

**PENGARUH SUHU *POST CURING* TERHADAP KEKUATAN
BENDING KOMPOSIT *SANDWICH* MENGGUNAKAN *CORE*
3D PRINTING POLA *SQUARE***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Alif Satrio

No. Mahasiswa : 18525105

NIRM : 1807210115

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

2023

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENGARUH SUHU *POST CURING* TERHADAP KEKUATAN
BENDING KOMPOSIT *SANDWICH* MENGGUNAKAN *CORE*
3D PRINTING POLA *SQUARE***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Alif Satrio

No. Mahasiswa : 18525105

NIRM : 1807210115

Yogyakarta, 13 November 2023

Pembimbing.



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGARUH SUHU *POST CURING* TERHADAP KEKUATAN *BENDING* KOMPOSIT *SANDWICH* MENGGUNAKAN *CORE* 3D PRINTING POLA *SQUARE*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Alif Satrio
No. Mahasiswa : 18525105
NIRM : 1807210115

Tim Penguji

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

Ketua

Tanggal: 5/12/2023

Rahmat Riza, S.T., M.Sc.ME.

Anggota I

Tanggal: 5/12/2023

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

Anggota II

Tanggal: 28/11/2023

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Alif Satrio

NIM 18525105

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknologi Industri

Judul Skripsi : *PENGARUH SUHU POST CURING TERHADAP KEKUATAN BENDING KOMPOSIT SANDWICH MENGGUNAKAN CORE 3D PRINTING POLA SQUARE.*

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak dipaksakan.

Yogyakarta, 13 November 2023



Muhammad Alif Satrio

HALAMAN PERSEMBAHAN



Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :
Orang tua saya Bambang Susilo dan Erna yang sudah berkorban dalam
hidup saya dan selalu mendukung agar cita-cita saya dapat terwujud.

HALAMAN MOTTO

“ Yang terbaik di antara kamu adalah orang yang tidak menyakiti orang lain
dengan lidah dan tangannya”

(Nabi Muhammad SAW)

“Impossible is nothing”

(Adidas)

*“You have to fight to reach your dream, you have to sacrifice and work hard for
it”*

(Lionel Andres Messi)

KATA PENGANTAR


Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kepada Allah SWT, dengan rahmat dan anugerah-Nya penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir. Sholawat dan salam tidak lupa penulis hadiahkan kepada junjungan semesta alam Nabi Muhammad SAW, yang sudah membantu umat manusia melewati zaman kebodohan hingga zaman yang banyak ilmu pengetahuan seperti sekarang ini. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada pihak yang sudah berjasa diantaranya :

1. Allah SWT tuhan semesta alam yang telah memberikan nikmat kepada kita semua.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M,T selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafid, S.T., M.T selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP. Selaku dosen pembimbing di program studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
5. Seluruh dosen Teknik Mesin UII, terimakasih atas ilmu yang diberikan.
6. Kedua orang tua, Ayah dan Bunda yang sudah memberikan segalanya agar penulis mendapat gelar sarjana.
7. Seluruh teman-teman seperjuangan angkatan 2018.
8. Muhammad Alif Adiniansyah selaku teman satu tim Tugas Akhir.
9. Dzarrah Nurhidayah sebagai *support system*, yang selalu memberi semangat juang, memberi motivasi dan selalu menemani di kala suka maupun duka.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 13 November 2023


Muhammad Alif Satrio

ABSTRAK

Pada zaman modern ini terdapat teknologi yang bernama Komposit *Sandwich*. Komposit *sandwich* merupakan gabungan dua material yang terdiri dari *skin* dan *core*. Selain itu, terdapat juga teknologi yang bernama *3D printing*. *3D printing* adalah penambahan bahan lapis demi lapis untuk membuat suatu objek fisik yang memiliki kelebihan dalam kecepatan pencetakannya dan fleksibilitas terhadap geometrinya. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan mengkombinasikan antara komposit *sandwich* dengan *3D printing* untuk menciptakan material yang memiliki sifat kuat, kaku namun tetap ringan. Penelitian ini juga menerapkan perlakuan *post-curing* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu *post-curing* terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan menggunakan *core 3D printing* pola *square*. Spesimen didesain merujuk pada standar pengujian ASTM C-393, menggunakan filamen PLA dan menggunakan jenis perekat *spray* 3M. Proses *post-curing* pada spesimen komposit *sandwich* menggunakan suhu 60°C, 70°C, 80°C selama 5 menit setiap parameter suhu dan suhu ruang sebagai spesimen pembanding. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa spesimen dengan nilai tegangan *bending* tertinggi adalah spesimen dengan suhu *post-curing* 70°C dengan nilai 23.68 Mpa. Berdasarkan hasil SEM spesimen suhu ruang terdapat banyak *void* dan spesimen suhu *post-curing* 70°C tidak terdapat *void* sehingga *post-curing* dapat meningkatkan tegangan *bending*, jadi dapat disimpulkan metode *post-curing* berpengaruh terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich*.

Kata kunci : Komposit *sandwich*, *post-curing*, tegangan *bending*.

ABSTRACT

In modern times there is a technology called Sandwich Composites. Sandwich composites are a combination of two materials consisting of skin and core. Apart from that, there is also a technology called 3D printing. 3D printing is the addition of material layer by layer to create a physical object that has advantages in printing speed and flexibility in its geometry. Therefore, this research will combine sandwich composites with 3D printing to create a material that is strong, stiff but still light. This research also applies post-curing treatment which aims to determine the effect of post-curing temperature on the bending strength of sandwich composites using square pattern 3D printing cores. The specimen was designed referring to the ASTM C-393 testing standard, using PLA filament and using 3M spray adhesive. The post-curing process for sandwich composite specimens uses temperatures of 60°C, 70°C, 80°C for 5 minutes for each temperature parameter and room temperature as a comparison specimen. Based on the test results that have been carried out, it shows that the specimen with the highest bending stress value is the specimen with a post-curing temperature of 70°C with a value of 23.68 Mpa. Based on the SEM results of the room temperature specimen there are many voids and the post-curing temperature specimen of 70°C has no voids so post-curing can increase the bending stress, so it can be concluded that the post-curing method has an effect on the bending strength of the sandwich composite.

Keywords: Sandwich composite, post-curing, bending strength.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Lembar Pernyataan Keaslian	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar.....	vii
Abstrak	viii
Abstract.....	ix
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.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Komposit	8
2.2.2 Komposit <i>Sandwich</i>	9
2.2.3 <i>3D Print</i>	10
2.2.4 <i>Vacuum Infusion</i>	11
2.2.5 <i>Post Curing</i>	12
2.2.6 Pengujian <i>Bending</i>	13

2.2.7	SEM.....	15
2.2.8	Modus Kegagalan Komposit <i>Sandwich</i>	16
2.2.9	<i>Cross-linking</i>	18
Bab 3	Metode Penelitian	19
3.1	Alur Penelitian	19
3.2	Desain Eksperimen	21
3.3	Peralatan dan Bahan.....	22
3.4	Dimensi Spesimen Pengujian <i>Bending</i>	26
3.5	Komposisi Komposit <i>Sandwich</i>	27
3.6	Proses Pengerjaan	28
3.6.1	Proses Pembuatan <i>Core</i> Menggunakan Mesin 3D <i>Print</i>	28
3.6.2	Proses <i>Vacuum Infusion</i>	29
3.6.3	Proses <i>Post Curing</i>	33
3.6.4	Proses Pengujian <i>Bending</i>	34
3.6.5	Proses SEM	35
3.7	Jenis Kegagalan Pada Proses <i>Vacuum Infusion</i> dan <i>Post Curing</i>	36
3.7.1	Kebocoran <i>Vacuum Infusion</i>	36
3.7.2	Spesimen Mengalami Deformasi Pada <i>Post Curing</i>	37
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	38
4.1	Analisis Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Analisis Kegagalan Spesimen, dan <i>Morfologi</i> (Hasil Uji <i>SEM</i>)	38
Bab 5	Penutup.....	43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran Untuk Penelitian Selanjutnya	44
Daftar Pustaka	45

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Tetap dan Variasi Spesimen.....	21
Tabel 3.2 Parameter Tetap 3D Printing.....	21
Tabel 3.3 Alat dan Bahan	25

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Struktur Komposit Sandwich.....	1
Gambar 2. 1 Komposit	8
Gambar 2. 2 Komposit <i>Sandwich</i>	9
Gambar 2. 3 <i>3D Printer</i>	10
Gambar 2. 4 Skema Proses <i>Vacuum Infusion</i>	11
Gambar 2. 5 <i>Microwave</i>	12
Gambar 2. 6 <i>Universal Testing Machine</i>	13
Gambar 2. 7 <i>Three Point Bending</i>	13
Gambar 2. 8 <i>SEM Machine</i>	15
Gambar 2. 9 Jenis Kegagalan Pada <i>Skin Komposit Sandwich</i>	16
Gambar 2. 10 Jenis Kegagalan Pada <i>Core Komposit Sandwich</i>	17
Gambar 2. 11 <i>Cross-linking</i>	18
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian	20
Gambar 3. 2 Dimensi Spesimen	26
Gambar 3. 3 Dimensi <i>Square</i> Dalam Spesimen	26
Gambar 3. 4 Komposisi Komposit <i>Sandwich</i>	27
Gambar 3. 5 Pembuatan <i>Core</i> Menggunakan Mesin <i>3D printer</i>	28
Gambar 3. 6 Penyusunan Bahan <i>Vacuum Infusion</i>	29
Gambar 3. 7 Spesimen Yang Sudah Ditempel <i>Carbon</i>	29
Gambar 3. 8 Pembuatan Selang Bercabang.....	30
Gambar 3. 9 Proses Penyusunan <i>Vacuum Bag</i>	30
Gambar 3. 10 Proses Pencampuran Resin dan <i>Hardener</i>	31
Gambar 3. 11 Proses <i>Vacuum infusion</i>	31
Gambar 3. 12 Hasil Proses <i>Vacuum infusion</i>	32
Gambar 3. 13 Proses <i>Post Curing</i>	33
Gambar 3. 14 Proses Pengujian <i>Bending</i>	34
Gambar 3. 15 Spesimen Setelah Pengujian <i>Bending</i>	34
Gambar 3. 16 Sampel Spesimen.....	35
Gambar 3. 17 <i>SEM Machine & Coating Machine</i>	35
Gambar 3. 18 Kebocoran <i>Vacuum</i>	36
Gambar 3. 19 Spesimen Yang Deformasi	37

