tertinggi pada tanpa komposit *sandwich* adalah spesimen *core gyroid* dengan orientasi *printing* 0° dengan nilai sebesar 2717,91 MPa.

4.5.4 Kekakuan Bending

Tabel 4. 10 Perbandingan Kekakuan *Bending* Spesimen Dengan Komposit *Sandwich* Dan Tanpa Komposit

Kode Spesimen	Kekakuan <i>Bending</i> (Nmm ²)		Selisih (Nmm ²)	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
HR (0°)	8.304.206	3.623.156	4.681.050	Dengan <i>skin</i> naik 2,29x
HM (90°)	8.954.786	4.344.747	4.610.039	Dengan <i>skin</i> naik 2,06x
GR (0°)	11.791.955	6.446.726	5.345.229	Dengan <i>skin</i> naik 1,82x
GM (90°)	9.916.007	4.957.324,31	4.958.682,69	Dengan <i>skin</i> naik 2,12x

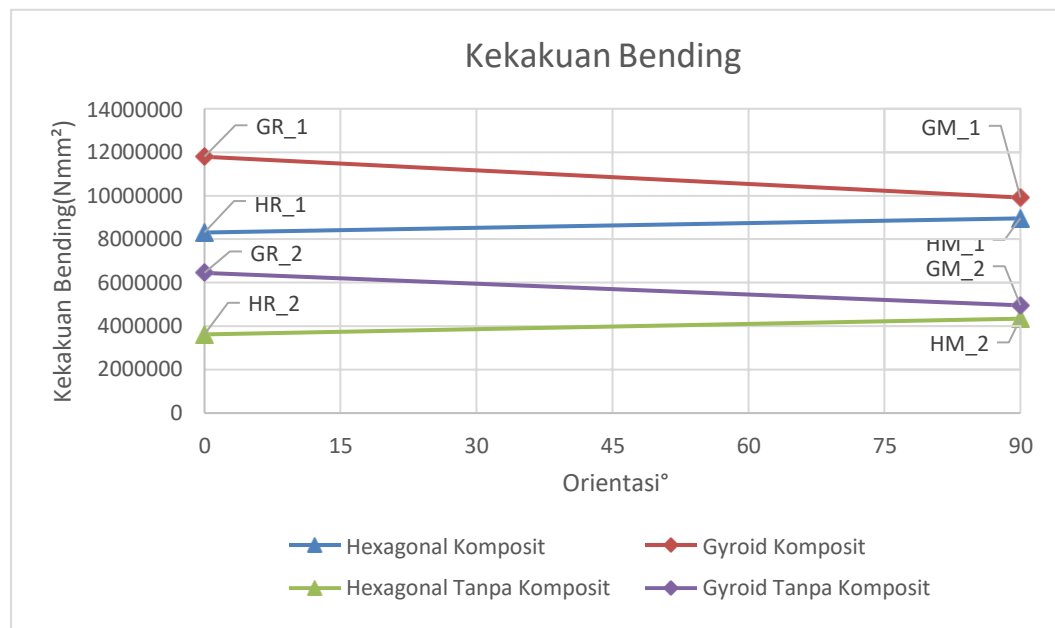
Tabel 4.11 Perbandingan Nilai Kekakuan *Bending* Antar Spesimen

Kode Spesimen	Kekakuan <i>Bending</i> (Nmm ²)		Selisih (Nmm ²)	Keterangan
	0°	90°		
<i>Hexagonal</i> Dengan <i>Skin</i>	8.304.206	8.954.786	650.580	90°(+) 650.580
<i>Gyroid</i> Dengan <i>Skin</i>	11.791.955	9.916.007	1.875.948	90°(-) 1.875.948
<i>Hexagonal</i> Tanpa <i>Skin</i>	3.623.156	4.344.747	721.591	90°(+) 721.591
<i>Gyroid</i> Tanpa <i>Skin</i>	6.446.726	4.957.324,31	1.489.401,69	90°(-) 1.489.401

NB: (+)= 90° lebih dari 0°

(-)= 90° kurang dari 0°

Tabel 4.11 menunjukkan tabel perbandingan selisih kekakuan *bending* antara spesimen menggunakan orientasi *printing* dimana nilai selisih terbesar adalah nilai *gyroid* menggunakan komposit *sandwich* yang bernilai 1.875.948 Nmm².



