

**PENGARUH KETEBALAN *CORE* (3D PRINT) DENGAN
BAHAN PLA (*POLYLACTIC-ACID*) TERHADAP UJI *BENDING*
SPESIMEN KOMPOSIT *SANDWICH* MENGGUNAKAN
METODE *VACUUM INFUSION***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Ashfan Farahma Roihan
No. Mahasiswa : 17525048
NIRM : 1703020030

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

2022

PERNYATAAN ORISINALITAS TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, Muhammad Ashfan Farahma Roihan menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “PENGARUH KETEBALAN *CORE (3D PRINT)* DENGAN BAHAN PLA(*POLYLACTIC-ACID*) TERHADAP UJI *BENDING* SPESIMEN KOMPOSIT *SANDWICH* MENGGUNAKAN METODE *VACUUM INFUSION*”

adalah hasil tulisan saya sendiri. Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan, pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui sebagai tulisan saya sendiri atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis lainnya.

Yogyakarta, 10 Maret 2022



Muhammad Ashfan Farahma Roihan

NIM 17525048

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENGARUH KETEBALAN *CORE* (3D PRINT) DENGAN
BAHAN PLA (*POLYLACTIC-ACID*) TERHADAP UJI *BENDING*
SPESIMEN KOMPOSIT *SANDWICH* MENGGUNAKAN
METODE *VACUUM INFUSION***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Ashfan Farahma Roihan
No. Mahasiswa : 17525048
NIRM : 1703020030

Yogyakarta, 30 Desember 2021

Pembimbing I,



Muhammad Ridwan S.T.,M.T

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGARUH KETEBALAN *CORE (3D PRINT)* DENGAN BAHAN PLA (*POLYLACTIC-ACID*) TERHADAP UJI *BENDING* SPESIMEN KOMPOSIT *SANDWICH* MENGGUNAKAN METODE *VACUUM INFUSION*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Ashfan Farahma Roihan
No. Mahasiswa : 17525048
NIRM : 1703020030

Tim Penguji

Muhammad Ridlwan, ST, M.T

Ketua


Tanggal : 10/03/2022

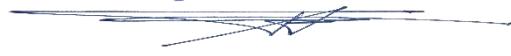
Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M.

Anggota I


Tanggal : 6 Maret 2022

Faisal Arif Nurgesang, ST., M.Sc.

Anggota II


Tanggal : [7 Maret]

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin




Risdhyono S.T., M.Eng., Ph.D.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

Orangtua saya Bapak Kemadi dan Ibu Siti Mar'ati yang telah memberikan nasihat, dan doa yang tulus tiada henti agar penulisan tugas akhir ini selesai.

Adik saya Luthfi dan Nayla yang selalu menjadi penyemangat dikala kesusahan mengerjakan tugas akhir ini

HALAMAN MOTTO

“Hindarilah sifat malas dan bosan, karena keduanya kunci keburukan. Sesungguhnya jika engkau malas, engkau tidak akan banyak melaksanakan kewajiban. Jika engkau bosan, engkau tidak akan tahan dalam menunaikan kewajiban”

(Umar bin Khattab)

“Kalau bisa diselesaikan dengan cepat, kenapa harus lama”

(17525048)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis haturkan atas ke hadirat Allah SWT. Yang mana berkat rahmat dan Ridho serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul penelitian “Pengaruh ketebalan *core (3D print)* dengan bahan PLA (Polyatic–acid) terhadap uji *bending* spesimen komposit *sandwich* menggunakan metode *vacuum infusion*”.

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

1. Allah SWT tuhan semesta alam yang telah memberikan nikmat kepada kita dengan begitu banyak.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Dr.Eng. Risdiyono, S.T, M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan pengarahan, motivasi, semangat, dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Kedua orang tuaku bapak dan mamak terima kasih banyak atas doa yang tak pernah berhenti mengiringi setiap langkah, motivasi,dukungan baik secara moral maupun material.
6. Seluruh Dosen Prodi Teknik Mesin yang telah mendidik, mengajarkan banyak ilmu pengetahuan tentang teknik mesin .
7. Teman seperjuangan Azra Haidar “Darmek”, Fadil Olivianes “Zuko”, dan Galang Pangestu “Galmek” yang sudah saling membantu selama pengerjaan skripsi ini.

8. Teman-teman *Kontrakan Baik, Kontrakan Jahat* dan *Kos Padepokan Tumaritis* atas canda tawa dan semangatnya selama perkuliahan ini berlangsung.
9. Untuk orang terdekat saya Rindy Andini yang tiada henti memberikan semangat dalam segala hal tidak hanya diskripsi ini, dan terimakasih sudah menemani saya dari pertama kali tugas akhir ini dibuat.
10. Untuk teman saya gagas amrihafi yang selalu menemani saya nongkrong untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
11. Teruntuk semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terima kasih karena telah banyak membantu penulis selama pelaksanaan tugas akhir ini, semoga kebaikan kalian mendapatkan imbalan dari Allah SWT.

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

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 10 Maret 2022



Muhammad Ashfan Farahma Roihan

ABSTRACT

Sandwich composite is a composite material consisting of two skins, where between the skins there is a core, the location of the skin itself is at the top and bottom of the core. In this study using fiberglass (skin), core (PLA) and glued using WNC2668 resin with the vacuum infusion method. In this study, the researchers varied the thickness of the core, namely 5mm, 10mm and 15mm. The core is made using a 3D Print machine with 20% infill PLA (Poly-actic Acid) and honeycomb fill pattern. This study uses bending testing to determine the strength of each test specimen. The bending test was carried out at the Engineering Materials Laboratory, Gadjah Mada University. Based on the tests that have been carried out, the highest bending stiffness value is obtained in the specimen with a core variation of 15mm with a value of 5,7 GPa. After the sandwich composite was made, there were differences in dimensions, namely the average weight of the test specimen increased by 5-6 grams, the width and thickness of the specimen increased on average by 1-2cm. The maximum load value, cross-sectional area, moment of inertia, bending stress, modulus of elasticity, and bending stiffness of composite coated specimens have higher values when compared to specimens that are not coated with composites.

Keywords: Sandwich Composite, Core Thickness, Vacuum Infusion, Honeycomb, Bending Testing

ABSTRAK

Komposit *Sandwich* merupakan material komposit yang terdiri dari dua buah *skin*, dimana diantara *skin* tersebut terdapat *core*, letak *skin* sendiri terdapat dibagian atas dan dibagian bawah *core*. Pada penelitian ini menggunakan *fiberglass (skin)*, *core* (PLA) dan direkatkan menggunakan resin wnc2668 dengan metode *vacuum infusion*. Pada penelitian ini peneliti memvariasikan ketebalan *core*, yaitu 5mm, 10mm dan 15mm. *Core* dibuat menggunakan mesin 3D Print dengan bahan PLA (*Poly-actic Acid*) *infill* 20% dan *fill pattern honeycomb*. 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 yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai kekakuan *bending* tertinggi pada spesimen dengan variasi *core* 15mm dengan nilai 5.7 GPa. Setelah dilakukan komposit sandwich, terdapat perbedaan dimensi, yaitu berat spesimen uji rata-rata bertambah berat 5 – 6 gram, lebar dan tebal spesimen rata-rata bertambah 1 - 2cm. Nilai beban maksimal, luas penampang, momen inersia, tegangan *bending*, modulus elastisitas, dan kekakuan *bending* dari spesimen yang dilapisi komposit memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen yang tidak dilapisi komposit.

Kata kunci: *Komposit sandwich*, *Ketebalan Core*, *Vacuum Infusion*, *Honeycomb*, *Pengujian Bending*

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vi
<i>Abstract</i>	viii
Daftar Isi	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Notasi.....	xv
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	2
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Komposit.....	5
2.3 Komposit <i>Sandwich</i>	6
2.3.1 <i>Core</i>	7
2.3.2 <i>Skin (Fiberglass)</i>	8
2.3.3 Matrik (Resin).....	9
2.4 <i>Vacuum Infusion</i>	10
2.5 3D Print.....	11
2.6 Pengujian <i>Bending</i>	11
2.7 Modulus Kegagalan Pengujian <i>Bending</i> Komposit <i>Sandwich</i>	15
Bab 3 Metode Penelitian.....	17

3.1	Alur Penelitian	17
3.2	Peralatan dan Bahan.....	18
3.3	Dimensi Spesimen <i>Bending</i>	26
3.4	Komposisi Komposit <i>Sandwich</i>	27
3.5	Proses Pengerjaan	28
3.5.1	Pembuatan <i>Core</i> dengan mesin <i>3D printing</i>	28
3.5.2	Proses <i>Vacuum Infusion</i>	28
3.5.3	<i>Finishing</i>	31
Bab 4	Hasil dan Pembahasan.....	34
4.1	Pengujian <i>Bending</i>	34
4.2	Hasil Spesimen Pengujian <i>Bending</i>	35
4.2.1	Hasil uji <i>bending core</i> 5mm, 10mm dan 15mm dengan <i>skin</i>	36
4.2.2	Hasil uji <i>bending core</i> 5mm, 10mm dan 15 mm tanpa <i>skin</i>	36
4.3	Analisis Dan Perhitungan	37
4.3.1	Analisis Modulus Kegagalan <i>Core</i> 5mm.....	37
4.3.2	Analisis Modulus Kegagalan <i>Core</i> 10mm.....	38
4.3.3	Analisis Modulus Kegagalan <i>Core</i> 15mm.....	39
4.3.4	Analisis Modulus Kegagalan <i>Core</i> 5mm, 10mm dan 15mm Tanpa <i>Skin</i>	40
4.4	Perhitungan	40
4.5	Pembahasan	45
4.5.1	Beban Maksimal	45
4.5.2	Luas Penampang.....	46
4.5.3	Momen Inersia.....	47
4.5.4	Tegangan <i>Bending</i>	48
4.5.5	Modulus Elastisitas.....	49
4.5.6	Kekakuan <i>Bending</i>	50
Bab 5	Penutup.....	52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	52
	Daftar Pustaka.....	53
	Lampiran.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1 Kelebihan dan Kekurangan Metode Uji <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i>	12
Tabel 4- 1 Perbandingan Berat, Lebar dan Tebal Spesimen Setelah <i>Vacuum Infusion</i>	35
Tabel 4- 2 Tabel Uji <i>Bending core</i> 5mm, 10mm dan 15mm dengan <i>skin</i>	36
Tabel 4- 3 Tabel Uji <i>Bending core</i> 5mm, 10mm, dan 15mm tanpa <i>skin</i>	36
Tabel 4- 4 Hasil Perhitungan <i>Bending</i> Spesimen menggunakan <i>skin</i>	44
Tabel 4- 5 Hasil Perhitungan <i>Bending</i> Spesimen Tanpa <i>Skin</i>	44
Tabel 4- 6 Perbandingan Beban Maksimal antara spesimen yang dilapisi <i>skin</i> dan tidak dilapisi <i>skin</i>	45
Tabel 4- 7 Perbandingan Luas Penampang Antara Spesimen yang Dilapisi <i>Skin</i> dan Tidak Dilapisi <i>Skin</i>	46
Tabel 4- 8 Perbandingan Momen Inersia Antara Spesimen yang Dilapisi <i>Skin</i> dan Tidak Dilapisi <i>Skin</i>	47
4- 9 Perbandingan Tegangan <i>Bending</i> Antara Spesimen yang Dilapisi <i>Skin</i> dan Tidak Dilapisi <i>Skin</i>	48
Tabel 4- 10 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Antara Spesimen yang Dilapisi <i>Skin</i> dan Tidak Dilapisi <i>Skin</i>	49
Tabel 4- 11 Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> antara spesimen yang dilapisi <i>skin</i> dan tidak dilapisi <i>skin</i>	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Elemen Penyusun Komposit <i>Sandwich</i>	6
Gambar 2. 2 3D <i>Print</i> dengan <i>Infill Honeycomb</i>	7
Gambar 2. 3 Serat <i>Fiberglass</i>	8
Gambar 2. 4 Skema <i>Vacuum Infusion</i>	10
Gambar 2. 5 Mesin 3D <i>Print</i>	11
Gambar 2. 6 <i>Universal Testing Machine</i>	12
Gambar 2. 7 <i>Three Point Bending</i>	13
Gambar 2. 8 Jenis-jenis kegagalan pada <i>skin</i> komposit <i>sandwich</i>	15
Gambar 2. 9 Jenis-jenis kegagalan pada <i>core</i> komposit <i>sandwich</i>	16
Gambar 3. 1 Pompa <i>Vacuum</i>	18
Gambar 3. 2 Tabung <i>Reservoir</i>	19
Gambar 3. 3 <i>Filter</i>	19
Gambar 3. 4 Hasil filter setelah terkena cairan resin.....	20
Gambar 3. 5 <i>Timbangan</i>	20
Gambar 3. 6 <i>Gergaji</i>	21
Gambar 3. 7 <i>Sealent Tape</i>	21
Gambar 3. 8 <i>Keran Bensin</i>	21
Gambar 3. 9 <i>Fiberglass</i>	22
Gambar 3. 10 <i>Resin wnc 2668</i>	22
Gambar 3. 11 <i>Katalis</i>	23
Gambar 3. 12 <i>Kain Peelply</i>	23
Gambar 3. 13 <i>Kain Strimin</i>	23
Gambar 3. 14 <i>Plastisin</i>	24
Gambar 3. 15 <i>Plastik</i>	24
Gambar 3. 16 <i>Selang Spiral</i>	25
Gambar 3. 17 <i>PLA</i>	25
Gambar 3. 18 <i>Selang pneumatik</i>	26
Gambar 3. 19 <i>Dimensi spesimen uji Bending</i>	26
Gambar 3. 20 <i>Komposisi Komposit sandwich</i> dengan <i>core 5/10/15 mm</i>	27
Gambar 3. 21 <i>Proses 3D printing</i> spesimen	28

