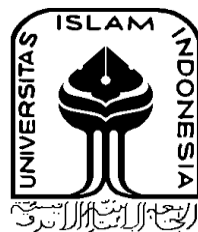


**KEKUATAN BENDING RANGKA PRODUK KOMPOSIT
MENGUNAKAN MATERIAL KOMPOSIT SANDWICH
DENGAN INTI POLIMER PRODUK 3D PRINTING
DAN LAPISAN PENGUAT SERAT KARBON**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : M. Dandy Novrilian Pradana
No. Mahasiswa : 18525074
NIRM : 180701000602112000

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

2024

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**KEKUATAN BENDING RANGKA PRODUK KOMPOSIT
MENGUNAKAN MATERIAL KOMPOSIT SANDWICH
DENGAN INTI POLIMER PRODUK 3D PRINTING
DAN LAPISAN PENGUAT SERAT KARBON**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : M. Dandy Novrilian Pradana
No. Mahasiswa : 18525074
NIRM : 180701000602112000

Yogyakarta, 13 September 2024

Pembimbing I,



Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**KEKUATAN BENDING RANGKA PRODUK KOMPOSIT
MENGUNAKAN MATERIAL KOMPOSIT SANDWICH
DENGAN INTI POLIMER PRODUK 3D PRINTING
DAN LAPISAN PENGUAT SERAT KARBON**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : M. Dandy Novrilian Pradana

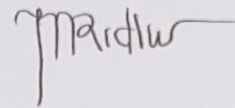
No. Mahasiswa : 18525074

NIRM : 180701000602112000

Tim Penguji

Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP

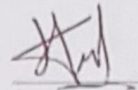
Ketua



Tanggal : 29/10/2024

Ir. Donny Suryawan, S.T., M.Eng., IPP

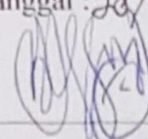
Anggota I



Tanggal : 28/10/2024

Irfan Aditya Dharma, S.T., M.Eng., Ph.D

Anggota II



Tanggal : 29/10/2024

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya yang bertanda tangan dibawah ini, M. Dandy Novrilian Pradana selaku penulis Tugas Akhir dengan judul “ Kekuatan Bending Rangka Produk Komposit Menggunakan Material Komposit Sandwich Dengan Inti Polimer Produk 3D Printing Dan Lapisan Penguat Serat Karbon ”merupakan hasil karya sendiri dan benar keaslian nya. Apabila di kemudian hari penulisan ini merupakan hasil plagiasi terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggung jawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan dan tata tertib yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Yogyakarta, 13 September 2024



M. Dandy Novrilian Pradana

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua Orang Tua saya yang saya cintai dan sangat saya sayangi (Bapak saya H. Maulana Bahtiar, S.kom dan Ibu saya Hj. R.A. Yuliana) dan yang saya sayangi kedua adik saya Tarisa Febrilian Mutiara Fiorenza dan Marshella Adelian Cahaya Asmarani yang selalu mendukung, memberikan nasehat dan mendoakan saya dalam segala urusan.
2. Bapak pembimbing saya bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. yang selalu memberikan saran, masukan serta memberikan ilmu yang bermanfaat bagi saya. Dan dosen-dosen Teknik Mesin UII terima kasih atas ilmu pengetahuan yang diberikan selama masa perkuliahan.

HALAMAN MOTTO

"Tujuan tanpa tindakan hanyalah impian."

“Allah tidak akan pernah membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS Al-Baqarah 2:256)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji syukur atas ke hadirat *Allah Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Kekuatan Bending Rangka Produk Komposit Menggunakan Material Komposit Sandwich Dengan Inti Polimer Produk 3D Printing dan Lapisan Penguat Serat Karbon”. Tak lupa sholawat dan salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, serta pengikutnya hingga akhir zaman. Dalam kesempatan ini penulis banyak mendapat ilmu, bimbingan, saran, dorongan, bantuan serta semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala hari perkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT tuhan semesta alam, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Keluarga tercinta Bapak H. Maulana Bahtiar, S.kom dan Ibu Hj. R.A. Yuliana, adik Tarisa Febrilian Mutiara Fiorenza, Marshella Adelian Cahaya Asmarani, yang selalu memebrikan doa yang tulus, semangat, perhatian dan dukungan baik secara moral maupun material.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T. IPP., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin UII.
4. Bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan serta masukan dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
5. Semua Dosen Teknik Mesin atas segala ilmu yang diberikan selama masa perkuliahan.
6. Rekan-rekan Teknik Mesin UII 2018
7. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Akhir kata, Penulis menyadari Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan. Maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dimasa yang akan mendatang.

Yogyakarta, 13 September 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Dandy' with a stylized flourish at the end.