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Kekakuan *Bending*

Gambar 4.10 menunjukkan grafik kekakuan *bending* untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh orientasi *printing core* pada orientasi yang berbeda terhadap kekakuan *bending* yang terjadi. Berdasarkan data dari tabel 4.7 kekakuan *bending* maksimal tertinggi didapatkan pada spesimen komposit *sandwich* dengan *core gyroid* dengan orientasi *printing* 0° dengan nilai sebesar 11.791.955 Nmm². Sedangkan spesimen tanpa komposit yang tertinggi adalah *core gyroid* dengan orientasi *printing* 90° nilai sebesar 4.357.324,311 Nmm².

4.5.5 Kekakuan *Bending* Spesifik

Tabel 4. 12 Perhitungan Kekakuan *Bending* Spesifik Spesimen Dengan Komposit Dan Tanpa Komposit

Kode Spesimen	D (Nmm ²)	W (g)	Hasil	Keterangan
HR_1 (0°)	8.304.206	58	143.175,96	Dengan <i>Skin</i>
HM_ 1 (90°)	8.954.786	76	117.826,13	
GR_1 (0°)	11.791.955	76	155.157	
GM_1 (90°)	9.916.007	72	137.722,31	
HR_2 (0°)	3.623.156	37	97.923,14	Tanpa <i>Skin</i>
HM_2 (90°)	4.344.747	41	105.969,45	
GR_2 (0°)	6.446.726	47	137.164,37	
GM_2 (90°)	4.957.324,31	44	112.666,46	

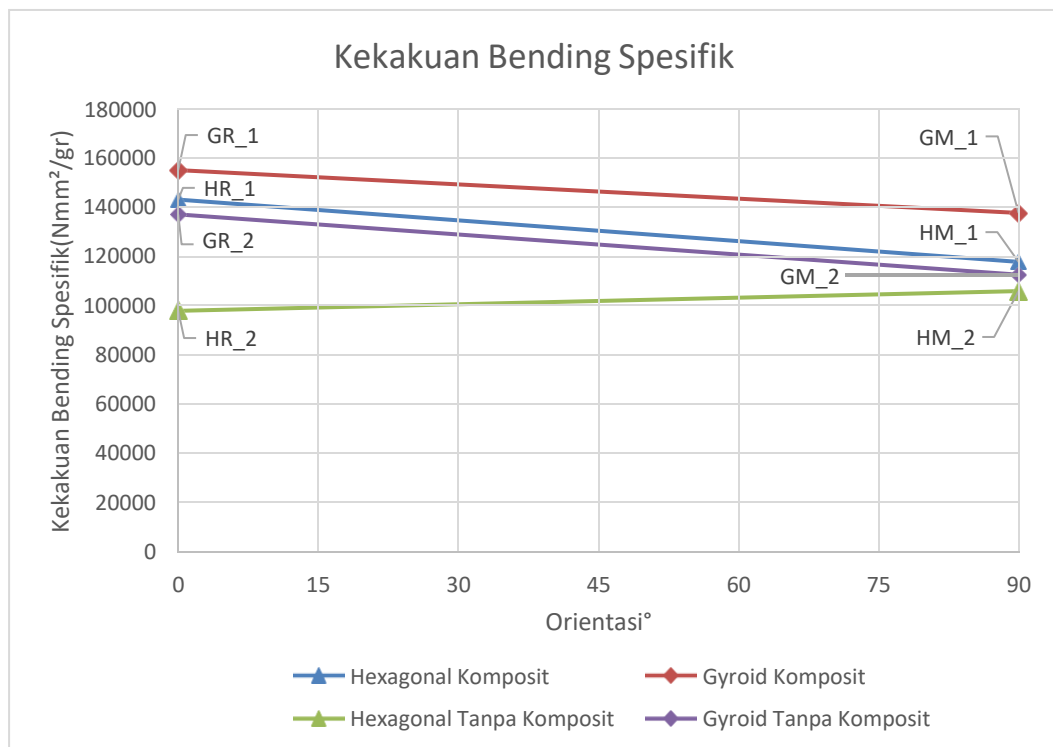
Tabel 4.13 Perbandingan Kekakuan *Bending* Spesifik Spesimen Dengan Komposit dan Tanpa Komposit