Gambar 4. 1 Histogram Tegangan <i>Bending</i>	38
Gambar 4. 2 Mode Kegagalan Spesimen Dengan Variasi Suhu <i>Post Curing</i>	39
Gambar 4. 3 Foto SEM Dengan Perlakuan <i>Post Curing</i>	41

DAFTAR NOTASI

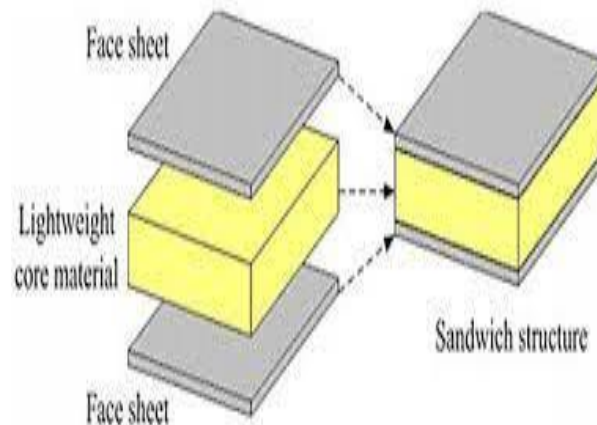
- σ_b = Tegangan *Bending* (N/mm^2)
- P = Beban yang diberikan (N)
- L = Jarak antara titik tumpuan (mm)
- h = Tebal spesimen (mm)
- b = Lebar spesimen (mm)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komposit *sandwich* merupakan komposit yang terdiri dari lapisan skin dan core. Komposit *sandwich* memiliki beragam jenis bahan untuk dijadikan *core* salah satunya adalah 3D *printing*. 3D *printing* adalah proses pembuatan objek tiga dimensi dengan berbagai bentuk dari model digital. Kelebihan dari 3D *print* digunakan sebagai *core* adalah fleksibilitas pada geometrinya. Dapat dilihat pada gambar 1.1 bahwa struktur komposit *sandwich* terdiri dari *core* material ringan yang dilapisi *face sheet* atau *skin*. Komposit *sandwich* ini dibuat untuk menciptakan produk yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi namun tetap ringan (Hidayat et al., 2016)



Gambar 1. 1 Struktur Komposit Sandwich

Pada pembuatan *core* komposit *sandwich*, perlu diperhatikan variasi *core density* dan bentuk pola *core*. Pada hasil penelitian (Gunawan, 2022) disimpulkan bahwa pola *square* adalah pola dengan nilai kekuatan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik tertinggi karena pola *square* memiliki ikatan antar pola yang terhubung baik secara vertikal maupun horizontal. Begitu juga *core density* 23% merupakan *core density* terkuat pula.

Selain pola *core* dan *core density*, diperlukan juga bahan pembuatan *core* salah satunya adalah filamen PLA. PLA (*Polylactic Acid*) merupakan filamen yang cukup kuat dan kaku namun tidak sekuat dengan filamen ABS. PLA

merupakan salah satu jenis termoplastik yang memiliki banyak keunggulan. Keunggulan yang dimiliki oleh PLA adalah memiliki harga yang murah, memiliki kekuatan dan kemudahan dalam pencetakan, dan memiliki faktor penyusutan yang rendah sehingga produk tidak akan mengalami perubahan bentuk atau bengkok pada saat proses pendinginan.

Secara garis besar metode pembuatan material komposit terdiri dari dua cara, yaitu proses cetakan terbuka (*Open Mold Process*) dan proses cetakan tertutup (*Closed Mold Process*). Proses cetakan terbuka salah satunya adalah *hand lay up*. Metode *hand lay up* ini melakukan pembuatan komposit dengan cara meratakan resin pada serat berbentuk anyaman, rajutan atau kain menggunakan kuas ataupun rol. Metode *Vacuum infusion* merupakan jenis proses cetakan tertutup dan memiliki metode terbaik dalam membuat produk komposit *sandwich*, metode ini memanfaatkan kevakuman udara dalam *plastic bag* yang dihisap melalui pompa sehingga produk akan di press dan resin akan masuk secara merata. Pada proses *vacuum infusion* dapat menghasilkan *part* dengan desain yang sulit dan menghasilkan sifat mekanik yang baik dan *waste* lebih sedikit (Wang et al., 2011).

Produk komposit *sandwich* yang sudah dibuat dilanjutkan dengan pemberian perlakuan *post-curing*. *Post-curing* merupakan proses polimerisasi atau pegerasan material komposit agar resin mempunyai daya ikat yang tinggi pada serat yang dilakukan diatas temperatur kamar. Meningkatnya temperatur *post-curing* dapat menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan pegerasan sehingga dapat memberikan ikatan silang (*cross-linking*) pada material komposit, tetapi kekakuan material menurun (Utomo & Drastiawati, N. S, 2021). Oleh karena itu, penelitian ini akan melakukan proses *post-curing* agar mengetahui pengaruh terhadap kekuatan bending nya.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penelitian ini akan meneliti terkait pengaruh suhu *post-curing* terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich* menggunakan struktur *core square* dengan *core density* 23% 3D *printing* berbahan PLA dan akan melakukan proses *post-curing* untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh suhu *post-curing* terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich* menggunakan *core* 3D *printing* pola *square* serta modus kegagalannya?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini diantaranya adalah :

1. Spesimen yang digunakan didesain sesuai standar ASTM C-393.
2. Pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D *printer filament* (PLA) dengan *infill* 23% dan *fill pattern Square*.
3. Proses *Vacuum infusion* hanya menggunakan alat yang tersedia di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin UII.
4. Perekat yang digunakan adalah *Spray* 3M.
5. Waktu *post-curing* selama 5 menit.
6. Suhu *post-curing* yang digunakan adalah 60°C, 70°C, 80°C dan suhu ruang sebagai spesimen pembanding.
7. Menggunakan resin *epoxy* dan *hardener* dengan perbandingan 100:30.
8. Karbon yang digunakan bertipe *twill*.
9. Metode pengujian *bending* adalah *three point bending*.
10. Standar pengujian yang digunakan yaitu ASTM C-393 dan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* di Laboratorium Bahan Teknik UGM.
11. Menggunakan *SEM (Scanning Electron Microscope)*

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh suhu *post-curing* terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich* menggunakan *core* 3D *printing* pola *square* dengan variasi suhu *post-curing* yaitu suhu ruang, 60°C, 70°C, 80°C selama 5 menit.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan setelah melakukan penelitian sebagai berikut:

1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan rancangan pembuatan produk komposit *sandwich*.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

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

BAB II Tinjauan Pustaka

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

BAB III Metode Penelitian

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

BAB IV Hasil dan Pembahasan

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

BAB V Penutup

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Komponen komposit *sandwich* terdiri dari *skin* dan *core*. *Core* merupakan komponen penting yang dapat menambah kekuatan pada komposit *sandwich*. Pada penelitian Gunawan (2022) disimpulkan bahwa pola *square* adalah pola dengan nilai kekuatan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik tertinggi karena pola *square* memiliki ikatan antar pola yang terhubung baik secara vertikal maupun horizontal. Pada penelitian tersebut disimpulkan juga bahwa *core density* 23% merupakan *core density* terkuat pula. Berdasarkan hal tersebut *core* berpola *square* dan dengan *infill* 23% akan diaplikasikan sebagai pola struktur *core*.

Selain pola dan *core density* yang dapat mempengaruhi kekuatan dan kekakuan *core*, tebal dari *core* juga dapat mempengaruhi kekuatan, kekakuan dan massa dari *core* tersebut. Hal ini didukung pada penelitian Pratama (2022) yang mendapatkan kesimpulan bahwa nilai kekakuan *bending* tertinggi pada material *core* abs + komposit dengan tebal *core* 10 mm dengan nilai $8,441 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$. Pada material *core* Nylon + komposit nilai rata-rata kekakuan *bending* tertinggi didapatkan pada ketebalan *core* 10 mm dengan nilai $10,069 \times 10^6 \text{ Nmm}^2$. *Core* dengan tebal 10 mm memiliki kekuatan dan kekakuan *bending* lebih tinggi dari pada *core* yang tebal nya hanya 5 mm. Berdasarkan penelitian tersebut akan mengaplikasikan *core* berbahan PLA dengan dimensi panjang 200 mm, lebar 50 mm, dan tebal 10 mm.

Dengan didapatkannya data pada pembuatan pola, *core density* serta dimensi pembuatan *core* dilanjutkan dengan pembuatan produk komposit menggunakan metode *vacuum infusion*. Metode ini didukung dari penelitian Azissyukhron & Hidayat (2018) yang melakukan penelitian membandingkan kekuatan material hasil metode *hand lay-up* dan metode *vacuum bag* pada material *sandwich composite*. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa material dengan metode *vacuum bag* lebih baik ketahanannya menahan gaya tarik rata-rata

sebesar 1075.490 N dibandingkan dengan material metode *hand lay-up* yang hanya dapat menahan gaya tarik sebesar 491.309 N. Berdasarkan beratnya, material metode *vacuum bag* lebih ringan daripada material metode *hand lay-up* karena metode *vacuum bag* dapat mengeluarkan resin yang berlebih. Oleh karena itu metode *vacuum infusion* diaplikasikan sebagai metode pembuatan komposit *sandwich* karena dapat mengurangi penggunaan bahan dan spesimen yang dihasilkan lebih kuat.