Gambar 3. 22 Lapisan susunan komposit <i>sandwich</i>	28
Gambar 3. 23 Pemasangan selang <i>spiral</i>	29
Gambar 3. 24 Memasukkan susunan komposit kedalam plastik.....	29
Gambar 3. 25 Pencampuran Resin dan Katalis	30
Gambar 3. 26 Proses <i>Vacuum infusion</i>	30
Gambar 3. 27 Hasil <i>Vacuum Infusion</i>	31
Gambar 3. 28 Pemotongan menggunakan gerinda	31
Gambar 3. 29 Proses Pengamplasan spesimen uji.....	32
Gambar 3. 30 Spesimen uji yang telah di amplas.....	32
Gambar 4. 1 Proses <i>Three Point Bending</i>	34
Gambar 4. 2 spesimen uji setelah pengujian <i>bending</i>	35
Gambar 4. 3 Hasil uji spesimen <i>core</i> 5mm.....	37
Gambar 4. 4 Hasil uji spesimen <i>core</i> 10mm.....	38
Gambar 4. 5 Hasil uji spesimen <i>core</i> 15mm.....	39
Gambar 4. 6 Hasil Uji Spesimen <i>core</i> 5mm, 10mm dan 15mm Tanpa <i>Skin</i>	40
Gambar 4. 7 Grafik Beban Maksimal Spesimen Tanpa <i>Skin</i> dan Spesimen Dengan <i>Skin</i>	45
Gambar 4. 8 Grafik Luas Penampang Spesimen Tanpa <i>Skin</i> dan Spesimen Dengan <i>Skin</i>	46
Gambar 4. 9 Grafik Momen Inersia Spesimen Tanpa <i>Skin</i> dan Spesimen Dengan <i>Skin</i>	47
Gambar 4. 10 Grafik Tegangan <i>Bending</i> Spesimen Tanpa <i>Skin</i> dan Spesimen Dengan <i>Skin</i>	48
Gambar 4. 11 Grafik Modulus Elastisitas Spesimen Tanpa <i>Skin</i> dan Spesimen Dengan <i>Skin</i>	49
Gambar 4. 12 Grafik Kekakuan <i>Bending</i> Spesimen Tanpa <i>Skin</i> dan Spesimen Dengan <i>Skin</i>	50

DAFTAR NOTASI

σ_b = Tegangan *Bending* maksimal (MPa)

E_b = Modulus elastisitas *bending* (MPa)

P = Beban maksimal (N)

L = Jarak antara titik tumpuan (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

t = tebal lapisan *core* (mm)

h = Tebal spesimen (mm)

δ = Defleksi (mm)

I = Momen inersia (mm⁴)

A = Luas Penampang (mm²)

D = Kekakuan *Bending* (GPa)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era saat ini kemajuan teknologi modern sangat berkembang pesat, yang mengakibatkan kebutuhan akan penelitian dalam segala bidang terus meningkat, terutama dalam bidang material. Kebutuhan akan material yang mempunyai sifat tangguh, kaku, kuat dan mudah dibentuk sesuai dengan keinginan yang sangat dibutuhkan oleh produsen. Bersamaan dengan kebutuhan tersebut maka muncul gagasan untuk menciptakan material baru yang ringan, simple dan memiliki sifat ketahanan yang sama atau bahkan lebih kuat dibandingkan dengan material lama yang pembuatannya lebih rumit. Kebutuhan akan material ini mencakup diberbagai bidang kehidupan saat ini, mulai dari industri, konstruksi, teknologi, dan sebagainya.

Komposit *sandwich* merupakan material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuk yang memiliki sifat berbeda. Penggunaan komposit *sandwich* telah berkembang pesat dikarenakan komposit memiliki keunggulan dibandingkan dengan bahan teknik alternatif lainnya, bahan komposit mempunyai sifat lebih kuat, lebih kaku, lebih ekonomis, dan tahan terhadap korosi. Komposit *sandwich* sendiri terdiri atas 2 bagian yaitu bagian tengah sebagai inti (*core*) dan bagian atas bawah sebagai serat (*skin*) yang direkatkan atau diikat menggunakan resin (*matriks*). Beberapa faktor yang mempengaruhi sifat mekanik komposit *sandwich* antara jenis *core*, ukuran *core*, ukuran *serat*, jenis *serat*, bentuk *serat*, jenis *matriks*, distribusi *matriks* ketika dilakukan proses *vacuum*.

Core digunakan untuk memperkuat komposit sehingga sifat mekaniknya dapat lebih kaku, kuat, dan tangguh bila dibandingkan dengan tidak menggunakan *core*. Pada penelitian ini menggunakan *core* dengan jenis *honeycomb*, yang berbentuk segi enam mirip dengan sarang lebah dan dibuat dengan menggunakan alat 3D Print sesuai dengan standar uji ASTM D790. Pengujian *bending* dilakukan guna mengetahui perubahan bentuk dari spesimen uji apabila diberikan beban tertentu.

Dalam penelitian ini penulis menyoroti tentang pengaruh ketebalan *core* yaitu 5mm, 10mm, dan 15mm terhadap kekuatan komposit *sandwich* dengan menggunakan metode *vacuum infusion*. Penggunaan *Vacuum infusion* sendiri didasarkan pada keunggulannya, yaitu penggunaan resin yang lebih efisien, dan mengurangi cacat yang mungkin timbul bila menggunakan metode *hand lay-up* ataupun metode *vacuum bagging*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana melakukan proses *vacuum infusion* yang tepat pada spesimen uji?
2. Bagaimana pengaruh ketebalan *core* pada komposit *sandwich* ketika dilakukan pengujian *bending*?
3. Bagaimana analisis kegagalan yang terjadi pada spesimen setelah pengujian *bending*?

1.3 Batasan Masalah

1. Proses *Vacuum Infusion* hanya menggunakan alat-alat yang ada di Laboratorium Proses Produksi UII.
2. Pembuatan *core* spesimen menggunakan mesin 3D Print.
3. Tebal *core Honeycomb* yang digunakan yaitu 5mm, 10mm, dan 10mm.
4. Penelitian ini hanya sampai pembuatan spesimen uji dan pengujian *bending*.
5. Penelitian ini menggunakan metode pengujian *bending* di laboratorium Bahan Teknik UGM.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Penelitian ini bertujuan untuk membuat komposit *sandwich* dengan *core honeycomb* dan *skin* serat *fiberglass* menggunakan metode *Vacuum Infusion* dan variasi ketebalan *core* yang berbeda dan untuk mengetahui pengaruh ketebalan *core* pada komposit *sandwich* terhadap kekuatan *bending*.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat yang didapat setelah melakukan pengujian ini, yaitu:

1. Mengetahui cara bagaimana proses pembuatan komposit *sandwich* menggunakan metode *vacuum infusion*.
2. Mengetahui pengaruh ketebalan *core honeycomb* terhadap kekuatan *bending*.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

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

BAB II Tinjauan Pustaka

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

BAB III Metode Penelitian

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

BAB IV Hasil dan Pembahasan

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

BAB V Penutup

Pada bab ini berisikan tentang Kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian terkait pengujian *bending* terhadap komposit telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, misalnya pada penelitian (Harsi, 2015) mengenai pengujian *bending* dengan menggunakan campuran resin yang diperkuat dengan serat kapas dan serat gelas, metode pencetakan komposit yang digunakan yaitu *hand lay-up*. Dengan perbandingan fraksi volume resin dan serat (serat kapas/gelas), yaitu 70%:30%. Sedangkan untuk perbandingan fraksi volume pada campuran serat (serat kapas dan serat gelas), yaitu 30%:0%, 25%:5%, 10%:15%, 10%:20%, 5%:20%, 0%:30%. Pembuatan spesimen pada penelitian ini menggunakan standar uji ASTM D 790. Hasil pengujian *bending* tertinggi ditunjukkan pada fraksi volume dengan perbandingan serat kapas dan serat gelas sebesar 0%:30% sebesar 3081,52 MPa.

Selanjutnya, (Nasmi H, 2011) melakukan penelitian untuk mengetahui nilai kekuatan uji *bending* dari komposit *epoxy* yang diperkuat dengan serat nilon. Fraksi volume komposit antara *epoxy* dan serat nilon adalah 40%, 50% dan 60%. Penelitian ini menggunakan spesimen dengan standar uji ASTM C 393. Hasil uji *bending* yang didapatkan yaitu kekuatan *bending* tertinggi pada variasi fraksi volume 60% yaitu sebesar 57,95 MPa.

Selain itu, pada penelitian (Harun N, 2016) yang menganalisis tentang kekuatan komposit dengan serat widuri. Penelitian ini menggunakan matriks resin *polyester* dan serat kulit batang widuri sebagai penguatnya. Dalam penelitian ini menggunakan 3 sampel yang arah orientasinya disusun secara acak, yaitu dengan panjang serat 1cm, 3cm, dan 5cm. Pembuatan spesimennya menggunakan standar uji ASTM D 790. Setelah pengujian *bending* dilakukan, didapatkan nilai tegangan *bending* tertinggi yaitu menggunakan serat 3cm sebesar 62,8874 MPa, nilai modulus elastisitas *bending* tertinggi didapatkan ketika menggunakan serat 5cm yaitu sebesar 3,1325 GPa, sedangkan untuk nilai Momen *bending* tertinggi didapatkan pada serat 3cm yaitu sebesar 6509,916 Nmm.

Adapun (Setyo W, 2020) dalam penelitiannya yang membahas tentang pengaruh tekanan *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) terhadap komposit *carbon fiber*. Variasi tekanan *vacuum* yang digunakan, yaitu pada tekanan -0,7 Bar, -0,8 Bar, dan -0,9 Bar. Pengujian *bending* pada penelitian ini menggunakan standar uji ASTM E23-02. Hasil pengujian *bending* menunjukkan nilai kekuatan *bending* tertinggi pada saat menggunakan variasi tekanan *vacuum* -0,9 Bar.

Kemudian (Yuda,2021) yang meneliti tentang perbandingan antara spesimen yang menggunakan *infill* 20% dan 10% dengan standar uji ASTM D790 dan menggunakan metode *vacuum infusion*. Dimana pada penelitian tersebut didapatkan bahwa *infill* 20% memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan *infill* 10%.

Pada penelitian (Dhien, 2015) yang meneliti tentang pengaruh rasio resin dan hardener. Penulis menggunakan perbandingan 50:50%, 60:40%, 70:30%, 80:30%. Setelah pengujian impak dilakukan, didapatkan hasil bahwa nilai perbandingan resin dan hardener yang paling tinggi yaitu pada perbandingan 60:40%. Akan tetapi pada penelitian kali ini, setelah menggunakan perbandingan 60:40%, cairan resin terlalu cepat mengeras. Maka kami melakukan berbagai macam *trial and error*. Dan didapatkan hasil terbaik pada perbandingan resin dan katalis yaitu 100:1.

Perbedaan pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap pengaruh ketebalan *core*, dengan komposit *sandwich fiberglass* terhadap kekuatan *bending*. Ketebalan *core* yang digunakan berukuran 5mm, 10mm dan 15mm. Dengan menggunakan *infill* 20% dan *core* nya menggunakan jenis *honeycomb*. Metode yang digunakan pada penelitian ini, yaitu *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI), dan spesimen menggunakan standar ASTM D 790 untuk pengujian *bending*.

2.2 Komposit

Material komposit adalah material gabungan dari dua atau lebih material yang terikat secara makroskopis. Material komposit memiliki dua bagian penting sebagai penyusunnya. Yang pertama yaitu matrik sebagai pengikat contohnya yaitu

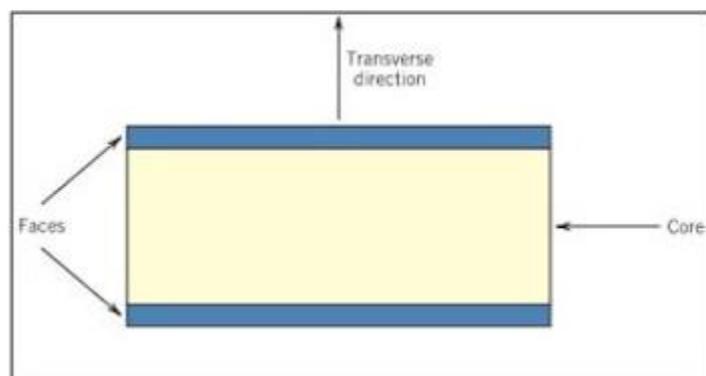
resin *epoxy*, yang kedua yaitu *Filler* yang berfungsi sebagai penguat berupa serat maupun partikel, contohnya yaitu *carbon fiber* dan *fiberglass*. Karakteristik dari komposit sendiri ditentukan dari filler yang digunakan seperti keuletan, kekakuan, kekuatan, kelenturan maupun sifat mekanik yang lainnya. (Surdia, 1999)

Komposit berpenguat serat memiliki kekuatan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan komposit yang berpenguat partikel, komposit serat sendiri terdiri dari serat sebagai filler (penguat) dan umumnya menggunakan polymer (resin) sebagai matrik pengikatnya. Matrik juga berfungsi sebagai pengisi volume dan sebagai pelindung serat. (Schwardz, 1984)

2.3 Komposit *Sandwich*

Material komposit sandwich terdiri atas dua komponen dasar. Masing – masing yaitu *core* dan *skin*. *Core* merupakan komponen dengan jumlah fraksi volume yang jauh lebih besar dari *skin*. Karakteristik *core* berbeda tergantung dari jenis material penyusun *core* tersebut. *Facing* (material terluar) dapat didefinisikan juga sebagai *skin*. Atau kulit dari material komposit *sandwich*, yaitu yang berfungsi sebagai komponen yang memperkuat (menyokong) *core*. (Febriyanto,2011)

Pada Gambar 2.1 Dibawah ini menunjukkan gambaran dari elemen penyusun komposit sandwich yang kami gunakan dalam tugas akhir ini.