Kode Spesimen	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik (Nmm ² /g)		Selisih (Nmm ² /g)	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
HR (0°)	143.175,96	97.923,14	45252,82	Dengan <i>skin</i> naik 1,46x
HM (90°)	117.826,13	105.969,45	11856,68	Dengan <i>skin</i> naik 1,11x
GR (0°)	155.157	137.164,37	17992,63	Dengan <i>skin</i> naik 1,13x
GM (90°)	137.722,31	112.666,46	25055,85	Dengan <i>skin</i> naik 1,22x

Tabel 4.14 Perbandingan Nilai Kekakuan *Bending* Spesifik Antar Spesimen

Kode Spesimen	Kekakuan Bending Spesifik (Nmm ² /g)		Selisih (Nmm ² /g)
	0°	90°	
<i>Hexagonal Dengan Skin</i>	143.175,96	117.826,13	25.349,83
<i>Gyroid Dengan Skin</i>	155.157	137.722,13	17.434,87
<i>Hexagonal Tanpa Skin</i>	97.923,14	105.969,45	8.046,31
<i>Gyroid Tanpa Skin</i>	137.164,37	112.666,46	24.497,91

Tabel 4.13 menunjukkan tabel perbandingan selisih kekakuan *bending* spesifik antara spesimen menggunakan orientasi *printing* dimana nilai selisih terbesar adalah nilai *gyroid* menggunakan komposit *sandwich* yang bernilai 1.875.948 Nmm²/g.



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Kekakuan *Bending* Spesifik

Gambar 4.11 menunjukkan grafik kekuatan *bending* spesifik untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh orientasi *printing core* pada spesimen yang berbeda terhadap kekakuan *bending* yang terjadi. Berdasarkan data dari tabel 4. 8 dimana untuk *core gyroid* dengan orientasi *printing* 0° komposit *sandwich* adalah nilai tertinggi dengan nilai sebesar 155.157 Nmm²/g. Sedangkan

untuk *core hexagonal* komposit *sandwich* dengan orientasi *printing* 0° nilai nya lebih tinggi dari pada *core hexagonal* dengan orientasi *printing* 90° dengan nilai sebesar 143.175,96 Nmm²/g. Untuk spesimen tanpa komposit tertinggi didapatkan pada spesimen *core gyroid* dengan orientasi *printing* 0° dengan nilai sebesar 137.164,37 Nmm²/g.

Dapat dilihat dari gambar 4.12 dan 4.13 menunjukkan dari inti *core* dari *core hexagonal* yang dimana dalam proses *printing* mengalami perbedaan jumlah dari *fill patern* sehingga ada perbedaan berat setelah melakukan proses *printing* dengan standar ASTM C393 dari kedua orientasi *printing* tersebut.

Tabel 4.15 Perbandingan Berat Setelah Proses *Printing* antara *Core Hexagonal* Orientasi *Printing* 0° dan 90°

Kode Spesimen	Berat (g)
HR (0°)	37
HM (90°)	41

Tabel 4.9 menunjukkan bahwa *core hexagonal* dengan orientasi *printing* 90° memiliki nilai tertinggi dari pada *core hexagonal* dengan orientasi *printing* 0°. Yang dimana pada grafik tegangan *bending*, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik *core hexagonal* dengan orientasi *printing* 90° lebih tinggi nilainya dari pada *core hexagonal* dengan orientasi *printing* 0° maupun dengan komposit *sandwich* atau tanpa komposit.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, hasil pengaruh orientasi *printing* dan jenis material *core* terhadap kekakuan *bending* komposit *sandwich carbonfiber* maka diketahui bahwa:

1. Proses *printing* dengan *core* gyroid orientasi *printing* 0° menghasilkan kekakuan *bending* yang lebih besar di bandingkan dengan orientasi *printing* 90° , sedangkan pada proses *printing* dengan *core* hexagonal orientasi *printing* 90° menghasilkan kekakuan yang lebih besar di bandingan dengan orientasi *printing* 0° .
2. Analisis kegagalan yang terjadi pada orientasi *printing* 0° dengan menggunakan komposit *sandwich*, kedua *core* mengalami kegagalan *face wrinkling* dan *core crush*. Namun, pada *core* gyroid mengalami kegagalan lainnya yakni *face yield*. Sedangkan pada orientasi *printing* 90° dengan menggunakan komposit *sandwich*, kedua *core* mengalami kegagalan *core crush* dan *face yield*. Kemudian analisis kegagalan yang terjadi pada orientasi *printing* 0° dan orientasi *printing* 90° tanpa komposit pada kedua *core* mengalami kegagalan *face yield* dan *core crush*.
3. Hasil analisis dan perhitungan beban maksimal, tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik pada spesimen yang menggunakan *skin* memiliki nilai lebih tinggi jika dibandingkan dengan tidak menggunakan *skin*. Untuk nilai dapat dilihat di tabel 4.4, tabel 4.6, tabel 4.8, tabel 4.10, dan tabel 4.13.
4. Nilai kekakuan *bending* spesifik spesimen dengan komposit tertinggi berada pada spesimen *core* gyroid dengan orientasi *printing* 0° bernilai 155.157 Nmm²/gr. Sedangkan untuk spesimen tanpa komposit nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi berada pada specimen *core* gyroid dengan orientasi *printing* 0° dengan nilai 137.164,37 Nmm²/gr. Untuk *core* hexagonal sendiri yang tertinggi adalah orientasi *printing* 90° dengan

nilai 117.826,13 Nmm²/gr , hal ini dikarenakan berat dan beban *bending* nya specimen lebih besar orientasi *printing* 90° dari pada orientasi *printing* 0°.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

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

1. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh orientasi *printing core* pada sudut 30°, 45°, dan 60° agar melingkupi dari penulisan penelitian ini.
2. Sebelum dilakukannya pencampuran dari resin epoksi dan *hardener* harus lebih teliti lagi dengan takaran yang sesuai dengan standar.
3. Jauhkan media *vacuum bag* dari benda-benda tajam di sekitar saat melakukan proses *vacuum* agar tidak mengalami kebocoran.
4. Memperbarui peralatan yang sudah tidak layak digunakan.
5. Dibutuhkannya meja agar mempermudah kerja dari proses *vacuum infusion*.
6. Pada saat proses *finishing* sebaiknya menggunakan perlengkapan K3 seperti sarung tangan dan kacamata.

DAFTAR PUSTAKA

- Sabron Lubis, Sofyan Djamil, dan Yolanda. (2016) Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3D *Printing* Bahan *Polylactid Acid* (PLA) Dan *Acrolonitrle Butadine Styrene* (ABS) Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara Jl. S.Parman No. 1, Jakarta 11400 E-mail: sobron_lbs@yahoo.com
<https://media.neliti.com/media/publications/165457-pengaruh-orientasi-objek-pada-proses-3d-592e8d17.pdf>
- Juraka Darmawan. (2021). *Analysis of the behaviour of 3D samples printed by FFF/FDM technologies under bending stress with a focus on infill.* ASTM C393-00, *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions.* ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United State.
- Adriansyah, Y. I. (2021). Analisis Uji *Bending* Komposit *Sandwich* Yang Digabungkan 3D *Printing*.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/30579>
- Ashfan Farahma. (2022). Pengaruh Ketebalan *Core* (3d Print) Dengan Bahan Pla (Polyatic-Acid) Terhadap Uji *Bending* Spesimen Komposit *Sandwich* Menggunakan Metode Vacuum Infusion.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/37976>
- Beliu, H. N., Pell, Y. M., & Jasron, J. U. (2016). Analisa Kekuatan Tarik dan *Bending* pada Komposit Widuri-Polyester (No. 2). 3(2), 11–20.
<https://doi.org/10.1234/ljtmu.v3i2.471>
- Hidayat, A., Yudo, H., & Manik, P. (2016). ANALISA TEKNIS KOMPOSIT *SANDWICH* BERPENGUAT SERAT DAUN NANAS DENGAN *CORE* SERBUK GERGAJI KAYU SENGON LAUT DITINJAU DARI KEKUATAN TEKUK DAN IMPAK. Jurnal Teknik Perkapalan, 4(1), Article 1.
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/13638>