Spesimen komposit *sandwich* dari hasil metode *vacuum infusion* dilanjutkan proses perlakuan *post-curing* karena penelitian ini ingin mengetahui bagaimana pengaruh suhu *post-curing* terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich*. Hal ini didukung oleh penelitian Rahmani (2022) yang berjudul “Studi pengaruh jenis perekat dan variasi suhu *post-curing* terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich* menggunakan *core 3D printing*” Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa perekat jenis *Epoxy* memiliki nilai parameter tertinggi dari pada aibon dan *3M spray adhesive*. Proses *post-curing* juga berpengaruh terhadap tegangan *bending*, namun seiring bertambahnya suhu *post-curing* dapat menurunkan nilai kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik spesimen komposit *sandwich*. Karena adanya pengaruh suhu *post-curing* pada tegangan *bending* komposit *sandwich*, oleh sebab itu penelitian ini melakukan riset pada parameter suhu dan waktu *post-curing* dimana didapatkan parameter *post-curing* pada spesimen selama 5 menit pada suhu 60, 70, 80 °C, pada parameter tersebut spesimen tidak mengalami deformasi. Pada penelitian ini tidak menggunakan perekat jenis *Epoxy* karena perekat jenis ini akan menguap ketika dilakukan *post-curing* dan membuat permukaan spesimen komposit *sandwich* rusak.

Pada penelitian ini memerlukan metode atau alat yang dapat mengambil gambar permukaan spesimen komposit *sandwich*. Pengambilan gambar bertujuan agar dapat melihat fenomena permukaan spesimen komposit *sandwich* yang diberi perlakuan *post-curing* dan yang tidak. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah SEM. SEM memiliki proses pengambilan gambar dengan cara menangkap pantulan elektron dari permukaan spesimen, gambar yang dihasilkan

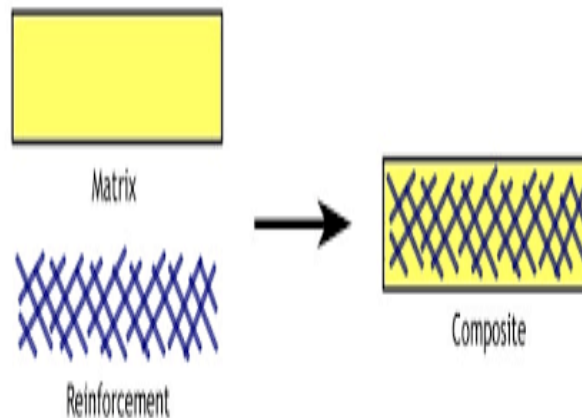
lebih baik dari mikroskop biasa karena SEM memiliki perbesaran yang tinggi dan resolusi yang baik.

Berdasarkan kajian pustaka di atas, penelitian ini akan menggunakan *skin* dari *carbon fiber* dan *core* berbahan PLA 3D *printing*. Pemilihan *core* dari 3D *printing* karena fleksibilitasnya terhadap geometri sehingga dapat mencetak *core* dengan bentuk yang kompleks. Pola *core* yang digunakan adalah *square* dengan *infill core* 23%. Metode pembuatan komposit *sandwich* yang dipilih adalah *vacuum infusion* dan akan diberikan perlakuan *post-curing*. *Post-curing* dilakukan pada spesimen selama 5 menit pada suhu 60, 70, 80 °C, pada parameter tersebut spesimen tidak mengalami deformasi dan akan menggunakan SEM untuk melihat fenomena yang terjadi pada permukaan komposit *sandwich*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

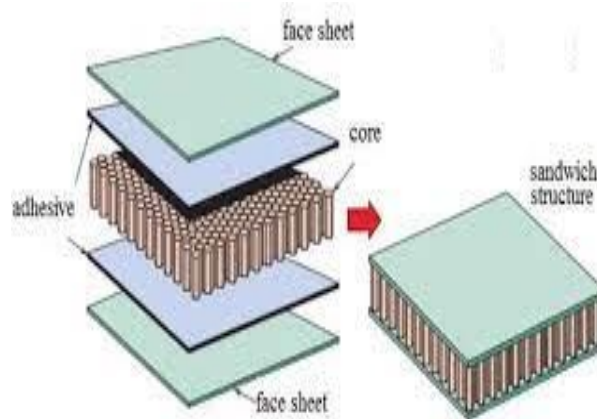
Komposit merupakan jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang memiliki sifat-sifat berbeda baik dari sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Karena adanya perbedaan dari jenis material penyusunnya maka komposit antar material harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent*. (Nayiroh, N. 2013). Terdapat 2 penyusun penting pada komposit yaitu *reinforcement* dan *matrix* seperti pada Gambar 2-1.



Gambar 2. 1 Komposit

2.2.2 Komposit Sandwich

Berdasarkan struktur, struktur komposit terbagi menjadi dua yaitu struktur lapisan dan struktur *sandwich*. Pada prinsipnya komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 2 bagian yaitu bagian tengah sebagai *core* dan dibagian bawah serta atas sebagai *skin*. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi (Hidayat et al., 2016).



Gambar 2. 2 Komposit Sandwich

Core merupakan material utama (inti) pada bagian tengah dari komposit *sandwich*, bagian ini harus cukup kaku dan ringan agar spesimen yang dihasilkan kuat dan tidak berat. Hidayat et al., (2016) berpendapat bahwa *core* yang kaku harus mampu menahan beban geser agar tidak terjadi slip pada permukaan *skin*.

skin memiliki fungsi untuk menahan beban tarik dan tekan. Tingkat kekakuan *skin* biasanya relatif rendah. Material konvensional seperti aluminium, baja, juga *stainless steel* bisa digunakan untuk bagian ini.

Agar bisa menyatukan antara *skin* dan *core* diperlukan sebuah matriks. Hidayat et al, (2016) berpendapat matriks adalah bahan pengikat antara *skin* dan *core*. Pada umumnya, matriks memiliki sifat elastis dan memiliki kekuatan rendah dibandingkan dengan material penguat lain.

2.2.3 3D Print

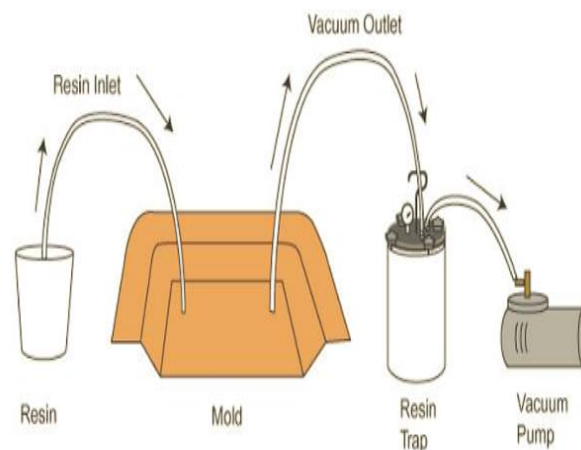
3D *Printing* atau biasa juga dikenal dengan *additive layer manufacturing* adalah proses membuat objek tiga dimensi dengan berbagai bentuk apapun dari model digital. 3D *printer* ini bisa mencetak, *modelling*, purwarupa/pemodelan, alat-alat peraga untuk pendidikan, alat-alat penunjang kesehatan, model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



Gambar 2. 3 3D Printer

2.2.4 Vacuum Infusion

Vacuum Infusion merupakan salah satu metode untuk membuat komposit *sandwich* dengan memanfaatkan kevakuman udara atau biasa disebut juga proses cetakan tertutup karena cetakan ini nanti ditutup menggunakan *plastic bag* yang diberi *Sealant tape* (perekat) agar udara dalam cetakan tervakum, yang nantinya aliran dari resin akan mengalir masuk dan mengisi cetakan tersebut.



Gambar 2. 4 Skema Proses *Vacuum Infusion*

Belakangan ini penggunaan metode *Vacuum Infusion* ini menjadi populer karena memiliki manfaat dan keunggulan dalam proses pembuatannya. Contohnya pada proses *vacuum infusion* mampu menghasilkan *part* dengan desain *core* yang rumit dan menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dan juga sumber daya yang lebih sedikit (Wang et al, 2011).

2.2.5 *Post Curing*

Proses *post-curing* adalah pengerasan material atau polimerisasi komposit yang dilakukan pemanasan di atas temperatur ruangan agar resin mempunyai daya ikat yang tinggi pada serat. Meningkatnya temperatur *post-curing* dapat menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan *post-curing* sehingga dapat memberikan *cross-linking* (ikatan silang) pada material komposit, tetapi kekakuan material menurun (Utomo & Drastiawati, N. S, 2021).

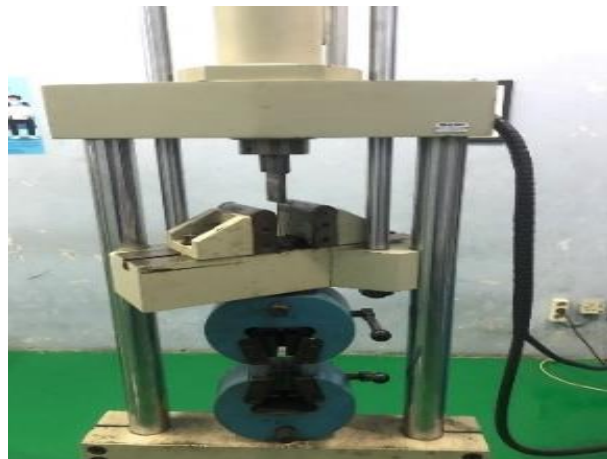


Gambar 2. 5 *Microwave*

Proses *post-curing* dilakukan dengan cara memanaskan material benda uji pada temperatur tertentu, namun apabila material benda uji dipanaskan melebihi (*glass transition temperature*) akan menyebabkan material tersebut menjadi ulet dan jika temperatur tersebut ditingkatkan lagi material akan meleleh (Prastyadi, 2017).