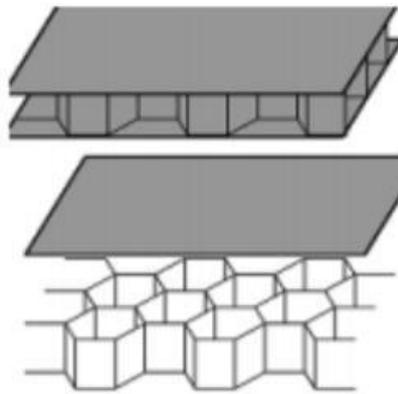


Gambar 2. 1 Elemen Penyusun Komposit Sandwich

2.3.1 Core

Core adalah bagian inti dari komposit *sandwich*, bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Dengan kekakuannya, *core* harus mampu menahan beban geser agar tidak terjadi slide antar permukaan. Bahan untuk pembuatan *core* harus memiliki tingkat kekakuan yang tinggi, karena apabila *core* menggunakan bahan dengan tingkat kekakuan yang rendah, maka kekakuan pada *sandwich* akan hilang atau berkurang. Syarat lain dari *core*, yaitu seperti tingkat kadar air, umur yang panjang dan sebagainya. (Hartono, dkk., 2016)

Pada penelitian ini, *core* yang digunakan yaitu *3D Print* dengan *infill honeycomb*, karena sifat dari material ini yang memiliki kekuatan yang baik, tahan lama, ringan, dan biaya yang murah. Struktur *honeycomb* umumnya juga digunakan untuk kedirgantaraan, transportasi, dan lain sebagainya. Berikut pada gambar 2.2 dibawah ini menunjukkan gambaran dari *3D Print* dengan *infill honeycomb*.



Gambar 2. 2 3D Print dengan Infill *Honeycomb*

Struktur *honeycomb* memiliki ketahanan kompresi dan gaya geser yang lebih besar jika dibandingkan dengan struktur lainnya. Strukturnya terdiri dari kisi heksagonal dan geometri isotropic yang membuatnya hanya memerlukan komposisi bahan yang rendah. Karena geometrinya, secara keseluruhan struktur

honeycomb memiliki kepadatan yang minimal akan tetapi memiliki sifat kompresi yang tinggi. (Ali, 2020)

2.3.2 *Skin (Fiberglass)*

Skin adalah bagian terluar dari komposit *sandwich*, biasanya terbuat dari serat ataupun partikel. Fungsi dari *skin* sendiri adalah untuk menahan *tensile* dan *compressive stress*. Material – material konvensional seperti baja, *stainless steel*, ataupun aluminium bisa juga digunakan dalam untuk bagian ini. Material – material berbentuk plastik yang diperkuat dengan *fiberglass* menjadi pilihan yang sesuai karena bahan – bahan ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu memiliki bentuk permukaan yang baik, mudah untuk digabungkan, dan bahan – bahan tersebut mudah dicari dan dengan harga yang lebih murah. (Hartono, dkk., 2016) Pada Gambar 2.3 dibawah menunjukkan Serat gelas atau yang biasa disebut *fiberglass*, yaitu bahan yang tidak mudah untuk terbakar.



Gambar 2. 3 Serat *Fiberglass*

Sesuai dengan jenisnya serat gelas atau fiberglass dapat dibedakan menjadi beberapa macam, antar lain:

1. Serat E-Glass

Serat E-Glass merupakan jenis serat yang dikembangkan sebagai bahan untuk penyekat atau bahan isolasi. Serat E-Glass juga mempunyai kemampuan bentuk yang baik.

2. Serat C-Glass

Serat C-Glass merupakan jenis serat yang mempunyai ketahanan tinggi terhadap korosi.

3. Serat S-Glass

Serat S-Glass merupakan jenis serat yang mempunyai kekakuan yang tinggi. (Nugroho, 2007)

2.3.3 Matrik (Resin)

Resin adalah zat kimia yang apabila dicampurkan dengan air maka tidak akan larut, mudah terbakar dan akan mengeras dengan cepat. Resin untuk pembuatan komposit memiliki 3 tipe yang berbeda, yaitu :

1. Resin *Epoxy*

Resin ini berbentuk cairan kental yang memiliki sifat mekanik, penahan panas yang baik, dan daya rekatnya yang baik, Jika dibandingkan dengan *polyester*, *epoxy* memiliki ketahanan korosi yang lebih baik

2. Resin *Bisphenolic*

Resin *Bisphenolic* ini memiliki karakter yang tahan terhadap basa, asam dan garam

3. Resin *Polyester*

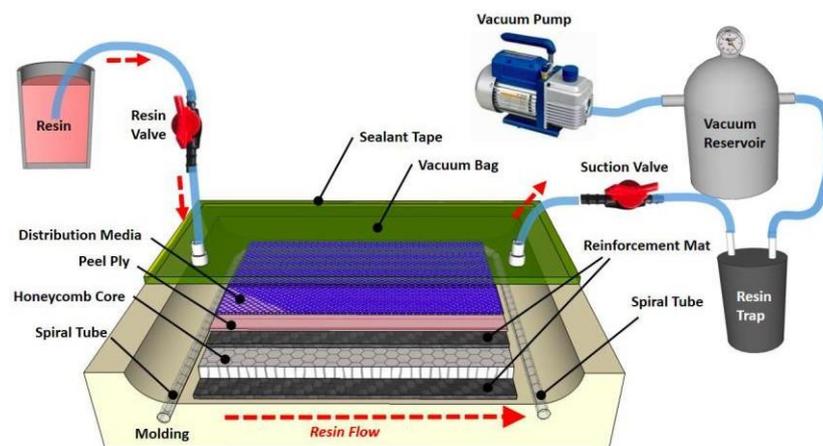
Resin ini merupakan cairan yang masuk dalam bahan *thermoset* dan memiliki kemampuan mengikat serat tanpa mengakibatkan reaksi gas dan dapat meningkatkan kemampuan mekanik antara matriks dan serat maupun *filler* yang lain. (Simanjuntak, 2013)

Katalis merupakan cairan penambah resin *polyester* untuk mempercepat pengerasan resin. Semakin banyak katalis yang dicampurkan pada resin maka akan semakin cepat waktu pengerasan, tetapi akan membuat komposit menjadi getas.

Sebaliknya apabila pencampuran katalis terlalu sedikit, maka akan menyebabkan semakin lama waktu pengerasan resin.

2.4 Vacuum Infusion

Vacuum Infusion adalah metode pembuatan material komposit dengan menggunakan tabung vakum yang memiliki tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin. Metode *Vacuum Infusion* menghasilkan material komposit yang mempunyai rasio fiber-resin yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode *hand lay-up*. Metode *hand lay-up* menggunakan cara manual atau resin langsung dioleskan pada lapisan *skin*, sedangkan pada metode *vacuum infusion* resin dialirkan dengan bantuan tabung vakum yang memiliki tekanan konstan. Penggunaan tekanan vakum yang konstan dapat mengatur distribusi resin agar tetap dalam suatu jumlah tertentu. Hal ini menyebabkan rasio fiber-resin menjadi tinggi sehingga menghasilkan material komposit yang ringan dan kuat. (Patrick E, 2003)



Gambar 2. 4 Skema *Vacuum Infusion*

Pada Gambar 2.4 diatas menunjukkan skema *vacuum infusion*, dimana resin tidak dialirkan secara manual, melainkan dengan menggunakan pompa vakum dan menggunakan tekanan yang rendah agar mengalirnya rata.

2.5 3D Print

3D printing atau sering juga disebut sebagai additive manufacturing adalah suatu model digital untuk pembuatan suatu obyek solid 3 dimensi. Proses pencetakannya dibuat dengan dengan cara menambahkan/meletakkan material lapis demi lapis. Dengan memanfaatkan teknologi ini perancang akan dengan cepat mewujudkan kreasinya menjadi obyek 3D. Metode pencetakan 3D sangat berbeda dengan teknik pemesinan tradisional dimana produk dengan cara mengurangi material awal melalui proses penyayatan. (Petrovic, 2010)



Gambar 2. 5 Mesin 3D Print

Pada Gambar 2.5 diatas menunjukkan gambar mesin 3D *Print* yang digunakan untuk pembuatan spesimen uji *bending* dengan standar ASTM D790. Spesimen uji sendiri dicetak menggunakan material *Polyactic Acid* (PLA), dengan *fill pattern* berbentuk *honeycomb* dan menggunakan *infill* sebesar 20%. PLA merupakan jenis plastik yang termasuk dalam golongan *aliphatic polyester* yang secara umum dibuat dari *a-hydroxy acid* dan bersifat *biodegradable*. (Garlotta D, 2011)

2.6 Pengujian *Bending*

Uji *bending* adalah proses pengujian material dengan cara ditekan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (*bending*) suatu

material yang diuji. Proses pengujian *bending* memiliki 2 macam pengujian, yaitu *3 point bending* dan *4 point bending*. (Khamid,2011)



Gambar 2. 6 *Universal Testing Machine*

Pada Gambar 2.6 diatas menunjukkan alat uji yang digunakan untuk pengujian *bending*. Pada umumnya alat uji *bending* memiliki beberapa bagian utama, seperti : rangka, alat tekan, *point bending* dan alat ukur. Berikut pada tabel 2.1 dibawah ini menunjukkan kelebihan dan kekurangan dari metode uji *three point bending* dan *four point bending*. (Khamid,2011)

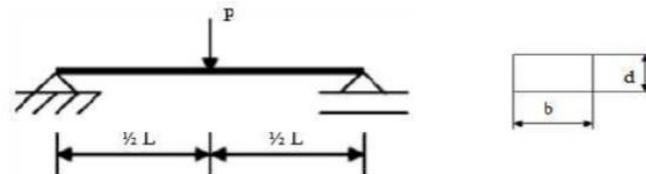
Tabel 2- 1 Kelebihan dan Kekurangan Metode Uji *Three Point Bending* dan *Four Point Bending*

<i>Three Point Bending</i>	<i>Four Point Bending</i>
Kelebihan	Kelebihan
<ul style="list-style-type: none"> - Kemudahan persiapan dan pengujian - Pembuatan point lebih mudah 	<ul style="list-style-type: none"> - Penggunaan rumus perhitungan lebih mudah - Lebih akurat hasil pengujiannya
Kekurangan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> - Kesulitan menentukan titik tengah persis, karena jika posisi tidak ditengah persis penggunaan rumus berubah 	<ul style="list-style-type: none"> - Pembuatan point lebih rumit - 2 point atas harus bersamaan menekan benda uji. Jika salah point lebih dulu menekan benda uji maka terjadi <i>three point bending</i>, sehingga rumus yang digunakan berbeda

Kedua cara pengujian tersebut, baik *three point bending* maupun *four point bending* memiliki cara perhitungan yang berbeda-beda.

a. *Three point bending*

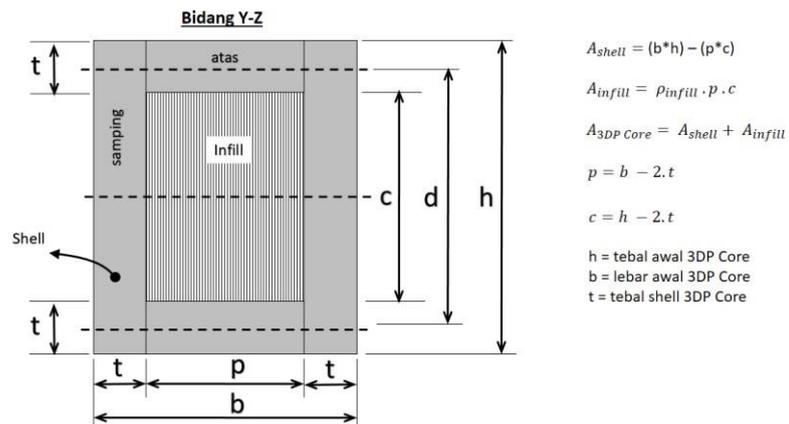
Three point bending adalah pengujian dengan menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan



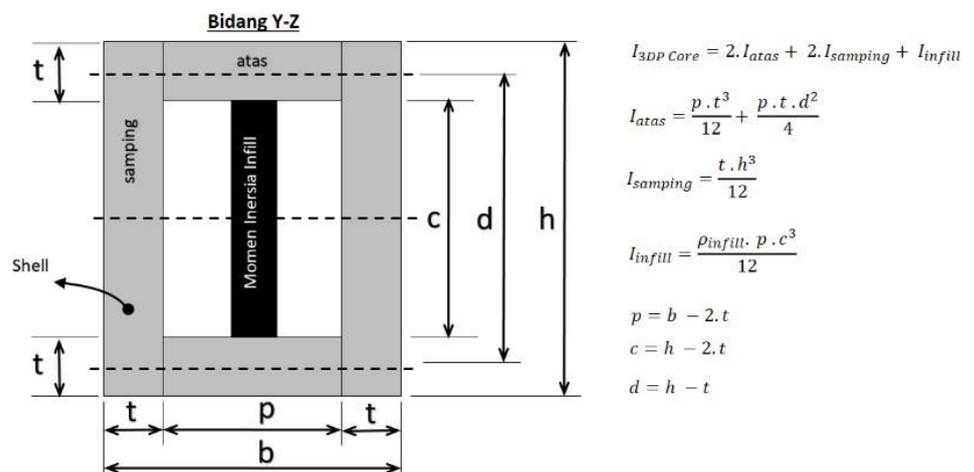
Gambar 2. 7 *Three Point Bending*

Sehingga untuk menghitung kekuatan *bending* dirumuskan sebagai berikut:

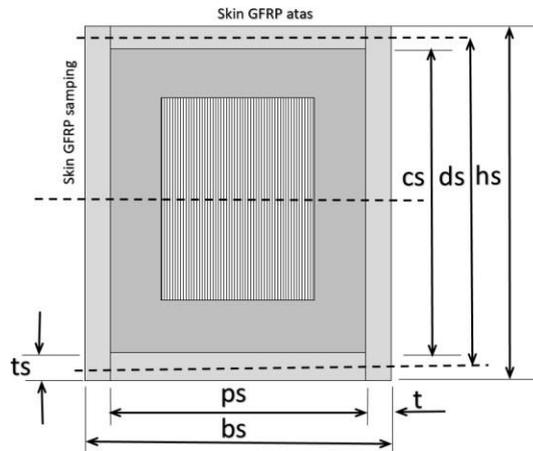
1. Luas Penampang spesimen 3Dprint



2. Momen Inersia 3D print



3. Luas Penampang spesimen Sandwich



$$A_{sandwich} = A_{skin} + A_{3DP\ Core}$$

$$A_{skin} = (bs \cdot hs) - (ps \cdot cs)$$

$$ps = bs - 2 \cdot ts$$

$$cs = hs - 2 \cdot ts$$

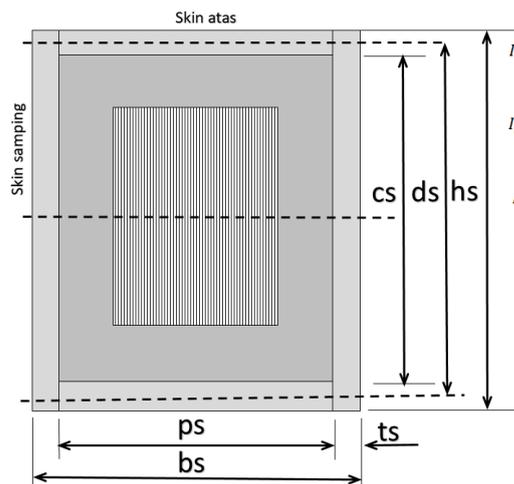
$$ds = hs - ts$$

hs = tebal akhir komposit sandwich

bs = lebar akhir komposit sandwich

ts = tebal skin = $(hs - h_{3DP\ Core})/2$

4. Momen Inersia Sandwich



$$I_{sandwich} = 2 \cdot I_{skin\ atas} + 2 \cdot I_{skin\ samping} + I_{3DP\ Core}$$

$$I_{skin\ atas} = \frac{ps \cdot ts^3}{12} + \frac{ps \cdot ts \cdot ds^2}{4}$$

$$I_{samping} = \frac{ts \cdot hs^3}{12}$$

5. Modulus Elastisitas

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

6. Kekakuan Bending

$$D = E_B \cdot I_{sandwich}$$

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)

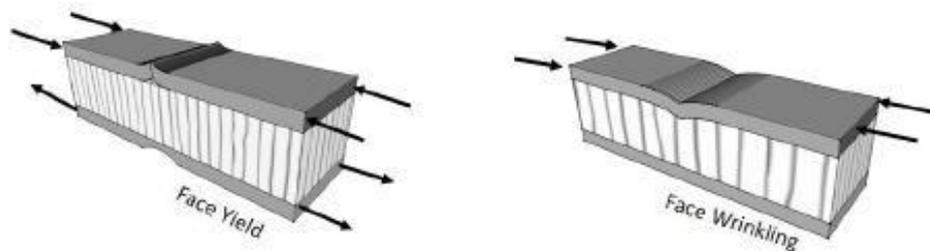
δ = Defleksi (mm)

I = Momen Inersia (kgm)

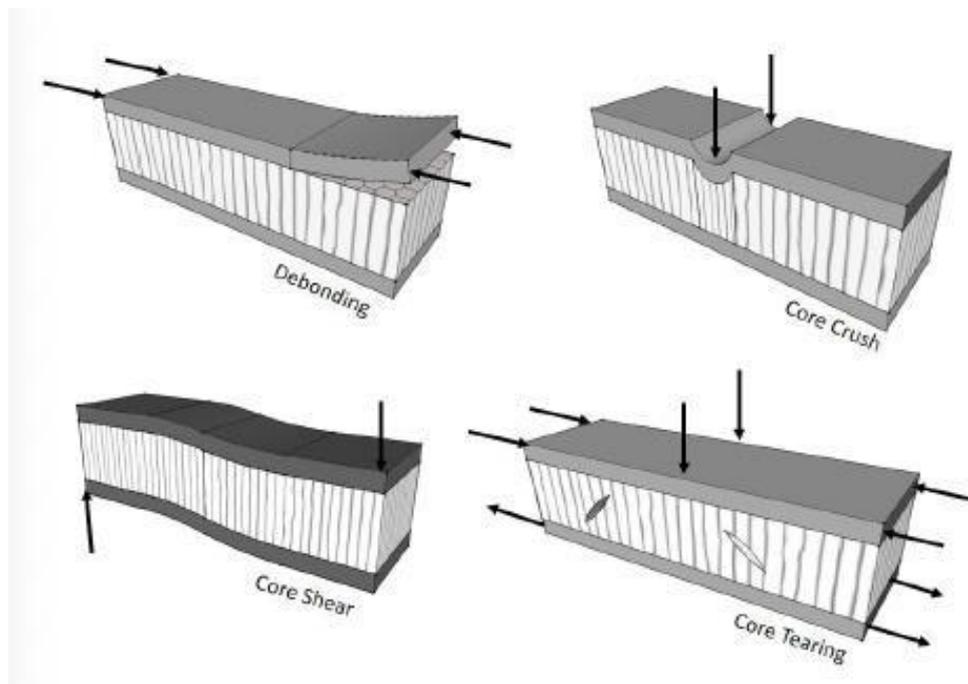
A = Luas Penampang (m²)

2.7 Modulus Kegagalan Pengujian *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 (Petras, n.d.) berikut kegagalan yang terjadi pada komposit sandwich:



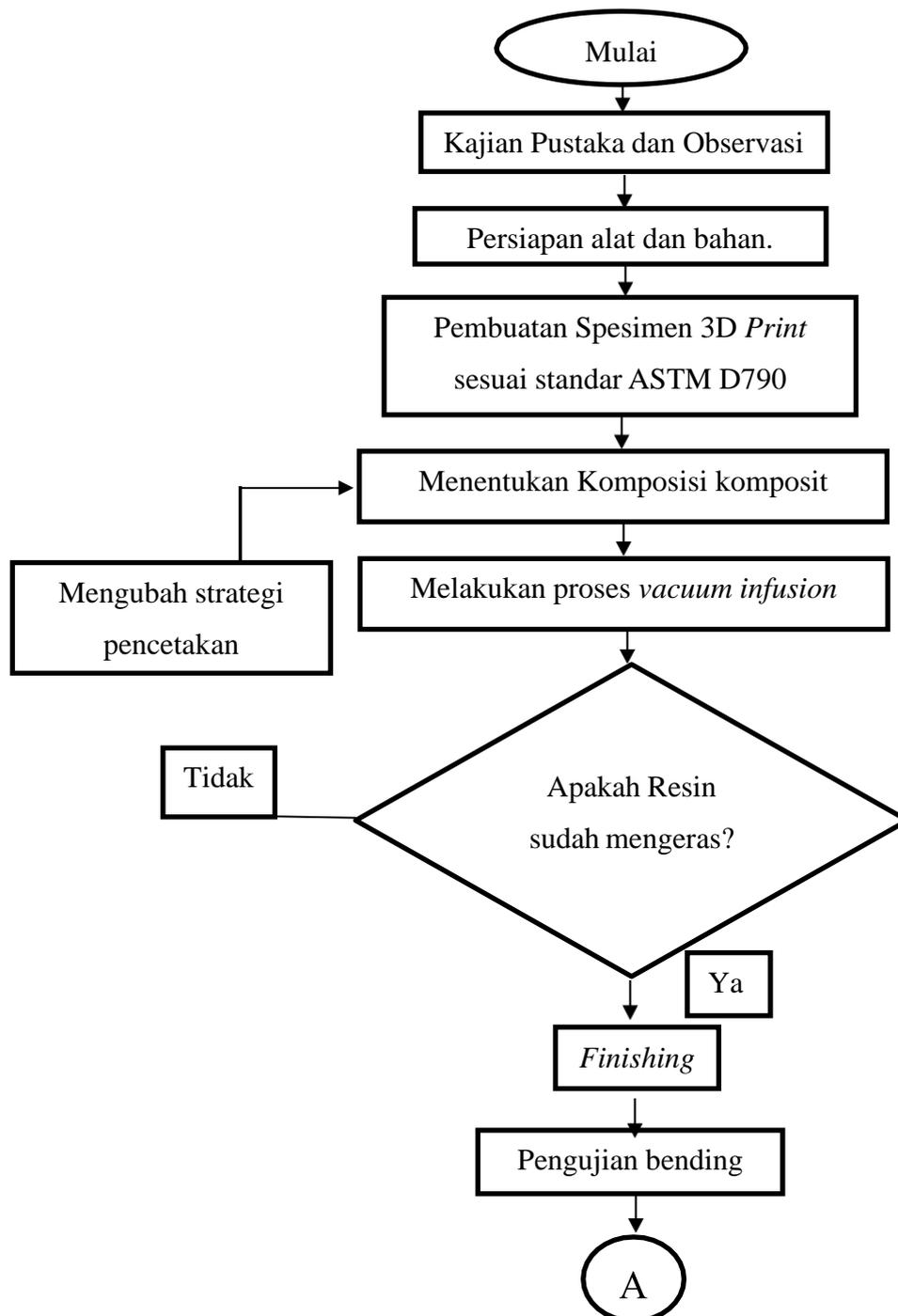
Gambar 2. 8 Jenis-jenis kegagalan pada *skin* komposit *sandwich*

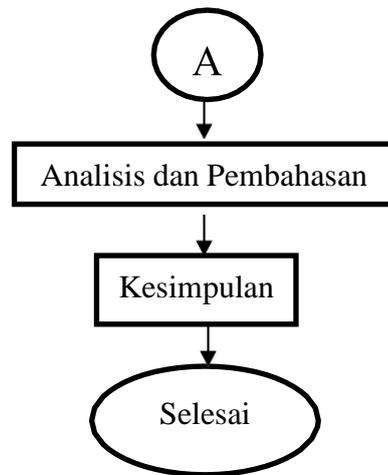


Gambar 2. 9 Jenis-jenis kegagalan pada *core* komposit *sandwich*

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian





3.2 Peralatan dan Bahan

1. Pompa Vakum

Pada gambar 3.1 dibawah ini menunjukkan pompa vakum yang bermerk Krisbow dengan tenaga sebesar $\frac{1}{2}$ HP. Dan berfungsi sebagai penghisap udara pada saat proses *vacuum infusion* dilakukan.



Gambar 3. 1 Pompa *Vacuum*

2. Tabung Reservoir

Pada gambar 3.2 dibawah ini menunjukkan tabung yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan pompa vakum dan memiliki dua input.



Gambar 3. 2 Tabung Reservoir

3. Filter

Pada gambar 3.3 dibawah ini menunjukkan filter yang terbuat dari pipa PVC dengan dua input berdiameter 3,5 inch dan 3 inch yang didalamnya terdapat besi spiral, balutan kawat, dan terakhir dibalut dengan tissue. Filter ini berfungsi sebagai penyerap resin sebelum agar tidak masuk ke tabung reservoir.



Gambar 3. 3 Filter

Pada gambar 3.4 dibawah ini menunjukkan bagian dalam dari filter yang telah terkena cairan resin, dan harus segera dibersihkan sebelum cairan resin tersebut mengeras.



Gambar 3. 4 Hasil filter setelah terkena cairan resin

4. Timbangan

Pada gambar 3.5 dibawah ini menunjukkan timbangan yang berfungsi untuk menakar campuran resin dan katalis. Dan sebagai alat untuk menimbang spesimen sebelum dilapisi komposit dan setelah diberikan komposit.



Gambar 3. 5 Timbangan

5. Gergaji

Pada gambar 3.6 dibawah ini menunjukkan gergaji yang digunakan untuk memotong spesimen uji yang masih terbalut dengan resin yang keras.



Gambar 3. 6 Gergaji

6. *Sealant Tape*

Pada gambar 3.7 menunjukkan buthyl tape yang berfungsi sebagai perekat plastik. Cara kerja dari *sealant tape* ini sama seperti *double tape*.



Gambar 3. 7 *Sealant Tape*

7. Katup Bensin

Pada gambar 3.8 dibawah ini menunjukkan katup bensin yang berfungsi sebagai pengatur udara dari selang resin dan dari selang pompa vakum.



Gambar 3. 8 Keran Bensin

8. *Fiberglass*

Pada gambar 3.9 dibawah ini menunjukkan *fiberglass* yang berfungsi sebagai *skin* pada penelitian ini, dan jenis *fiberglass* yang digunakan pada penelitian ini yaitu jenis *fiberglass* acak.



Gambar 3. 9 *Fiberglass*

9. Resin

Pada gambar 3.10 dibawah ini menunjukkan resin yang berfungsi sebagai bahan yang digunakan untuk merekatkan lapisan – lapisan komposit sándwich. Jenis resin yang digunakan adalah resin polyester wnc 2688.



Gambar 3. 10 Resin wnc 2668

10. Katalis

Pada gambar 3.11 dibawah ini menunjukkan katalis yang berfungsi sebagai campuran resin agar resin cepat mengeras. Perbandingan resin dan katalis yaitu 100:1.



Gambar 3. 11 Katalis

11. Kain *Peelply*

Pada gambar 3.12 dibawah ini menunjukkan kain *peelply* yang berfungsi sebagai pemisah antara serat *fiberglass* dan kain strimin agar kain strimin tidak menyatu dengan *fiberglass*.