- Marsono, M., Ali, A., & Luwis, N. (2019). Karakteristik Mekanik Panel Honeycomb *Sandwich* Berbahan Komposit Fibreglass dengan Dimensi Cell-Pitch 40mm dan Cell-Height 30mm. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 3(2), Article 2.
<https://doi.org/10.26760/jrh.v3i2.3144> 56
- Marsono, M., Anggraeni, N. D., & Faisal, F. A. (2021). Kaji Eksperimental Sifat Mekanik Honeycomb *Sandwich* Komposit Serat Karbon dengan Uji *Bending*. *METAL: Jurnal Sistem Mekanik Dan Termal*, 5(2), 114–125.
<https://doi.org/10.25077/metal.5.2.114-125.2021>
- Mutasiana, H. R. (2014). PENGARUH VARIASI KETEBALAN *CORE* TERHADAP KARAKTERISTIK *BENDING* KOMPOSIT *SANDWICH* SERAT CANTULA DENGAN *CORE* HONEYCOMB KARDUS TIPE A-FLUTE. *Jurnal Nosel*, 2(3), Article 3.
<https://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/ptm/article/view/8134>
- M.yani, M. yani, Suroso, B., & Rajali, R. (2019). Mechanical Properties Komposit Limbah Plastik. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(1), 74–83.
<https://doi.org/10.30596/rmme.v2i1.3071>
- Nurul Lailatul, Nurtiasto, T. S., Pratomo, R. A., Nugroho, A., & Balqis, A. M. (2021). Studi Sifat Mekanik Komposit *Sandwich* Divinycell Foam dengan Metode Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) untuk Float Pesawat Amfibi. *Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan (Senaster)*, 2(1), 1–9.
- Prayoga, A. (2018). PENGARUH KETEBALAN *SKIN* TERHADAP KEKUATAN *BENDING* DAN TARIK KOMPOSIT *SANDWICH* DENGAN hONEYCOMB POLYPROPYLENE SEBAGAI *CORE*. 18(1), 6.
- Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan Teknologi 3D *Printing* Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. *Seminar Nasional Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi*, 917–922.

Setiyawan, D., Respati, S. M. B., & Dzulfikar, M. (2020). ANALISA KEKUATAN KOMPOSIT *SANDWICH* KARBON FIBER DENGAN *CORE* STYROFOAM SEBAGAI MATERIAL PADA MODEL PESAWAT TANPA AWAK (UJI TARIK & UJI *BENDING*). Majalah Ilmiah MOMENTUM, 16(1), Article 1.

<https://doi.org/10.36499/jim.v16i1.3345>

Utomo, W. B. & Drastiawati, N. S. (2021). PENGARUH VARIASI JENIS *CORE*, TEMPERATUR CURING DAN POST-CURING TERHADAP KARAKTERISTIK *BENDING* KOMPOSIT *SANDWICH* SERAT KARBON DENGAN METODE VACUUM INFUSION. 09, 10.

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	HR1	53.81	11.03	0.86	11.82	6.87
2	HR2	49.67	10.17	0.36	16.46	3.66
3	HM1	55.20	11.13	0.93	4.18	6.99
4	HM2	50.07	10.13	0.43	10.70	4.32
5	Gm1	54.56	10.94	1.04	10.02	8.14
6	Gm2	50.04	10.53	0.51	12.81	4.93
7	GR1	52.11	11.38	1.25	12.26	10.27
8	GR2	49.74	10.32	0.65	13.85	6.49

Keterangan:

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

Yogyakarta, 2 Agustus 2022

Staf Laboratorium Bahan Teknik



Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T

NIP. 197703312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

Hexagonal:



Gyroid:



Hasil Bending:



HM

GM

HR

B

64% ite 20%
Rebah