2.2.6 Pengujian *Bending*

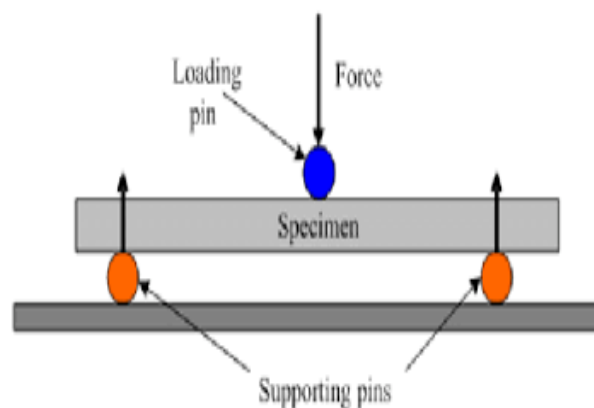
Pengujian *bending* adalah proses pembebanan suatu material pada titik tengah suatu material yang ditahan pada dua titik penyangga bagian kanan dan kiri. Ketika material uji hingga beban maksimum, ia mengalami perubahan bentuk yang disebut deformasi agar dapat mengetahui material mana yang terbaik dari hasil pengujiannya (Izma Adriansyah, 2021).



Gambar 2. 6 *Universal Testing Machine*

Sumber : Laboratorium Bahan Teknik UGM

Dalam *bending test* ini dilakukan dengan proses *three point bending test*. Di dalam proses tersebut pengujian dilakukan menggunakan dua tumpuan pada bagian kanan dan kiri spesimen dan satu penekan pada bagian tengah seperti pada gambar 2.7. *Three point bending* memiliki beberapa keunggulan seperti kemudahan persiapan spesimen, pengujian dan pembuatan titik point lebih mudah (Mujika 2006).



Gambar 2. 7 *Three Point Bending*

Rumus - rumus yang digunakan untuk menghitung hasil uji *Bending* sebagai berikut:

A. Menghitung Tegangan *Bending*

$$\sigma_b = \frac{3.P.L}{2.b.h^2}$$

Keterangan :

σ_b = Tegangan *Bending* (N/mm²)

b = Lebar spesimen (mm)

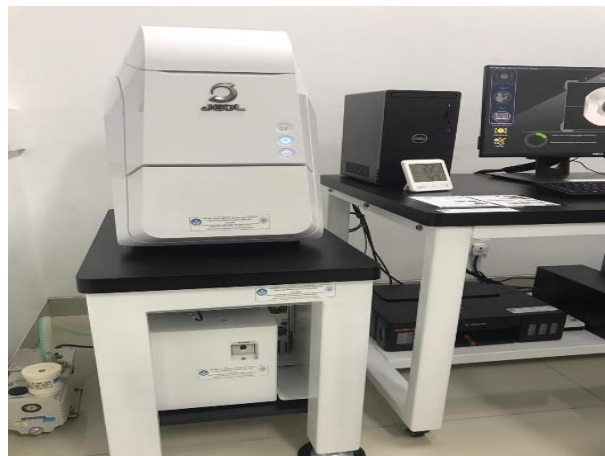
P = Beban yang diberikan (N)

L = Jarak antara titik tumpuan (mm)

h = Tebal spesimen (mm)

2.2.7 SEM

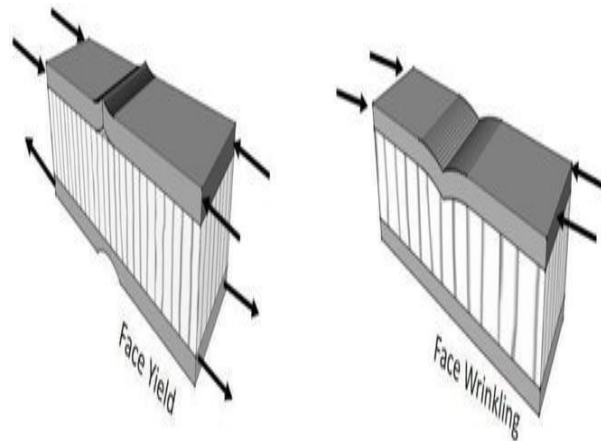
SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut, sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda kemudian lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel, sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Kemudian ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke *monitor* (CRT). Meskipun gambar visual yang dihasilkan lebih jelas dibanding mikroskop optik atau XRD, tetapi karena seringkali objek pengamatan yang terbilang kecil dan mengandung komponen non konduktif, seperti lapisan oksida pada permukaan, SEM dapat memberikan kontras yang relatif rendah terlebih pada perbesaran tinggi (Sujatno, 2015).



Gambar 2. 8 SEM Machine

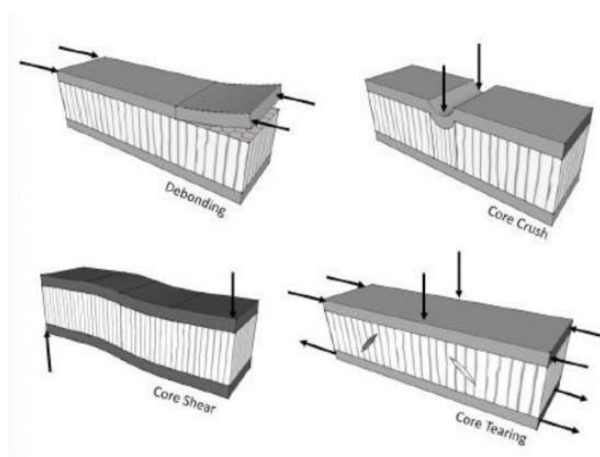
2.2.8 Modus Kegagalan Komposit *Sandwich*

Menurut Petras, (1998) Pada pengaplikasian komposit *sandwich* sering mengalami berbagai macam beban mekanik, seperti misalnya beban tekan, tarik, lentur, geser dan puntir. Terkadang, saat menggunakan material ini seringkali melewati batas beban material sehingga terjadi kegagalan pada material. Pada kegagalan skin komposit *sandwich* yang pertama yaitu *face yield* dimana kegagalan tersebut 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), dapat dilihat pada gambar 2.9.



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

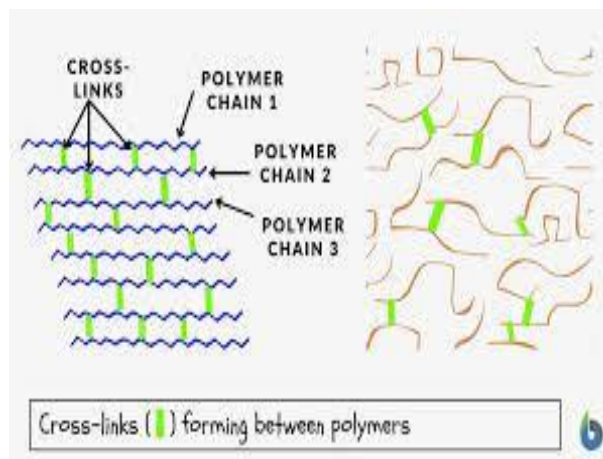
Pada gambar 2.10 dapat dilihat bahwa terdapat 4 jenis kegagalan *core*, dimana pada kegagalan *debonding* kegagalan yang terjadi adalah lapisan *skin* terlepas dari bagian *core* spesimen. Untuk *core crush* kegagalan yang terjadi adalah perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen. Untuk kegagalan *core 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, dapat dilihat pada gambar 2.10.



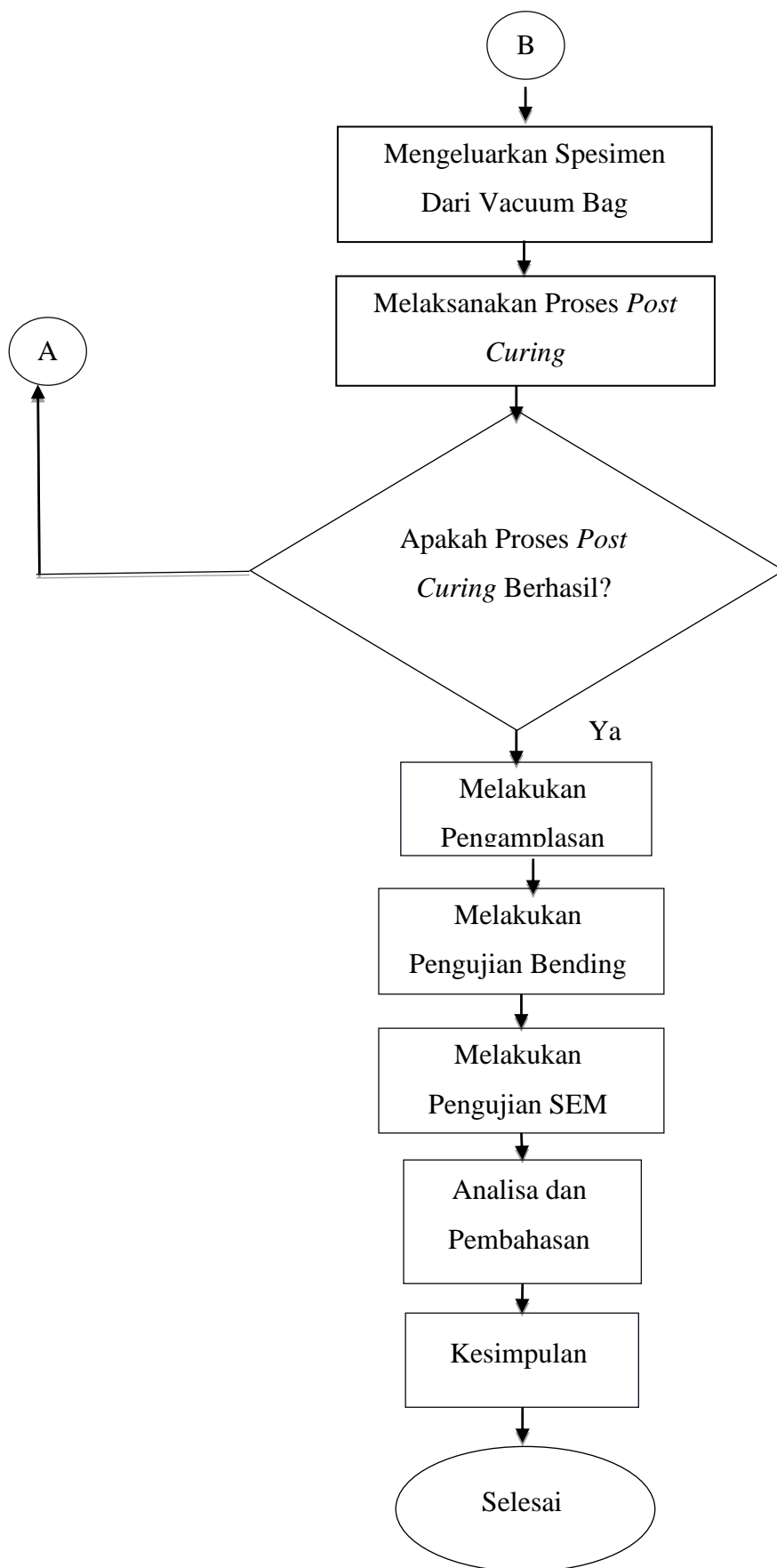
Gambar 2. 10 Jenis Kegagalan Pada *Core Komposit Sandwich*