Gambar 3. 12 Kain *Peelply*

12. Kain Strimin

Pada gambar 3.13 dibawah ini menunjukkan kain strimin yang berfungsi sebagai pemisah antara plastik *ziplock* dan *peelply* agar tidak terjadi hambatan ketika proses vakum dilakukan, dan untuk mempercepat aliran resin.



Gambar 3. 13 Kain Strimin

13. Plastisin

Pada gambar 3.14 dibawah ini menunjukkan plastisin yang berfungsi sebagai penutup apabila terjadi kebocoran.



Gambar 3. 14 Plastisin

14. Plastik

Pada gambar 3.15 dibawah ini menunjukkan plastic yang berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan lapisan komposit agar mengurangi kebocoran.



Gambar 3. 15 Plastik

15. Selang Spiral

Pada gambar 3.16 dibawah ini menunjukkan selang yang berongga atau biasa disebut selang spiral dan berfungsi sebagai jalur resin untuk memenuhi semua bagian pada plastik *ziplock*.



Gambar 3. 16 Selang Spiral

16. PLA

Pada gambar 3.17 dibawah ini menunjukkan PLA (Polyactic Acid) yang merupakan salah satu bahan dasar untuk pembuatan 3D Print. Dan berfungsi sebagai core pada pembuatan spesimen komposit sandwich.



Gambar 3. 17 PLA

17. Selang pneumatik

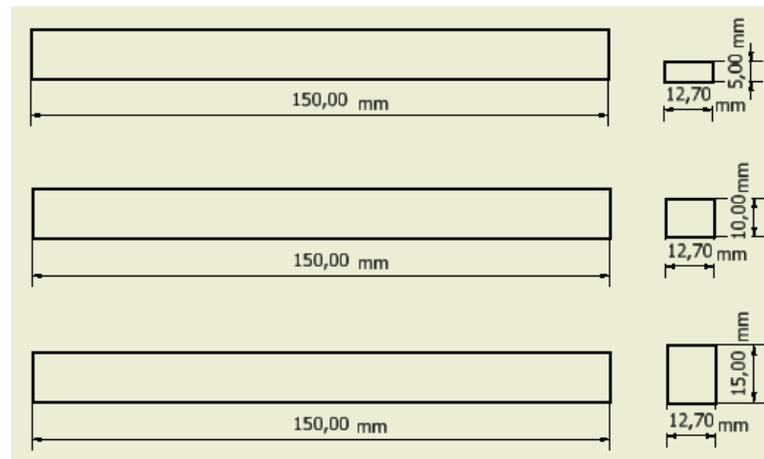
Pada Gambar 3.18 dibawah ini menunjukkan selang pneumatik yang berfungsi sebagai jalur udara dari plastik ziplock ke pompa vakum, dan jalur masuk resin ke plastik ziplock.



Gambar 3. 18 Selang pneumatik

3.3 Dimensi Spesimen *Bending*

Spesimen komposit sandwich yang digunakan pada penelitian ini menggunakan standar ASTM D790, dengan infill 20%, dan fill pattern *honeycomb*.

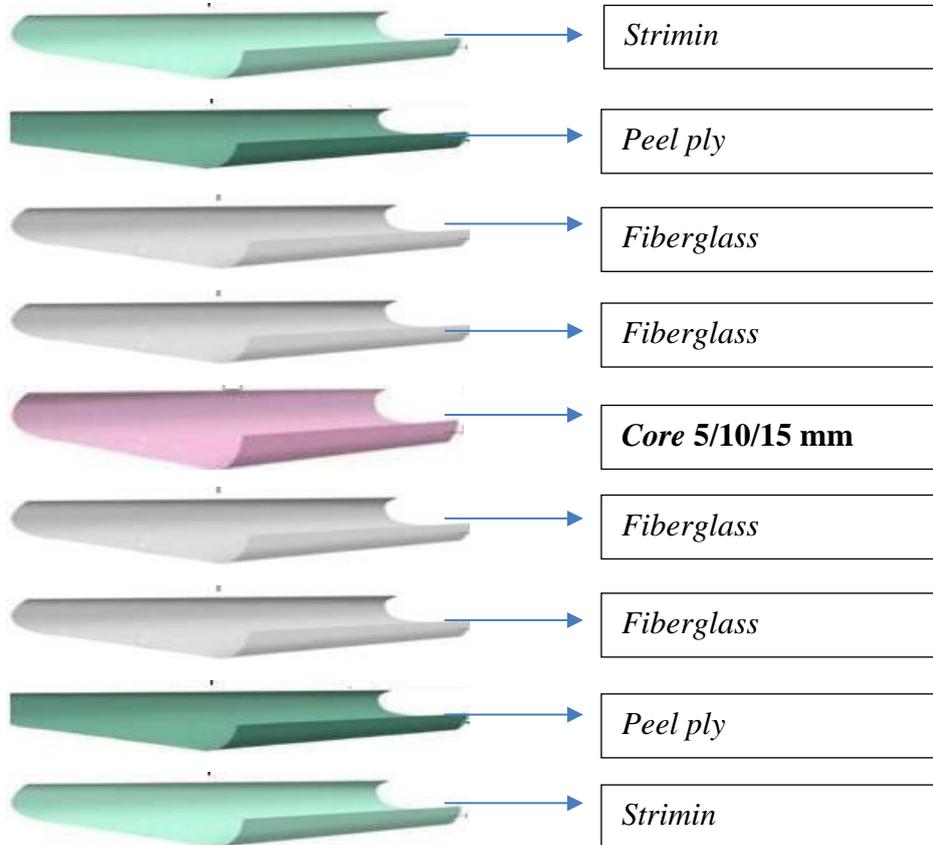


Gambar 3. 19 Dimensi spesimen uji *Bending*

Pada Gambar 3.19 diatas menunjukkan desain spesimen yang akan dibuat pada penelitian ini, dengan rincian antara lain, *core* 5mm, 10mm, *core* 15mm dengan masing-masing menggunakan 2 *skin fiberglass*, serta desain yang menggunakan *core* 5mm, 10mm, dan 15 mm tanpa menggunakan lapisan *skin*. Dalam pembuatan spesimen uji ini, masing-masing desain dibuat 3 buah guna mencari nilai rata-rata. Dengan jumlah total spesimen yang dibuat yaitu 12 buah.

3.4 Komposisi Komposit Sandwich

1. 3D print dengan *core* 5/10/15mm + 2 lapisan *fiberglass*

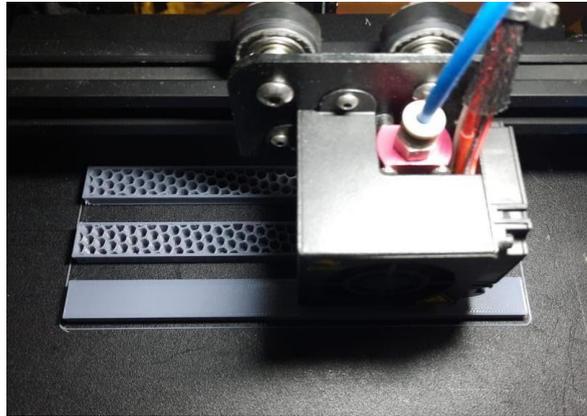


Gambar 3. 20 Komposisi Komposit *sandwich* dengan *core* 5/10/15 mm

Pada gambar 3.20 diatas menunjukkan komposisi lapisan komposit yang menggunakan *core* berukuran 5/10/15mm.

3.5 Proses Pengerjaan

3.5.1 Pembuatan *Core* dengan mesin 3D printing



Gambar 3. 21 Proses 3D *printing* spesimen

Pada gambar 3.21 ini ini menunjukkan proses pembuatan *core* yang bentuknya sesuai dengan standar uji ASTM D790 dengan menggunakan mesin 3D printing. Spesimen uji dibuat dengan menggunakan bahan PLA(Polyactic Acid), dengan infill 20%, tebal layer 0,2 mm, suhu meja 80 °C, suhu nozzle 220 °C, speed 50 mm/s, dan menggunakan *honeycomb* sebagai fill patternnya.

3.5.2 Proses *Vacuum Infusion*

1. Menyusun *fiberglass*, *strimin*, *buthyl tape* dan *peelply*



Gambar 3. 22 Lapisan susunan komposit sandwich

Pada gambar 3.22 diatas ini menunjukkan susunan komposit sandwich, sesuai dengan gambar 3.4 dengan menggunakan 2 lapisan *fiberglass* dibagian atas dan bawah guna membentuk sandwich.

2. Pemasangan selang spiral



Gambar 3. 23 Pemasangan selang *spiral*

Pada gambar 3.23 menunjukkan proses pemasangan selang *spiral* mengelilingi lapisan komposit *sandwich* dan berbentuk *later U* agar ketika proses vakum dilakukan, maka resin akan menyebar keseluruh bagian dari *fiberglass*.

3. Meletakkan semua bahan kedalam plastik



Gambar 3. 24 Memasukkan susunan komposit kedalam plastik

Pada gambar 3.24 diatas menunjukkan proses memasukkan seluruh bahan yang sudah disusun membentuk susunan komposit kedalam plastik agar memudahkan ketika proses vakum dilakukan.

4. Proses pencampuran Resin dan Katalis



Gambar 3. 25 Pencampuran Resin dan Katalis

Pada gambar 3.25 menunjukkan proses mencampurkan resin dengan jenis 2668 wnc dengan katalis, dan dengan perbandingan 100:1. Jadi apabila resin dengan berat 200gr, maka katalis yang dicampurkan sebanyak 2gr.

5. Proses *vacuum infusion*



Gambar 3. 26 Proses *Vacuum infusion*

Proses *vacuum infusion* dapat dilihat pada gambar 3.26 diatas yang memiliki 4 input, input pertama pompa vakum, input kedua, ketiga, dan keempat dari cairan resin.

6. Hasil dari *vacuum infusion*



Gambar 3. 27 Hasil *Vacuum Infusion*

Pada gambar 3.27 diatas menunjukkan hasil dari proses *vacuum infusion* yang telah dikeringkan selama kurang lebih 24 jam didalam suhu ruangan, dan telah dikeluarkan dari plastic ziplock.

3.5.3 Finishing

1. Pemotongan hasil *vacuum infusion*



Gambar 3. 28 Pemotongan menggunakan gerinda

Pada gambar 3.28 diatas menunjukkan proses memotong bagian yang tidak perlu dari hasil proses *vacuum infusion*.

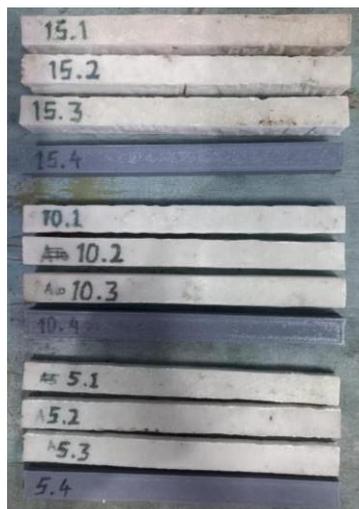
2. Proses Pengamplasan spesimen



Gambar 3. 29 Proses Pengamplasan spesimen uji

Proses pengamplasan spesimen dapat dilihat pada gambar 3.29 diatas. Proses ini bertujuan agar spesimen lebih rapih, dan pinggirannya tidak terdapat resin yang mengeras.

3. Hasil Setelah Finishing



Gambar 3. 30 Spesimen uji yang telah di amplas

Pada gambar 3.30 menunjukkan gambar spesimen uji yang telah dilakukan finishing seperti pada gambar 3.28 dan 3.29. Pada gambar 3.37 juga menunjukkan gambar spesimen uji yang telah diurutkan berdasarkan variasinya masing – masing. Kode 15.1 memiliki pengertian tebal *core* yang digunakan yaitu 15mm dengan nomor pertama. Kode 10.2 memiliki pengertian tebal *core* yang digunakan yaitu 10mm dengan nomor ke-dua. Sedangkan untuk spesimen yang berwarna abu-abu dan memiliki kode akhir angka 4 menunjukkan spesimen uji yang tanpa dilapisi *skin fiberglass* atau hanya *3D print* dengan *fill pattern honeycomb* saja.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian *Bending*

Pengujian spesimen dilakukan menggunakan pengujian *bending*, untuk mengetahui nilai kekuatan maksimal dari 9 spesimen yang telah dilapisi komposit dan 3 spesimen yang tidak dilapisi komposit. Pada pengujian *bending* ini menggunakan standar uji ASTM D790 dan dilakukan dilaboratorium bahan teknik UGM. Pada gambar 4.1 ini menunjukkan gambar proses pengujian *bending* dilakukan.



Gambar 4. 1 Proses *Three Point Bending*

Pada gambar 4.1 menunjukkan gambaran spesimen uji yang telah diletakkan pada mesin *universal testing machine*, dan menggunakan metode *three point bending*.

4.2 Hasil Spesimen Pengujian *Bending*

Dari proses pengujian *bending* pada spesimen uji yang dilakukan pada Laboratorium Bahan Teknik UGM mendapatkan hasil seperti pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4. 2 spesimen uji setelah pengujian *bending*

Pada gambar 4.2 menunjukkan gambar spesimen uji yang telah dilakukan pengujian *bending*. Jika dilihat pada masing – masing spesimen yang telah dilakukan pengujian, terjadi beberapa modulus kegagalan yang berbeda.