2.2.9 Cross-linking

Cross-linking merupakan proses pembentukan ikatan kimia untuk menyatukan dua rantai polimer. *Cross-linking* terjadi karena adanya peningkatan suhu *post-curing* sehingga meningkatkan kecepatan *post-curing* dan meningkatkan kekuatan *carbon fiber* dengan pengikatnya. Pada kondisi *cross-linking*, terjadi pemadatan matriks/resin yang dapat mengisi ruang kosong (*void*) pada skin komposit *sandwich* sehingga komposit yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik (Tamaela, 2016).



Gambar 2. 11 *Cross-linking*



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Desain Eksperimen

Tabel berikut merupakan parameter tetap dan variasi pada spesimen *post-curing*.

No	Parameter Tetap			Parameter Variasi
	Rasio Resin dan Hardener	Perekat/ <i>Adhesive</i>	Tekanan <i>Vacuum</i>	Suhu <i>Post Curing</i>
1	100 : 30	3M <i>Spray</i>	-1 atm /- 14 psi	27°C (Suhu ruang)
2	100 : 30	3M <i>Spray</i>	-1 atm /- 14 psi	60°C
3	100 : 30	3M <i>Spray</i>	-1 atm /- 14 psi	70°C
4	100 : 30	3M <i>Spray</i>	-1 atm /- 14 psi	80°C

Tabel 3.1 Parameter Tetap dan Variasi Spesimen





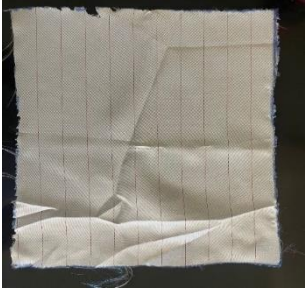
Tabel berikut adalah parameter tetap dalam pembuatan spesimen 3D *printing* menggunakan bahan PLA plus.

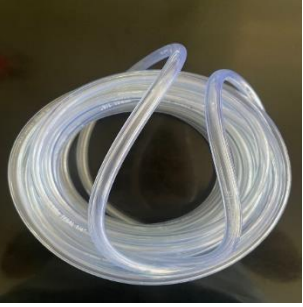


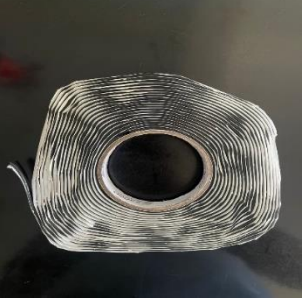

Kode	<i>Infill</i> (%)	<i>Layer Thickness</i> (mm)	Suhu <i>Bed</i> (°C)	Suhu <i>Nozzle</i> (°C)	<i>Speed</i> (%)
PLA	23	0,2	50	215	100




Tabel 3.2 Parameter Tetap 3D Printing

3.3 Peralatan dan Bahan

No	Alat dan bahan	Nama	Fungsi
1		Solidwork 2022	<i>Solidwork</i> adalah <i>software</i> CAD yang digunakan untuk mendesain spesimen 3D <i>Printing</i>
2		Spesimen 3D <i>print</i>	Desain yang sudah dibuat menggunakan <i>Solidwork</i> direalisasikan menjadi spesimen menggunakan mesin 3D <i>Print</i> berbahan PLA plus
3		Pompa <i>vacuum</i>	Pompa <i>vacuum</i> yang digunakan memiliki tenaga sebesar ½ HP yang berfungsi sebagai penghisap udara pada saat proses <i>vacuum infusion</i> .
4		Resin <i>Trap</i>	Resin <i>Trap</i> berfungsi sebagai perangkap resin yang keluar dari jalur <i>output</i> dan sebagai kontrol terhadap tekanan vakum karena pada resin <i>trap</i> terdapat <i>Pressure Gauge</i> .

5		Timbangan	Timbangan digunakan untuk menakar campuran resin dan katalis, dan juga menimbang berat spesimen dan karbon setelah dipotong.
6		Keran bensin	Keran bensin digunakan sebagai pengatur jalan udara dan resin yang masuk ke dalam <i>vacuum bag</i> .
7		<i>Vacuum bag</i>	<i>Vacuum bag</i> digunakan sebagai penutup dari proses <i>vacuum infusion</i> agar perbedaan tekanan udara di dalam terjaga.
8		Kain strimin	Kain strimin digunakan agar plastik dan <i>carbon fiber</i> tidak menempel sempurna setelah kering.
9		<i>Peel ply</i>	<i>Peel ply</i> digunakan sebagai pemisah antara <i>carbon fiber</i> dan kain strimin.

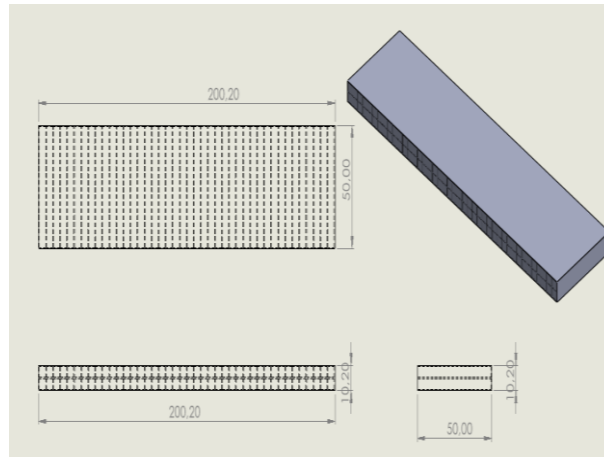
10		Selang Resin	Selang Resin digunakan sebagai jalur resin masuk dan keluar.
11		Selang Spiral	Selang Spiral digunakan sebagai jalur udara yang dihisap lebih luas dan memudahkan resin merata di dalam <i>vacuum bag</i> .
12		Resin dan Katalis	Resin dan Katalis digunakan sebagai matriks atau pengikat spesimen dengan <i>carbon fiber</i> .
13		Sealant Tape	<i>Sealant Tape</i> digunakan menutup seluruh bagian <i>vacuum bag</i> agar tidak ada udara yang masuk dan keluar.
14		3M Spray	3M <i>Spray</i> digunakan sebagai bahan perekat <i>carbon fiber</i> pada spesimen.

15		Gunting	Gunting digunakan untuk memotong <i>carbon fiber</i> , selang, dan <i>sealant tape</i> .
16		<i>Carbon fiber</i>	<i>Carbon fiber</i> digunakan sebagai lapisan terluar komposit <i>sandwich</i> yang berspesifikasi serat karbon kevlar fiber fabric 3k 2x2 200gsm <i>plain & twill</i> .
17		<i>Microwave</i>	<i>Microwave</i> sebagai media <i>post-curing</i> setelah spesimen menjalani metode <i>vacuum infusion</i> .

Tabel 3.3 Alat dan Bahan

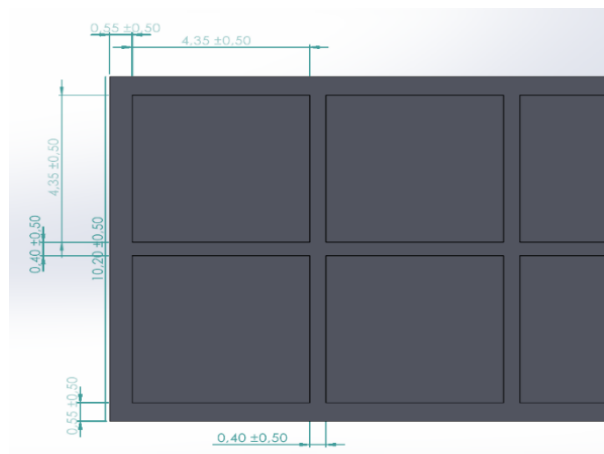
3.4 Dimensi Spesimen Pengujian *Bending*

Spesimen komposit *sandwich* pada penelitian ini menggunakan ukuran standar ASTM C-393, berbahan PLA menggunakan mesin 3D printing, *infill* 23% dengan *infill pattern square*, dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Dimensi Spesimen

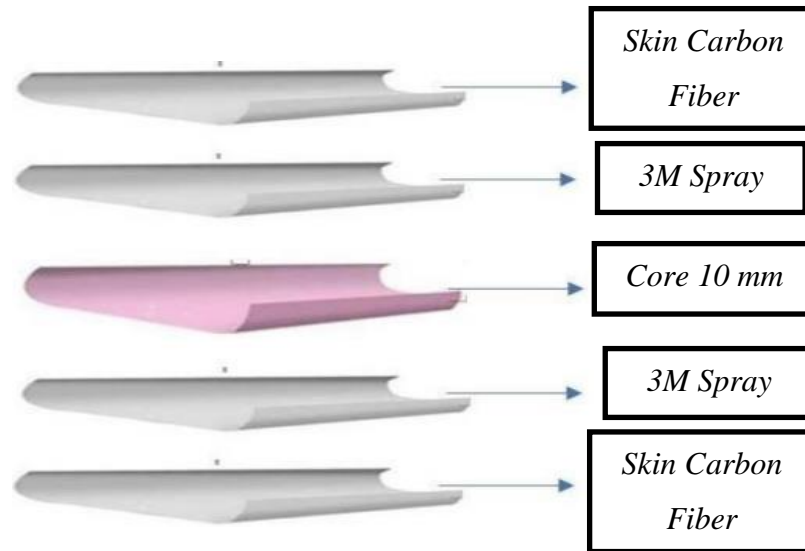
Spesimen ini memiliki panjang 200 mm, lebar 50 mm, dan tebal 10 mm. Di dalam spesimen terdapat desain *square* berjumlah 42 *square* pertingkatnya, jadi total 84 *square* di dalam spesimen.



Gambar 3. 3 Dimensi *Square* Dalam Spesimen

3.5 Komposisi Komposit *Sandwich*

Pada gambar 3.4 dapat dilihat bahwa komposisi komposit *sandwich* terdiri dari *core*, *3M Spray Adhesive*, dan *skin Carbon fiber* dibantu dengan matriks dari resin dan *hardener* menggunakan metode *vacuum infusion*.



Gambar 3. 4 Komposisi Komposit *Sandwich*

3.6 Proses Pengerjaan

3.6.1 Proses Pembuatan *Core* Menggunakan Mesin 3D *Print*

Pada Gambar 3.5 menunjukkan proses pembuatan *core* komposit *sandwich* dengan ukuran mengikuti standar uji ASTM C-393 menggunakan mesin 3D *Printer*. Pembuatan Spesimen uji memakai filament berbahan PLA (*Polylactic Acid*) dengan *infill* 23% dan *infill pattern square*. Parameter tetap mesin 3D *print* menggunakan *layer thickness* 0,2 mm, suhu *bed* 50 °C, suhu *nozzle* 215 °C, dan *speed* 100%.



Gambar 3. 5 Pembuatan *Core* Menggunakan Mesin 3D *printer*

3.6.2 Proses *Vacuum Infusion*

1. Memotong dan menyusun *vacuum bag*, *peel ply*, dan kain strimin.

Pada Gambar 3.6 menunjukkan *vacuum bag*, *peel ply*, kain strimin dipotong berbentuk kotak dan pada bagian pinggir *vacuum bag* diberikan *sealant tap*.



Gambar 3. 6 Penyusunan Bahan *Vacuum Infusion*

2. Menggantung dan menempel *carbon fiber* pada spesimen menggunakan 3M *Spray*.

Pada gambar 3.7 *carbon fiber* ditempel ke spesimen menggunakan 3M *spray adhesive*, lalu setelah kering dipotong hingga rapi dan ditimbang.



Gambar 3. 7 Spesimen Yang Sudah Ditempel *Carbon*

3. Membuat selang bercabang untuk proses *vacuum infusion*.

Pada gambar 3.8 selang resin dipotong dan disambung hingga berbentuk huruf T, kemudian pada dua cabang tersebut dimasukkan selang spiral dan ditutup pada bagian tengah menggunakan *sealant tape*.



Gambar 3. 8 Pembuatan Selang Bercabang

4. Memasukkan Spesimen yang sudah di karbon kedalam *vacuum bag*.

Pada gambar 3.9 spesimen dimasukkan kedalam *vacuum bag* dengan urutan plastik *vacuum bag*, kain strimin, *peel ply*, spesimen yang sudah dikarbon, *peel ply*, kain strimin, dan plastik *vacuum bag*. Setelah itu keran bensin dipasang pada selang spiral sebagai *ouput* dan selang *input* resin, kemudian *vacuum bag* ditutup dengan *sealant tap*.



Gambar 3. 9 Proses Penyusunan *Vacuum Bag*

5. Mencampurkan resin dan *hardener*.

Pada gambar 3.10 menunjukkan gambar proses pencampuran resin dan *hardener*. Perbandingan resin dan *hardener* adalah 100:30, resin 100 g dan *hardener* nya 30 g.



Gambar 3. 10 Proses Pencampuran Resin dan *Hardener*

6. Memulai proses *vacuum infusion*.

Pada gambar 3.11 dapat dilihat proses *vacuum infusion* berisi tiga spesimen dan menggunakan satu *input* dan satu *output*.



Gambar 3. 11 Proses *Vacuum infusion*

7. Hasil *Vacuum infusion*.

Pada gambar 3.12 dapat dilihat spesimen hasil *vacuum infusion* cukup rapi karena sudah di *finishing* dan berat setiap spesimen tidak lebih dari 50 g.



Gambar 3. 12 Hasil Proses *Vacuum infusion*

3.6.3 Proses *Post Curing*

Pada gambar 3.13 dapat dilihat bahwa proses *post-curing* menggunakan microwave dan dilakukan setelah semua spesimen di *vacuum infusion* dengan berat akhir spesimen tidak melebihi 50 g. Total spesimen berjumlah 12 dan setiap parameter suhu dioven sebanyak 3 buah spesimen.



Gambar 3. 13 Proses *Post Curing*

Parameter suhu terbagi menjadi 4 yaitu suhu ruangan, suhu 60, 70, 80 °C di dalam oven. Proses *post-curing* dilakukan setelah 24 jam proses *vacuum infusion* dan waktu *post-curing* selama 5 menit pada semua parameter suhu.

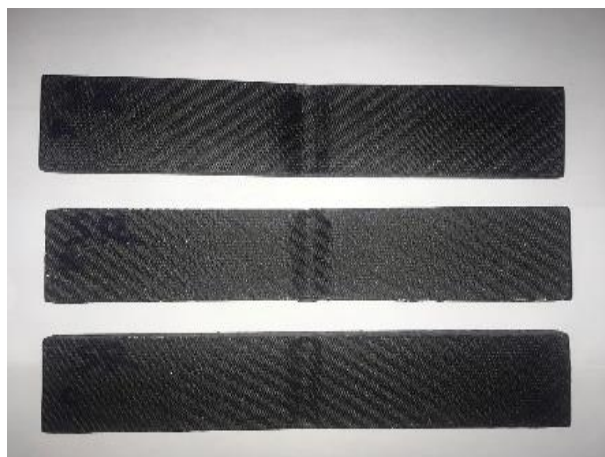
3.6.4 Proses Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan bending setiap spesimen dengan parameter suhu yang berbeda. Pengujian dilakukan sebanyak 12 kali percobaan menggunakan *Universal Testing Machine* dengan standar ASTM C-393 di Laboratorium Bahan Teknik UGM. Pada gambar 3.14 menunjukkan spesimen yang diuji menggunakan metode *three point bending*.



Gambar 3. 14 Proses Pengujian *Bending*

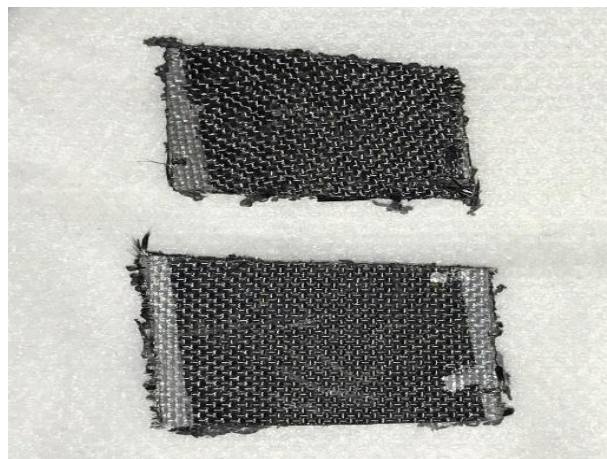
Pada gambar 3.15 dapat dilihat bahwa spesimen pengujian *bending* mengalami bekas pengujian pada bagian tengahnya.



Gambar 3. 15 Spesimen Setelah Pengujian *Bending*

3.6.5 Proses SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) biasa digunakan untuk mengetahui struktur mikro atau morfologi sebuah bahan hingga skala mikro/nano dan untuk mengukur komposisi permukaan suatu bahan. Bahan yang dapat dianalisis menggunakan SEM dapat berupa yang konduktif dan non-konduktif, berupa bulk, serbuk atau serat. Pada gambar 3.16 dapat dilihat bentuk spesimen yang dipotong untuk sampel pada SEM. Spesimen dipotong berbentuk kotak dengan ukuran 15 x 10 mm.



Gambar 3. 16 Sampel Spesimen

Kemudian sampel *dicoating* dengan serbuk platina selama satu menit menggunakan *coating machine* dan dilanjutkan dengan proses SEM, dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3. 17 SEM Machine & Coating Machine

3.7 Jenis Kegagalan Pada Proses Vacuum Infusion dan Post Curing

3.7.1 Kebocoran Vacuum Infusion

Pada proses *vacuum infusion* jenis kegagalan yang terjadi adalah kebocoran pada *vacuum bag*. Kebocoran tersebut dikarenakan pada saat proses *vacuum* berlangsung sudut spesimen yang lancip merusak *vacuum bag* hingga mengalami kebocoran, selain itu kebocoran dapat juga terjadi pada area *sealant tape* yang tidak menempel dengan sempurna. Solusi dari kegagalan tersebut hanya dengan menutup area yang bocor menggunakan *sealant tape*, dapat dilihat pada gambar 3.18.