Tabel 4- 1 Perbandingan Berat, Lebar dan Tebal Spesimen Setelah *Vacuum Infusion*

No.	Kode Spesimen	Berat Awal	Berat Akhir	Lebar Awal	Lebar Akhir	Tebal Awal	Tebal Akhir
1	Kode 5_1	5,4gr	12,2gr	12,7mm	13,46mm	5mm	7,18mm
2	Kode 5_2	5,4gr	11,9gr	12,7mm	13,39mm	5mm	7,17mm
3	Kode 5_3	5,4gr	10,5gr	12,7mm	13,38mm	5mm	6,46mm
4	Kode 10_1	9,4gr	15,4gr	12,7mm	14,11mm	10mm	11,98mm
5	Kode 10_2	9,4gr	15,6gr	12,7mm	13,25mm	10mm	11,72mm
6	Kode 10_3	9,4gr	15,8gr	12,7mm	13,49mm	10mm	11,26mm
7	Kode 15_1	13,1gr	19,5gr	12,7mm	13,52mm	15mm	17,48mm
8	Kode 15_2	13,1gr	19,1gr	12,7mm	13,64mm	15mm	16,60mm
9	Kode 15_3	13,1gr	19,4gr	12,7mm	13,24mm	15mm	16,97mm

Pada tabel 4.1 menunjukkan berat spesimen sebelum dilakukan komposit *sandwich* dan setelah dilakukan proses vakum, dimana berat spesimen uji rata-rata bertambah berat 5 – 6 gram, lebar dan tebal spesimen rata-rata bertambah 1-2cm.

4.2.1 Hasil uji *bending core* 5mm, 10mm dan 15mm dengan *skin*

Tabel 4- 2 Tabel Uji *Bending core* 5mm, 10mm dan 15mm dengan *skin*

No.	Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (kN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (Mpa)
1	Kode 5_1	7,18	13,46	0,40	4,84	86,47
2	Kode 5_2	7,17	13,39	0,46	4,80	100,24
3	Kode 5_3	6,46	13,38	0,08	2,32	21,49
4	Kode 10_1	11,98	14,11	0,73	4,22	54,07
5	Kode 10_2	11,72	13,25	0,44	2,63	36,26
6	Kode 10_3	11,26	13,49	0,36	4,57	31,57
7	Kode 15_1	17,48	13,52	1,03	5,18	37,40
8	Kode 15_2	16,60	13,64	0,81	3,54	32,33
9	Kode 15_3	16,97	13,24	0,69	2,51	27,14

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai tegangan Mpa terbesar terjadi pada kode 5_2 dengan nilai 100,24 Mpa, dan untuk nilai tegangan Mpa terkecil terjadi pada kode 5_3 dengan nilai 21,49 Mpa. Sedangkan untuk nilai beban maksimal pada spesimen uji terjadi pada kode 15_1 dengan nilai 1,03 KN.

4.2.2 Hasil uji *bending core* 5mm, 10mm dan 15 mm tanpa *skin*

Tabel 4- 3 Tabel Uji *Bending Core* 5mm, 10mm, dan 15mm tanpa *skin*

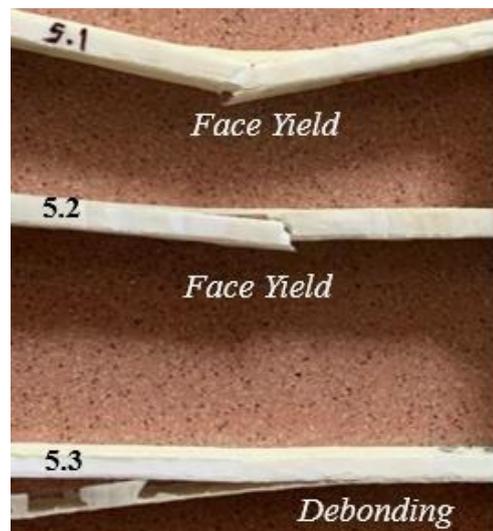
No.	Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (kN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (Mpa)
1	Kode 5_4	5,20	12,74	0,07	5,11	30,48
2	Kode 10_4	10,10	12,77	0,18	3,37	20,73
3	Kode 15_4	15,08	12,92	0,36	3,11	18,38

Dari tabel 4.3 diatas dapat dilihat, nilai tegangan Mpa terbesar terjadi pada kode 5_4 dengan nilai 30,48 Mpa, dan untuk nilai tegangan Mpa terkecil terjadi

pada kode 15_4 dengan nilai 18,38 Mpa. Sedangkan untuk nilai beban maksimal pada spesimen uji tanpa *skin* terjadi pada kode 15_4 dengan nilai 0.36 KN.

4.3 Analisis Dan Perhitungan

4.3.1 Analisis Modulus Kegagalan Core 5mm



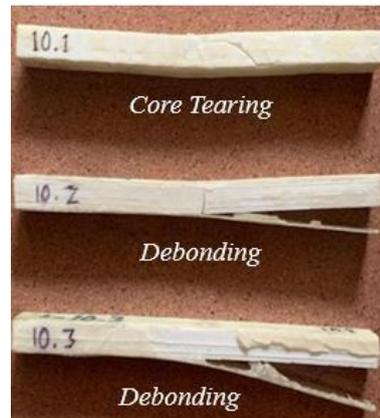
Gambar 4. 3 Hasil uji spesimen *core* 5mm

Pada gambar 4.3 diatas menunjukkan gambar spesimen dengan tebal *core* 5mm dengan 2 *skin fiberglass*. dari hasil uji *bending* tersebut dapat dilihat setiap spesimen memiliki modulus kegagalan pengujian yang berbeda, pada kode 5.1 dan pada kode 5.2 mengalami kegagalan *face yield* yaitu kegagalan pada *skin* akibat kekuatan tarik, Pada kode 5.3 memiliki jenis kegagalan yaitu *debonding* dimana *skin* pada bagian bawah spesimen terlepas dari *core*.

Apabila mengacu pada penelitian (Gufran,2021) yang meneliti tentang pengaplikasian komposit sandwich menggunakan fiberglass pada rangka *drone* dengan ketebalan 10mm. Jika, patahan seperti pada gambar 4.3 terjadi pada rangka *drone* tersebut. Maka, rangka *drone* akan mengalami kegagalan *face yield* dan

debonding. Akan tetapi jika menggunakan ketebalan 5mm, ditakutkan bahwa rangka tersebut tidak dapat membawa mesin *drone* untuk terbang.

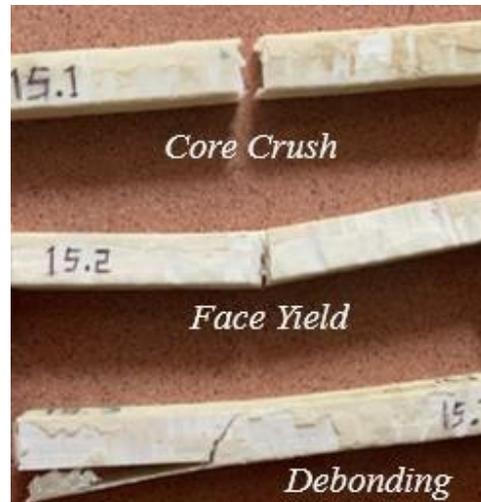
4.3.2 Analisis Modulus Kegagalan *Core* 10mm



Gambar 4. 4 Hasil uji spesimen *core* 10mm

Pada gambar 4.4 diatas menunjukkan gambar spesimen dengan tebal *core* 10mm dengan 2 *skin fiberglass*. dari hasil uji *bending* tersebut dapat dilihat setiap spesimen mengalami modulus kegagalan yang berbeda. Pada kode 10.1 mengalami kegagalan *core tearing* yaitu kegagalan pada *core* akibat menerima pembebanan *bending*, dimana titik patah *core* tidak dibagian tengah spesimen, melainkan pada sisi kanan spesimen. Pada kode 10.2 dan 10.3 mengalami modulus kegagalan *debonding* atau delaminasi, yaitu *skin fiberglass* terlepas dari *core*. Apabila diaplikasikan pada pembuatan rangka *drone* yang menggunakan komposit *sandwich* akan mengalami patahan seperti pada gambar 4.4. Yang dapat menyebabkan rangka *drone* mengalami kegagalan *core tearing* atau *debonding*. Akan tetapi, bagian- bagian pada rangka *drone* tidak sampai hancur.

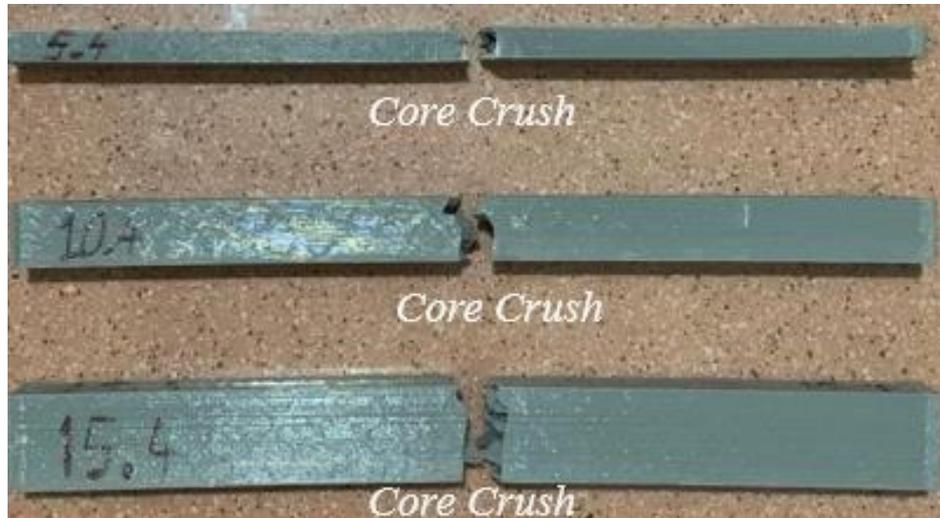
4.3.3 Analisis Modulus Kegagalan Core 15mm



Gambar 4. 5 Hasil uji spesimen core 15mm

Pada gambar 4.5 diatas menunjukkan gambar spesimen dengan tebal core 15mm dengan 2 lapis *skin fiberglass*. Dari hasil uji *bending* yang dilakukan terjadi modulus kegagalan yang berbeda dari spesimen tersebut. Pada kode 15.1 mengalami modulus kegagalan *core crush*, dimana kegagalan core ketika menerima pembebanan, seperti dapat dilihat pada gambar 4.7 bahwa spesimen dengan kode 15.1 sampai mengalami patah. Pada kode 15.2 mengalami modulus kegagalan *face yield*, yaitu kegagalan *skin* dalam menerima kekuatan tarik. Pada kode 15.3 mengalami kegagalan *debonding*, yaitu *skin* pada bagian bawah terlepas dari core. Apabila diaplikasikan pada pembuatan rangka *drone* yang menggunakan komposit *sandwich* akan mengalami patahan seperti pada gambar 4.5. Yang paling fatal yaitu apabila terjadi kegagalan *core crush*, yang dapat menyebabkan rangka *drone* berubah bentuk atau terurai menjadi beberapa bagian.

4.3.4 Analisis Modulus Kegagalan Core 5mm, 10mm dan 15mm Tanpa Skin



Gambar 4. 6 Hasil Uji Spesimen *core* 5mm, 10mm dan 15mm Tanpa *Skin*

Pada gambar 4.6 diatas menunjukkan gambar spesimen dengan tebal *core* 5mm, 10mm dan 15mm tanpa *skin*. dari hasil uji *bending* tersebut memiliki modulus kegagalan yang sama, yaitu *core crush* dimana spesimen uji tidak dapat menahan pembebanan sehingga spesimen sampai patah.

4.4 Perhitungan

Pada tabel 4.1 dan 4.2 merupakan data hasil pengujian *bending* dengan mesin *universal testing machine* dengan metode *three point bending*. Dimana selanjutnya yaitu mencari nilai Luas Penampang, Momen Inersia, Tegangan *Bending*, Modulus Elastisitas *Bending* dan Kekakuan *Bending* dengan menggunakan rumus pada bab 2.