Gambar 3. 18 Kebocoran Vacuum

3.7.2 Spesimen Mengalami Deformasi Pada Post Curing

Pada saat melakukan riset dengan melakukan percobaan *post-curing* untuk mencari parameter yang cocok pada spesimen *core* PLA pola *square*, spesimen mengalami deformasi atau perubahan bentuk pada parameter 60 menit suhu 60 °C, 30 menit suhu 60 °C, dan 10 menit suhu 80 °C. Namun, ketika waktu diturunkan menjadi 5 menit pada suhu 80 °C spesimen tidak mengalami deformasi sehingga *post-curing* dilanjutkan pada suhu 70 °C dan 60 °C. Dapat dilihat pada gambar 3.19 contoh spesimen yang mengalami deformasi.



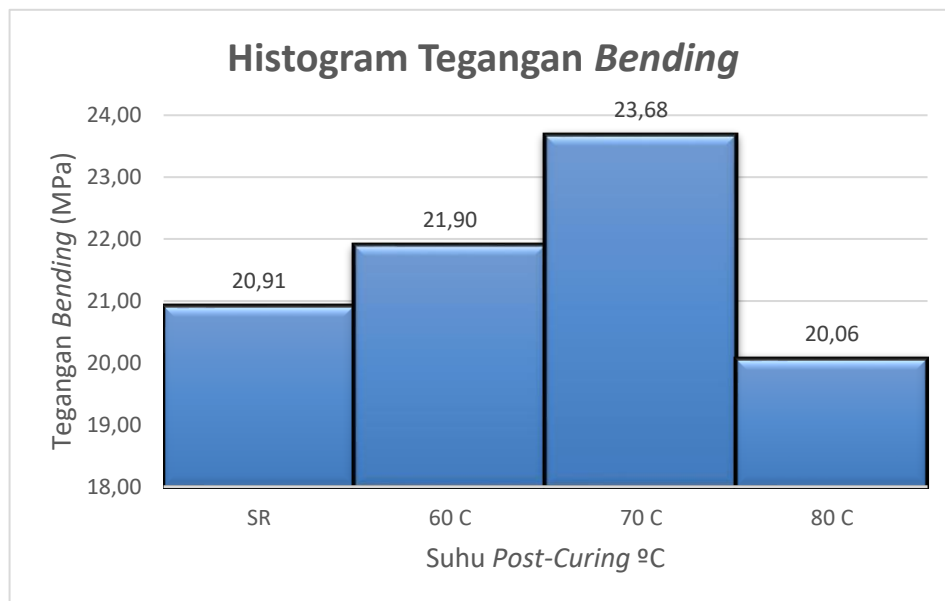
Gambar 3. 19 Spesimen Yang Deformasi

BAB 4

HASIL PEMBAHASAN

4.1 Analisis Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Tegangan *Bending*, Analisis Kegagalan Spesimen, dan *Morfologi* (Hasil Uji *SEM*)

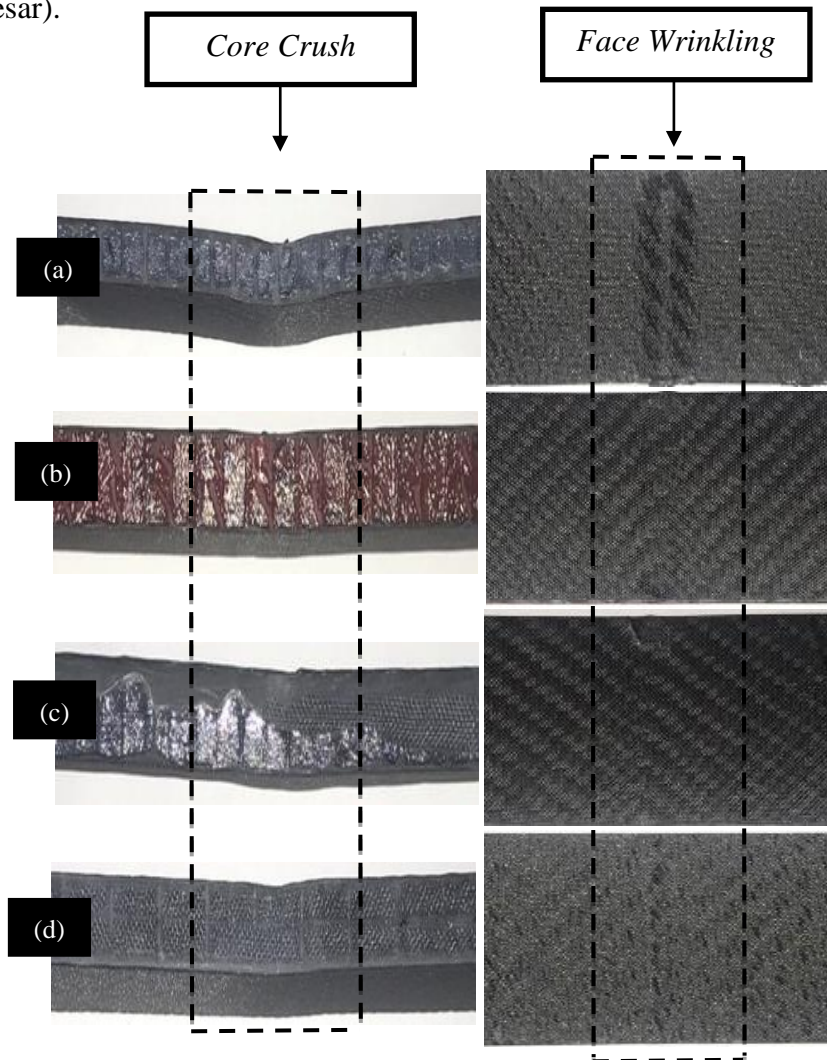
Pada grafik histogram dapat dilihat data nilai tegangan *bending* dari variasi suhu spesimen uji yang akan dibandingkan dengan analisis kegagalan spesimen dan morfologinya. Pada grafik histogram 4.1 dapat dilihat adanya peningkatan dan penurunan nilai tegangan *bending* pada spesimen.



Gambar 4. 1 Histogram Tegangan *Bending*

Dapat dilihat bahwa nilai tegangan *bending* spesimen suhu ruang sebesar 20.91 Mpa sedangkan pada suhu 60 °C mengalami peningkatan sebesar 4.5% menjadi 21.90 Mpa dan pada suhu 70 °C meningkat sebesar 11.7% menjadi 23.68 Mpa. Namun, pada spesimen suhu 80 °C terjadi penurunan tegangan *bending* sebesar 20.06 Mpa. Peningkatan dan penurunan nilai tegangan *bending* dari variasi suhu berbanding lurus dengan analisis kegagalan spesimen yang didapatkan.

Pada gambar 4.2 menunjukkan beberapa analisis kegagalan pada spesimen akibat beban *bending* diantaranya adalah *core crush* dan *face wrinkling*. *Core crush* adalah perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen sedangkan *face wrinkling* adalah *buckling* atau menekuk nya spesimen *skin* atas akibat tegangan tekan dan kurangnya *support* dari *core* karena densitas rendah (dimensi core besar).



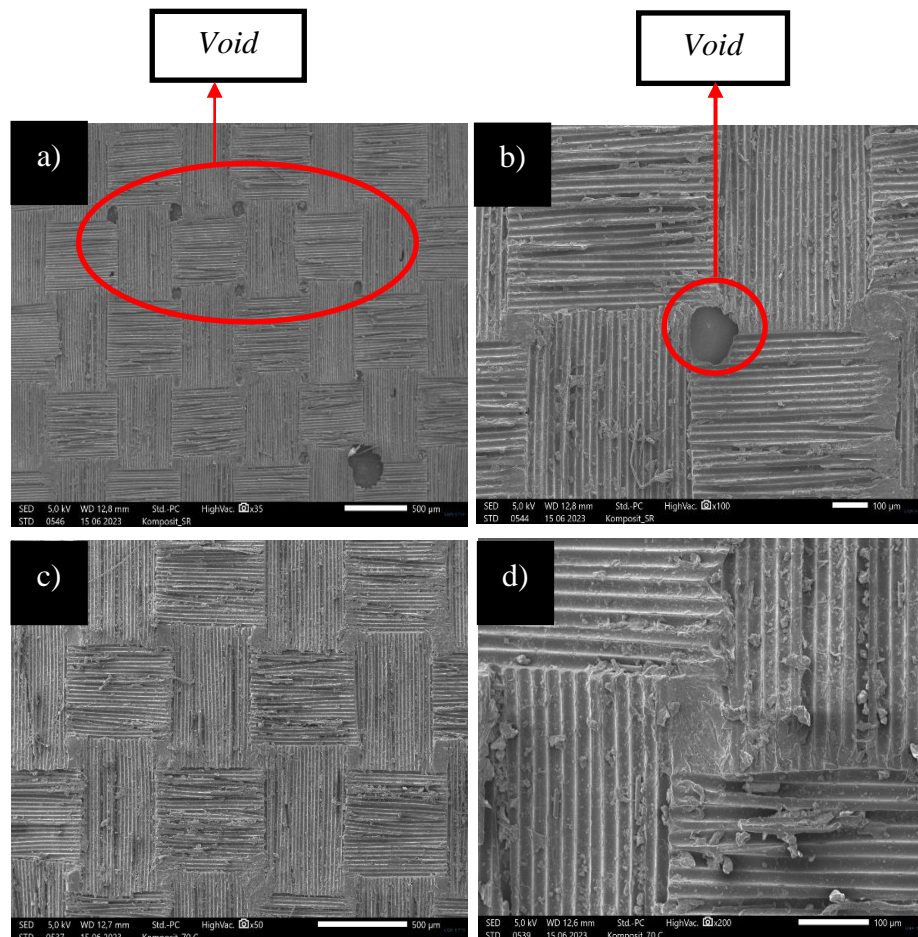
Gambar 4. 2 Mode Kegagalan Spesimen Dengan Variasi Suhu *Post Curing* pada (a) Suhu Ruang, (b) Suhu 60 °C, (c) Suhu 70 °C, (d) Suhu 80 °C

Pada spesimen suhu ruang memiliki tegangan *bending* hanya sebesar 20,91 Mpa. Hal itu terjadi karena *curing* pada suhu ruang belum memberikan *cross-link* pada resin secara sempurna sehingga terjadi dua jenis kegagalan spesimen yaitu *core crush* dan *face wrinkling*, dapat dilihat pada gambar 4.2 (a).