Berikut digunakan data pengujian spesimen yang tidak dilapisi komposit *sandwich* dengan kode 5_4, dengan contoh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } b &= 12,74 \text{ mm} & h &= 5,20 \text{ mm} & d &= 3,95 \text{ mm} \\ t &= 1,25 \text{ mm} & p_{\text{infill}} &= 5,4/9525 \text{ mm} \end{aligned}$$

1. Luas Penampang 3D Print

$$\begin{aligned} p &= b - 2 \cdot t \\ &= 12,74 - (2 \cdot 1,25) \\ &= 12,74 - 2,5 \\ &= 10,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= h - 2 \cdot t \\ &= 5,20 - (2 \cdot 1,25) \\ &= 5,20 - 2,5 \\ &= 2,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{shell}} &= (b \times h) - (p \times c) \\ &= (12,74 \times 5,20) - (10,24 \times 2,7) \\ &= 66,248 - 27,729 \\ &= 38,60 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{infill}} &= p_{\text{infill}} \times p \times c \\ &= 0,00056 \times 10,24 \times 2,7 \\ &= 0,0155 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{3D \text{ Print}} &= A_{\text{shell}} + A_{\text{infill}} \\ &= 38,519 + 0,0154 \\ &= 38,62 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Momen Inersia 3D Print

$$\begin{aligned} I_{\text{atas}} &= \frac{p \cdot t^3}{12} + \frac{p \cdot t \cdot d^2}{4} \\ &= \frac{10,24 \cdot (1,25)^3}{12} + \frac{10,24 \cdot 1,25 \cdot (3,95^2)}{4} \\ &= 1,664 + 49,92 \end{aligned}$$

$$= 51,58 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{samping} &= \frac{t \cdot h^3}{12} \\ &= \frac{1,25 \cdot (5,90)^3}{12} \\ &= \frac{256,72}{12} \\ &= 21,39 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{infill} &= \frac{\rho_{infill} \cdot p \cdot x \cdot c^3}{12} \\ &= \frac{0,00056 \cdot 10,24 \cdot (2,7)^3}{12} \\ &= 0,009 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{3D \text{ Print}} &= 2 \cdot I_{atas} + 2 \cdot I_{samping} + I_{infill} \\ &= 2 \cdot 51,58 + 2 \cdot 21,39 + 0,009 \\ &= 402,68 + 42,78 + 0,009 \\ &= 145,94 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berikut digunakan data pengujian *bending* komposit *sandwich* dengan kode 5_1, dengan contoh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } bs &= 13,46 \text{ mm} & hs &= 7,18 \text{ mm} \\ ts &= 0,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

1. Luas Penampang *Sandwich*

$$\begin{aligned} ps &= bs - 2 \cdot ts \\ &= 13,46 - 2(0,75) \\ &= 11,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} cs &= hs - 2 \cdot ts \\ &= 7,18 - 2(0,75) \\ &= 5,68 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ds &= hs - ts \\ &= 7,18 - 0,75 \\ &= 6,43 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{skin} &= (bs \cdot hs) + (ps \cdot cs) \\
&= (13,46 \cdot 7,18) + (11,96 \cdot 5,68) \\
&= 96,64 + 67,93 \\
&= 164,57 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{sandwich} &= A_{skin} + A_{3Dprint} \\
&= 164,57 + 38,534 \\
&= 203,10 \text{ mm}
\end{aligned}$$

2. Momen Inersia Sandwich

$$\begin{aligned}
I_{skin} &= \frac{ps \cdot ts^3}{12} + \frac{ps \cdot ts \cdot ds^2}{4} \\
\text{atas} & \\
&= \frac{11,96 \cdot (0,75)^3}{12} + \frac{11,96 \cdot 0,75 \cdot (6,43^2)}{4} \\
&= 0,418 + 92,70 \\
&= 93,19 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{samping} &= \frac{ts \cdot hs^3}{12} \\
&= \frac{0,75 \cdot (7,18)^3}{12} \\
&= \frac{277,605}{12} \\
&= 23,13 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{sandwich} &= 2 \cdot I_{skin \text{ atas}} + 2 \cdot I_{skin \text{ samping}} + I_{3Dprint} \\
&= 2 \cdot 93,16 + 2 \cdot 23,13 + 445,47 \\
&= 186,32 + 46,26 + 445,47 \\
&= 678,05 \text{ mm}
\end{aligned}$$

3. Modulus Elastisitas *Bending*

$$\begin{aligned}
E_B &= \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \delta \cdot I_{sandwich}} \\
E_B &= \frac{400 \cdot 100^3}{48 \cdot 4,84 \cdot 678,05}
\end{aligned}$$

$$E_b = \frac{400.000.000}{157,524}$$

$$E_b = 2.539,29 \text{ MPa}$$

4. Kekuatan *Bending*

$$D = E_b \cdot I$$

$$D = 2.539,29 \times 678,05$$

$$D = 1.721.765,58 \text{ MN.mm}^2$$

Tabel 4- 4 Hasil Perhitungan *Bending* Spesimen menggunakan *skin*

Kode Spesimen	Beban Maks (N)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	σ_b (Mpa)	E_b (Mpa)	Kekakuan <i>Bending</i> (GPa)
Kode 5_1	400	203,10	678,05	92,90	2.539,29	1,72
Kode 5_2	460	201,96	676,15	106,83	2.952,77	1,99
Kode 5_3	80	183,89	625,25	18,58	1.148,96	0,71
Kode 10_1	730	352,15	1.731,86	59,24	2.080,93	3,60
Kode 10_2	440	326,34	1.453,21	35,70	2.398,42	3,48
Kode 10_3	360	319,88	1.396,86	29,21	1.174,88	1,64
Kode 15_1	1.030	492,22	3.158,77	39,60	1.311,44	4,14
Kode 15_2	810	473,55	2.945,01	31,14	1.618,65	4,76
Kode 15_3	690	473,04	2.998,63	26,52	1.909,90	5,72

Dari tabel 4.4 menunjukkan hasil perhitungan beban maksimal, luas penampang, momen inersia, tegangan *bending*, modulus elastisitas dan kekakuan *bending*. Dimana untuk nilai modulus elastisitas tertinggi pada spesimen uji ditunjukkan pada spesimen dengan kode 5_2.

Tabel 4- 5 Hasil Perhitungan *Bending* Spesimen Tanpa *Skin*

Kode Spesimen	Beban Maks (N)	A (mm ²)	I (kgmm ²)	σ_b (Mpa)	E_b (Mpa)	Kekakuan <i>Bending</i> (N.mm ²)
Kode 5_4	70	38,53	145,94	30,48	1.955,52	0,28
Kode 10_4	180	50,96	720,91	20,73	1.543,56	1,11
Kode 15_4	360	63,81	1.964,24	18,38	1.227,74	2,41

Dari tabel 4.5 menunjukkan nilai perhitungan beban maksimal, luas penampang, momen inersia, tegangan *bending*, modulus elastisitas dan kekakuan *bending* dari spesimen yang diuji tanpa menggunakan *skin fiberglass*. Dimana modulus elastisitas tertinggi didapatkan pada kode 5_4.

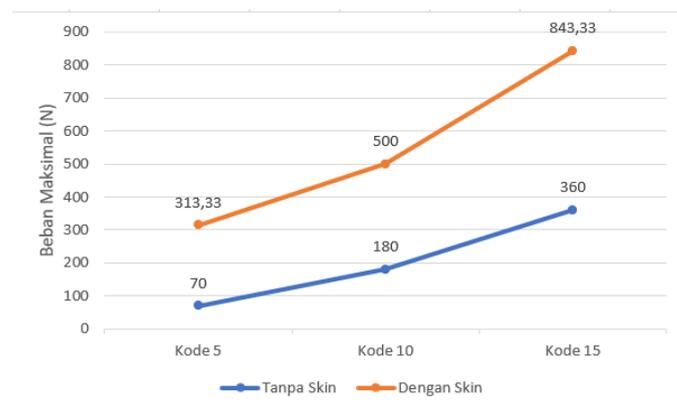
4.5 Pembahasan

4.5.1 Beban Maksimal

Tabel 4- 6 Perbandingan Beban Maksimal antara spesimen yang dilapisi *skin* dan tidak dilapisi *skin*

Kode Spesimen	Beban Maksimal (N)		Selisih (N)	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
Kode 5	313,33	70	243,33	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 4,5x
Kode 10	500	180	320	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 2,8x
Kode 15	843,33	360	483,33	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 2,3x

Dari tabel 4.6 menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin (fiberglass)* dengan metode *vacuum infusion* memiliki beban maksimal yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*.



Gambar 4. 7 Grafik Beban Maksimal Spesimen Tanpa *Skin* dan Spesimen Dengan *Skin*

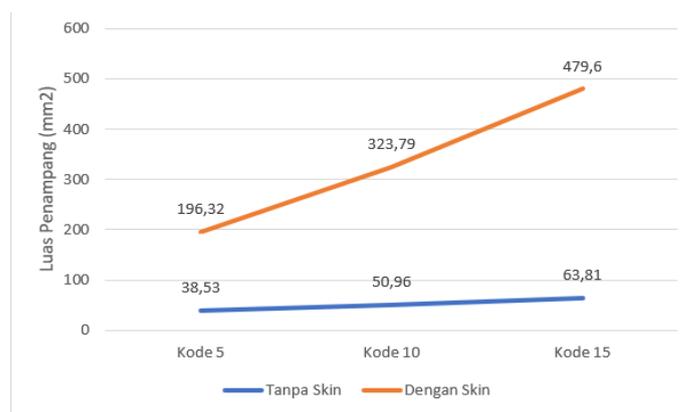
Pada gambar 4.7 menunjukkan grafik beban maksimal, dimana semakin tebal *core* membuat nilai beban maksimalnya menjadi tinggi. Pada gambar 4.7 juga menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin* (*fiberglass*) dengan metode *vacuum infusion* memiliki beban maksimal yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*.

4.5.2 Luas Penampang

Tabel 4- 7 Perbandingan Luas Penampang Antara Spesimen yang Dilapisi *Skin* dan Tidak Dilapisi *Skin*

Kode Spesimen	Luas Penampang (mm ²)		Selisih (mm ²)	Keterangan
	Dengan Skin	Tanpa Skin		
Kode 5	196,32	38,53	157,79	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 5,1x
Kode 10	323,79	50,96	272,83	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 6,3x
Kode 15	479,60	63,81	415,79	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 7,5x

Dari tabel 4.7 menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin* (*fiberglass*) dengan metode *vacuum infusion* memiliki Luas Penampang yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*.



Gambar 4. 8 Grafik Luas Penampang Spesimen Tanpa *Skin* dan Spesimen Dengan *Skin*

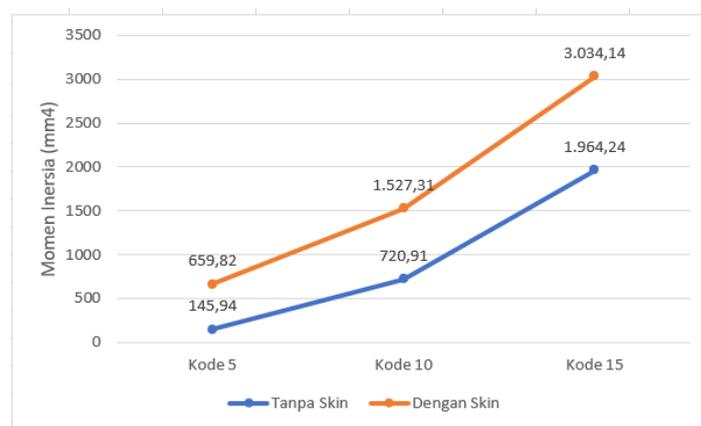
Pada gambar 4.8 menunjukkan grafik Luas Penampang, dimana semakin tebal *core* membuat nilai luas penampangnya menjadi tinggi. Pada gambar 4.8 juga menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin (fiberglass)* dengan metode *vacuum infusion* memiliki momen lentur yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*.

4.5.3 Momen Inersia

Tabel 4- 8 Perbandingan Momen Inersia Antara Spesimen yang Dilapisi *Skin* dan Tidak Dilapisi *Skin*

Kode Spesimen	Momen Inersia (mm ⁴)		Selisih (mm ⁴)	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
Kode 5	659,82	145,94	513,88	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 4,5x
Kode 10	1.527,31	720,91	806,4	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 2,1x
Kode 15	3.034,14	1.964,24	1.069,9	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 1,5x

Dari tabel 4.8 menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin (fiberglass)* dengan metode *vacuum infusion* memiliki Momen Inersia yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*.



Gambar 4. 9 Grafik Momen Inersia Spesimen Tanpa *Skin* dan Spesimen Dengan *Skin*

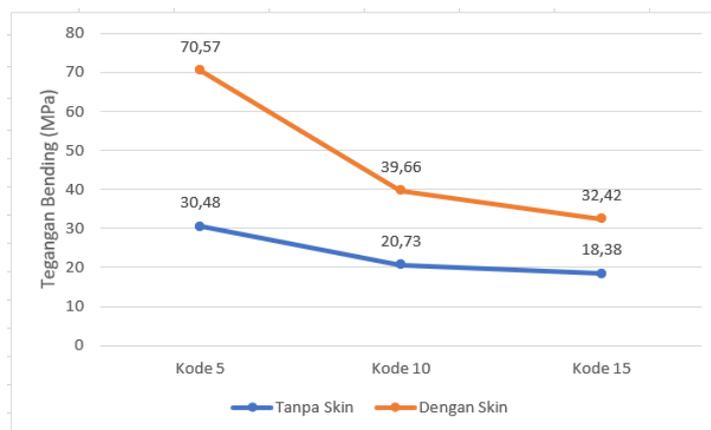
Pada gambar 4.9 menunjukkan grafik Momen Inersia, dimana semakin tebal *core* membuat nilai momen inersianya menjadi tinggi. Pada gambar 4.9 juga menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin (fiberglass)* dengan metode *vacuum infusion* memiliki momen lentur yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*.

4.5.4 Tegangan *Bending*

4- 9 Perbandingan Tegangan *Bending* Antara Spesimen yang Dilapisi *Skin* dan Tidak Dilapisi *Skin*

Kode Spesimen	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)		Selisih (MPa)	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
Kode 5	70,57	30,48	40,09	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 2,3x
Kode 10	39,66	20,73	18,93	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 1,9x
Kode 15	32,42	18,38	14,04	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 1,8x

Dari tabel 4.9 menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin (fiberglass)* dengan metode *vacuum infusion* memiliki Tegangan *Bending* maksimal yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*.



Gambar 4. 10 Grafik Tegangan *Bending* Spesimen Tanpa *Skin* dan Spesimen Dengan *Skin*

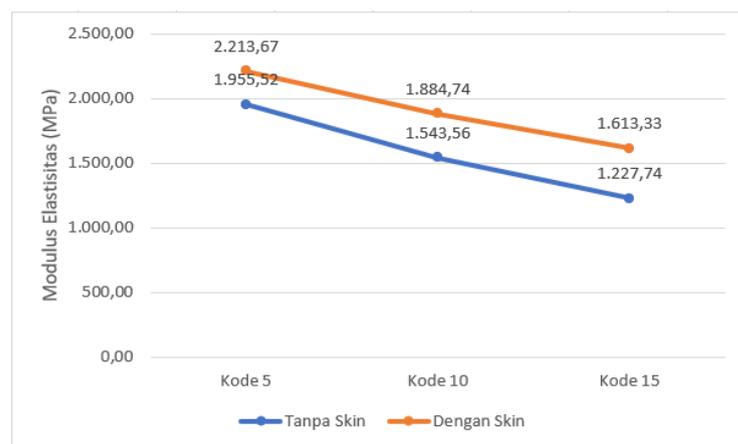
Pada gambar 4.10 menunjukkan grafik tegangan *bending*, dimana semakin tebal *core* tidak membuat nilai tegangan *bending*nya menjadi tinggi. Pada grafik ini juga menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin (fiberglass)* dengan metode *vacuum infusion* memiliki tegangan *bending* yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan *komposit sandwich*.

4.5.5 Modulus Elastisitas

Tabel 4- 10 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Antara Spesimen yang Dilapisi *Skin* dan Tidak Dilapisi *Skin*

Kode Spesimen	Modulus Elastisitas (MPa)		Selisih (MPa)	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
Kode 5	2.213,67	1.955,52	258,15	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 1,1x
Kode 10	1.884,74	1.543,56	341,18	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 1,2x
Kode 15	1.613,33	1.227,74	385,59	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 1,3x

Dari tabel 4.10 menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin (fiberglass)* dengan metode *vacuum infusion* memiliki Modulus Elastisitas yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*.



Gambar 4. 11 Grafik Modulus Elastisitas Spesimen Tanpa *Skin* dan Spesimen Dengan *Skin*

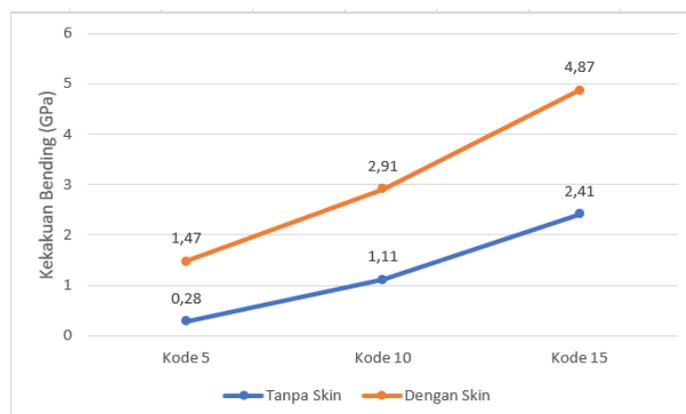
Pada gambar 4.11 menunjukkan grafik Modulus Elastisitas *Bending*, dimana semakin tebal *core* tidak membuat nilai tegangan *bending*nya menjadi tinggi. Pada gambar 4.11 juga menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin* (*fiberglass*) dengan metode *vacuum infusion* memiliki modulus elastisitas maksimal yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*.

4.5.6 Kekakuan *Bending*

Tabel 4- 11 Perbandingan Kekakuan *Bending* antara spesimen yang dilapisi *skin* dan tidak dilapisi *skin*

Kode Spesimen	Kekakuan <i>Bending</i> (GPa)		Selisih (GPa)	Keterangan
	Dengan <i>Skin</i>	Tanpa <i>Skin</i>		
Kode 5	1,47	0,28	1,19	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 5,2x
Kode 10	2,91	1,11	1,79	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 2,6x
Kode 15	4,87	2,41	2,46	Spesimen dengan <i>skin</i> unggul 2x

Dari tabel 4.11 menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin* (*fiberglass*) dengan metode *vacuum infusion* memiliki Kekakuan *Bending* yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*.



Gambar 4. 12 Grafik Kekakuan *Bending* Spesimen Tanpa *Skin* dan Spesimen Dengan *Skin*

Pada gambar 4.12 menunjukkan grafik Kekakuan *Bending*, dimana semakin tebal *core* membuat nilai beban maksimalnya menjadi tinggi. Pada gambar 4.12 juga menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin (fiberglass)* dengan metode *vacuum infusion* memiliki beban maksimal yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Nilai rata-rata Kekakuan *Bending* tertinggi pada variasi *core* 15mm dengan nilai 4,8 GPa. Pada variasi *core* 10mm nilai rata-rata Kekakuan *bending* yang didapatkan yaitu 2,9 GPa. Sedangkan nilai rata-rata kekakuan *bending* terkecil didapatkan pada variasi *core* 5mm yaitu dengan nilai 1,4 GPa.
2. Hasil analisis dan perhitungan beban maksimal, luas penampang, momen inersia, tegangan *bending*, modulus elastisitas dan kekakuan *bending* pada spesimen yang menggunakan *skin* memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai spesimen yang tidak menggunakan *skin*.
3. Hasil dari penggabungan spesimen PLA dan komposit dengan metode *vacuum infusion*, terjadi perbedaan dimensi setelah dilakukan komposit *sandwich*, yaitu berat spesimen uji rata-rata bertambah berat 5 – 6 gram, lebar dan tebal spesimen rata-rata bertambah 1-2cm.
4. Kegagalan *Debonding* dan *Core Crush* cenderung membuat nilai kekuatan *bendingnya* menjadi melemah dan kegagalan *Face Yield* membuat nilai kekuatan *bendingnya* cenderung lebih tinggi.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Perlu dilakukannya penelitian tentang komposit sandwich agar Ketika dilakukan uji *bending*, *skin* tidak terlepas atau delaminasi.
2. Sebaiknya ketika mencampurkan cairan resin dan katalis harus lebih berhati-hati. Karena jika cairan katalis kebanyakan akan membuat resin menjadi cepat keras. Apabila cairan katalis terlalu sedikit, akan membuat cairan resin lama mengeras

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Khamid (2011) "Rancang bangun alat uji *bending* dan hasil pengujian bahan besi cor", Fakultas Teknik, Program studi diploma III Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- Ali Zolfagharian (2020). "*Compression Behavior analysis of a 3D printed Honeycomb infill pattern*". *International Journal of Scientific and Engineering Research*. Volume 11, Issue 6.
- ASTM C 33-92, "*Standard Specification for Concrete Aggregate*", *ASTM Book of Standards, Part 04.02, ASTM, West Conshohocken, PA, 7 pp.*
- Dhien (2015) "Pengaruh Rasio Resin dan Hardener terhadap Sifat Mekanik Matrik Bahan Komposit Serat Rambut Manusia". Repository Institut Teknologi Surabaya
- Febriyanto, S. (2011). "Penggunaan Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* Pada Bahan Uji Komposit *Sandwich* Untuk Aplikasi Kapal Bersayap *Wise-8*". Skripsi, 16-18.
- Garlotta D, (2011) "*A Literature Review of Poly(Lactic Acid)*", *Journal of Polymer and the Environment*, vol 9, no.2, pp.63-64.
- Gufnan, (2021) Aplikasi Material Komposit *Sandwich* Menggunakan 3D *Printed Core* Dengan *Skin* Serat Kaca Pada *Frame Drone*". Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
- Harsi,(2013). "Karakteristik Kekuatan *Bending* dan Kekuatan Tekan Komposit Serat *Hybrid* Kapas/Gelas Sebagai Pengganti Produk Kayu". Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Hartono, Y., Hidayat, A. and Manik, P. (2016). "Analisa Teknis Komposit *Sandwich* Berpenguat Daun Nanas dengan *Core* Serbuk Gergaji Kayu Sengon Laut Ditinjau dari Kekuatan Tekuk dan Impak," 4(1), pp. 265-273
- Harun N (2016), "Analisa Kekuatan Tarik dan *Bending* pada Komposit Widuri – *Polyester*". *Jurnal Teknik Mesin Univeritas Nusa Cendana*. Vol. 03, No. 02, 11-20.
- Nasmi H (2011), "Analisa Kekuatan *Bending* Komposit *Epoxy* dengan Penguat Serat Nilon". *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*.

- Nugroho (2007), “Proses Produksi Pembuatan Mikrocar dari Bahan Komposit”.
- Patrick E. Mack, CCT and Mitchell D. Smitch. (2003). “*Verdant Technologies, Inc, Rhode Island, Advanced in Vacuum Infusion Processing Using Spacer Fabrics as Engineered Reinforcing Interlaminar Infusion Media*”.
- Santoso (2002), “Pengaruh Berat Serat *Chopped Strand* terhadap Kekuatan Tarik, *Bending* dan Impak”.
- Schawardz M.M., (1984) “*Composite Material Handbook*, Mc Graw-Hill, Singapura”.
- Setyo W (2020), “Analisis Pengaruh Tekanan *Vacuum* Pada Proses Pembuatan Komposit *Carbon Fiber* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion*”. Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya. Vol. 6, No. 20.
- Simanjuntak, Marianti Purnama (2013). “Sifat mekanik Komposit Terhadap Fraksi Volume Serat Eceng Gondok Bermatriks *Polyester*”.
- Surdia T. dan Saito S., (1999). “Pengetahuan Bahan Teknik”, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Yudha Izma Adriansyah (2021) “Analisis uji Bending Komposit *Sandwich* yang digabungkan 3D Printing”. Dspace Universitas Islam Indonesia.

LAMPIRAN



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	Kode 5 1	7,18	13,46	0,40	4,84	86,47
2	Kode 5 2	7,17	13,39	0,46	4,80	100,24
3	Kode 5 3	6,46	13,38	0,08	2,32	21,49
4	Kode 5 4	5,20	12,74	0,07	5,11	30,48
5	Kode 10 1	11,98	14,11	0,73	4,22	54,07
6	Kode 10 2	11,72	13,25	0,44	2,63	36,26
7	Kode 10 3	11,26	13,49	0,36	4,57	31,57
8	Kode 10 4	10,10	12,77	0,18	3,37	20,73
9	Kode 15 1	17,48	13,52	1,03	5,18	37,40
10	Kode 15 2	16,60	13,64	0,81	3,54	32,33
11	Kode 15 3	16,97	13,24	0,69	2,51	27,14
12	Kode 15 4	15,08	12,92	0,36	3,11	18,38

Lembar asli, tidak untuk digandakan

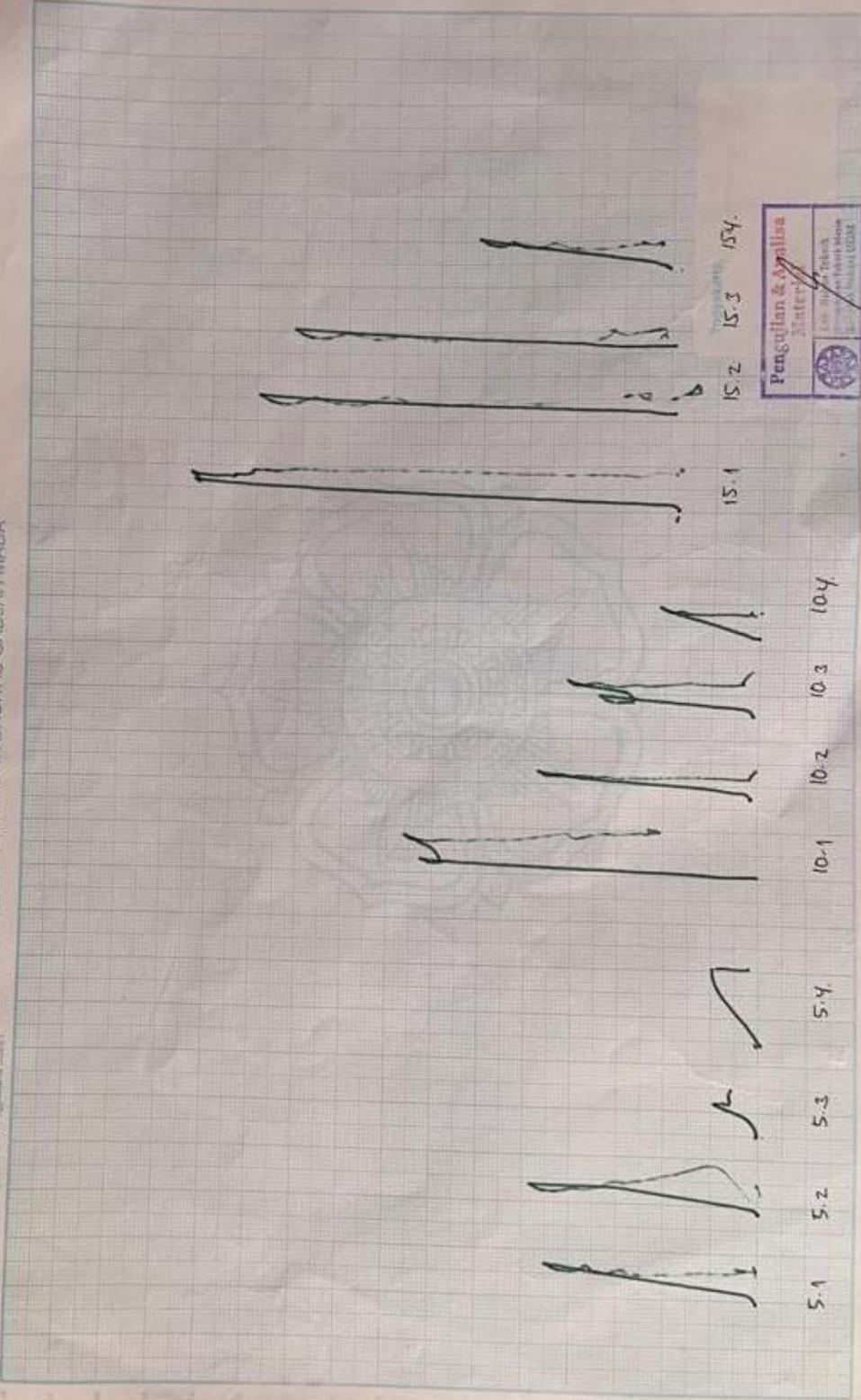
Keterangan:

1. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
2. Standar spesimen menggunakan ASTM D 790
3. Pengujian dilakukan tanggal 29 September 2021

Yogyakarta, 29 September 2021
Staf Laboratorium Bahan Teknik



Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T
NIP. 197703312002121002



Pengujian & Analisis
 Materi 1
 Lab. 10.1 Teknik Mesin
 Universitas Gadjah Mada