Akan tetapi, *core crush* dan *face wrinkling* mulai tidak terlihat dengan jelas pada spesimen setelah dilakukan *post-curing* pada suhu 60 °C seperti ditunjukkan pada gambar 4.2 (b). Bahkan, kedua jenis kegagalan tersebut hampir tidak terlihat pada spesimen setelah dilakukan *post-curing* pada suhu 70 °C seperti ditunjukkan pada gambar 4.2 (c). Hasil ini terjadi karena *post-curing* pada suhu 60 °C dan 70 °C memberikan pengaruh *cross-link* pada resin secara maksimal. Sehingga, tegangan *bending* spesimen menjadi meningkat.

Sedangkan pada spesimen *post-curing* 80 °C mengalami penurunan tegangan *bending* menjadi 20.06 Mpa. Penurunan tersebut diakibatkan suhu *post-curing* yang terlalu tinggi dan membuat *core* berbahan PLA dari spesimen suhu 80 °C mengalami *glass transition*. Sehingga, tegangan *bending* dari spesimen *post-curing* 80 °C menurun dan mengalami *core crush* kembali pada spesimen seperti ditunjukkan pada gambar 4.2 (d). Sebagai tambahan, di semua spesimen tidak ditemukan *debonding* karena keberhasilan dalam pemberian perekat pada *skin* dan *core*. Pemberian perekat ini berfungsi untuk menambah ikatan antara *skin* dan *core*.

Lebih lanjut, dari pengamatan hasil foto SEM akan digunakan untuk membandingkan morfologi spesimen suhu ruang (spesimen pembanding) dan spesimen suhu 70 °C. Dapat dilihat pada gambar 4.3 (a) bahwa terdapat banyak sekali *void* yang membuat spesimen suhu ruang memiliki nilai tegangan *bending* hanya sebesar 20,90 Mpa. *Void* tersebut rata-rata berada pada area simpang atau pada sambungan *carbon fiber* yang mengakibatkan penurunan kekuatan *bending* pada spesimen. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3 (b).



Gambar 4. 3 Foto SEM Dengan Perlakuan *Post Curing* Pada (a) Suhu Ruang dengan perbesaran 35X, (b) Suhu Ruang dengan perbesaran 100X, (c) Suhu 70 °C dengan perbesaran 50X, (d) Suhu 70 °C dengan perbesaran 200X

Void disebabkan karena proses pengadukan matriks yang tidak sempurna, *void* tersebut dapat terperangkap dalam ikatan matriks *skin* dan *core*. *Void* akan mempengaruhi nilai kekuatan tegangan *bending* menjadi menurun karena pada bagian *void* tidak terdapat matriks pengikat yang menyebabkan area *void* tidak terisi dengan resin.

Pada spesimen yang diberi perlakuan *post-curing* 70 °C tidak terdapat *void* sama sekali pada sambungan *carbon fiber*-nya. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3 (c) dan 4.3 (d). *Void* tersebut dapat hilang karena proses *post-curing* membantu polimerisasi pada resin. Pada saat proses *post-curing*, *void* akan menguap sehingga resin-resin akan mengisi ruang kosong yang sebelumnya diisi oleh *void*. Minimnya *void* pada spesimen yang dibuat memiliki hubungan berbanding lurus dengan tegangan *bending komposit sandwich*. Dimana semakin sedikit *void* pada spesimen, maka semakin tinggi pula tegangan *bending*-nya.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Spesimen yang diberi perlakuan *post-curing* pada suhu 60 °C mengalami peningkatan tegangan *bending* sebesar 4.5% menjadi 21.90 Mpa dan pada suhu 70 °C mengalami peningkatan tegangan *bending* sebesar 11.7% menjadi 23.68 Mpa dibandingkan dengan spesimen suhu ruang. Namun tegangan *bending* pada spesimen suhu 80 °C menjadi menurun dengan nilai 20.06% akibat terlalu tinggi suhu yang diterima oleh *core*.
2. Terdapat beberapa analisis kegagalan pada spesimen. Tipe dari kegagalan tersebut adalah *core crush dan face wrinkling*. *Core Crush* adalah perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen sedangkan *Face Wrinkling* adalah *Buckling* atau menekuk nya spesimen *skin* atas akibat tegangan tekan dan kurangnya *support* dari *core* karena densitas rendah. Akan tetapi, analisis kegagalan tersebut mulai tidak terlihat pada spesimen *post-curing* 60 °C dan 70 °C, karena pada suhu tersebut dapat memberikan *cross-link* pada resin secara maksimal. Sehingga, tegangan *bending* spesimen menjadi meningkat.
3. Dari hasil penelitian dan uji SEM menunjukkan bahwa spesimen suhu ruang banyak terdapat *void* pada sambungan *carbon fiber* yang menyebabkan tegangan *bending* menurun sedangkan pada spesimen suhu 70 °C sudah tidak terdapat *void*. Oleh karena itu, tegangan *bending* akan meningkat dengan minimnya keberadaan *void*.

5.2 Saran Untuk Penelitian Selanjutnya

1. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya pada SEM untuk melihat pengaruh *post-curing* terhadap *core* komposit *sandwich*.
2. *3M Spray adhesive* adalah lem perekat yang bagus untuk spesimen yang diberi perlakuan panas karena pada saat *post-curing* lem tidak akan menguap dan tidak merusak skin.
3. *Carbon* lebih baik dipotong terlebih dahulu sebelum ditempelkan pada spesimen, agar komposit *sandwich* yang dihasilkan lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- A. H. Pratama, “Pengaruh Ketebalan Dan Jenis 3D Printed Core Terhadap Kekakuan Bending Komposit Sandiwich Skin Serat Karbon,” *Universitas Islam Indonesia*, 2022.
- H. Gunawan, “Studi Pengaruh Jenis, Ketebalan, Dan Core Density Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Dicitak Menggunakan Filamen ABS,” *Universitas Islam Indonesia*, 2022.
- 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>.
- Izma Adriansyah, Y. (2021). Analisis Uji Bending Komposit Sandwich Yang Digabungkan 3D Printing Analisis Uji Bending Komposit Sandwich Yang Digabungkan 3D Printing. Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, 8–10.
- J. P. Rahmani, “Studi Pengaruh Jenis Perekat Dan Variasi Suhu Curing Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Menggunakan Core 3D Printing,” *Universitas Islam Indonesia*, 2022.
- M. Azissyukhron and S. Hidayat, “Perbandingan Kekuatan Material Hasil Metode Hand Lay-up Dan Metode Vacuum Bag Pada Material Sandwich Composite,” *J. Tek. Mesin*, 2018.
- Mujika, F. (2006). On the difference between flexural moduli obtained by three-point and four-point bending tests. *Polymer Testing*, 25(2), 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2005.10.006>
- Nayiroh, N. (2013). *Teknologi Material Komposit*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Petras, A, “Design of Sandwich Structures,” Cambridge University, 1998.
- Prastyadi, C. (2017). Pengaruh variasi fraksi volume, temperatur, waktu curing dan post-curing terhadap karakteristik tekan komposit polyester – partikel hollow glass microspheres (Hgm). Mechanical Engineering Department Faculty of Industrial.

- Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. Seminar Nasional Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi 2018, 1–6.
- Sujatno, dkk. “Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium,” *J. Forum Nuklir*, vol. 9, no. 2, pp. 44-50, 2015.
- Tamaela, V, “Karakteristik Curing 80 °C dan 100 °C Komposit Serat E-Glass”, Skripsi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta, 2016.
- W. B. Utomo and N. S. Drastiawati, “Pengaruh Variasi Jenis Core, Temperatur Curing Dan Post-curing Karakteristik Bending Komposit Sandwich Serat Karbon Dengan Metode Vacuum Infusion,” *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 45-54, 2021.
- Wang, P, dkk. 2011. Numerical and Experimental Analyses of Resin Infusion Manufacturing Processes of Composite Materials. *Journal of Composite Materials* 46(13) 1617-1631

LAMPIRAN

HASIL PENGUJIAN BENDING

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

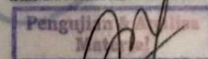
No.	Variasi INFIL	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	SR A	10.72	51.01	0.56	6.78	24.36
2	SR B	10.78	50.82	0.46	4.72	19.86
3	SR C	10.64	51.14	0.42	5.16	18.50
4	60 A	11.02	51.22	0.50	3.79	20.50
5	60 B	11.00	51.30	0.55	4.03	22.59
6	60 C	11.00	51.30	0.55	4.05	22.59
7	70 A	11.14	51.38	0.60	5.02	24.00
8	70 B	11.10	50.68	0.59	6.98	24.09
9	70 C	11.18	50.70	0.57	5.90	22.94
10	80 A	10.80	50.68	0.47	4.12	20.27
11	80 B	10.58	50.74	0.46	5.48	20.65
12	80 C	10.84	50.72	0.45	4.87	19.25

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan.

1. Pengujian dilakukan tanggal 28 Maret 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 28 Maret 2023
Staf Laboratorium Bahan Teknik



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