M. Dandy Novrilain Pradana
(18525074)

ABSTRACT

The use of modern manufacturing technology has brought significant innovations in the development of composite materials. H beam is one type of structural profile widely used in construction to support heavy loads. This study aims to explore the characteristics, applications, and advantages of H beam in the context of building construction. An intriguing approach involves integrating 3D printing processes. This research investigates the application of 3D printing technology in manufacturing composite structures using PLA+ and ABS materials, known for their strength and durability, as the primary focus. The main emphasis is on using H beams as the structural core reinforced with carbon twill and carbon prepreg fibers through vacuum infusion processes. Vacuum infusion methods are employed to create strong and lightweight structures. The vacuum infusion process is used to incorporate composite materials such as carbon twill fibers and carbon prepreg. The selection of carbon twill fibers and carbon prepreg will be analyzed through bending tests to evaluate the strength and rigidity of the printed structures. The curing process is also necessary to ensure the material achieves optimal strength at a temperature of 70°C for 240 minutes. Experimental results demonstrate that integrating 3D printing technology with vacuum infusion can produce H beams that meet structural strength requirements with lighter weight compared to traditional methods. This study provides a significant contribution to the advancement of manufacturing techniques in producing cost-effective and environmentally friendly structural components.

Keywords: H beam, 3D print, composite, vacuum infusion, pla+, abs, curing, carbon twill, prepreg carbon, bending test

ABSTRAK

Penggunaan teknologi manufaktur modern telah menghadirkan inovasi signifikan dalam pengembangan material komposit. H beam merupakan salah satu jenis profil struktural yang banyak digunakan dalam konstruksi untuk mendukung beban yang berat. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi karakteristik, aplikasi, dan keunggulan H beam dalam konteks konstruksi bangunan. Salah satu pendekatan yang menarik adalah mengintegrasikan proses cetak 3D printing. Penelitian ini menginvestigasi aplikasi teknologi cetak 3D printing dalam pembuatan struktur komposit menggunakan bahan PLA+ dan ABS, yang dikenal karena kekuatan dan ketahanannya, menjadi fokus utama dalam penelitian ini. Fokus utama adalah pada penggunaan balok H sebagai inti struktural yang diperkuat dengan serat karbon twill dan prepreg karbon melalui proses infus vakum. Metode infus vakum untuk menciptakan struktur yang kuat dan ringan. Proses vacuum infusion digunakan untuk memasukkan material komposit seperti serat karbon twill dan prepreg karbon. Pemilihan serat karbon twill dan prepreg karbon yang akan dianalisis melalui uji bending untuk mengevaluasi kekuatan dan kekakuan struktur hasil cetakan. Proses curing juga diperlukan untuk memastikan material mencapai kekuatan optimal dengan suhu 70°C selama 240 menit. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa integrasi teknologi 3D print dengan vacuum infusion mampu menghasilkan H beam yang memenuhi persyaratan kekuatan struktural dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan metode tradisional. Metode ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknik manufaktur dalam pembuatan komponen struktural yang efisien secara biaya dan ramah lingkungan.

Kata kunci: H beam, 3D print, komposit, vacuum infusion, pla+, abs, curing, carbon twill, prepreg carbon, uji 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
Abstrak	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	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	2
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	5
2.2.1 Komposit	5
2.2.2 Komposit Sandwich	5
2.2.2.1 Core	5
2.2.2.1Skin	6
2.2.3 3D Print	7
2.2.4 Vacuum Infusion	7
2.2.5 Proses Curing	8
2.2.6 Pengujian Bending	9
2.2.7 Modus Kegagalan Uji Bending Komposit Sandwich	10

2.2.8 Batang H Beam	11
Bab 3 Metodologi Penelitian	13
3.1 Alur Penelitian	13
3.2 Peralatan dan Bahan.....	13
3.3 Dimensi Spesimen	22
3.4 Susunan Lapisan Komposit Sandwich.....	23
3.5 Proses Pengerjaan	24
3.5.1 Pembuatan Core Dengan Mesin 3D Printing	25
3.5.2 Proses Vacuum Infusion	24
3.5.3 Proses Curing.....	24
3.5.4 Hasil Pengerjaan.....	24
Bab 4 Hasil dan Pembahasan.....	29
4.1 Pengujian Bending.....	29
4.2 Hasil Pengujian.....	30
4.3 Analisis dan Perhitungan	32
4.3.1 Analisis Modus Kegagalan Spesimen ABS Prepreg 50mm dan 30mm	32
4.3.2 Analisis Modus Kegagalan Spesimen PLA+ Carbon 50mm dan 30mm....	33
4.4 Perhitungan	33
4.5 Pembahasan.....	34
4.5.1 Beban Maksimal (P_{max}).....	36
4.5.2 Tegangan Bending	36
4.5.3 Kekakuan Bending.....	37
4.5.4 Kekakuan Bending Spesifik.....	38
4.5.5 Tegangan dan Defleksi	38
Bab 5 Penutup.....	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran atau Penelitian Berikutnya	40
Daftar Pustaka.....	42
<u>Lampiran</u>	41

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen Sebelum Dilakukan Proses Vacuum Infusion	23
Tabel 3. 2 Parameter Pembuatan Core ABS.....	24
Tabel 3. 3 Parameter Pembuatan Core PLA+	25
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Bending.....	31
Tabel 4. 2 Perbandingan Spesimen Setelah Proses Vacuum Infusion	31
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Bending spesimen.....	34
Tabel 4. 4 Data Spesimen Penelitian Sebelumnya	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Komposit Sandwich.....	6
Gambar 2. 2 Serat Karbon.....	6
Gambar 2. 3 Mesin 3D Printing.....	7
Gambar 2. 4 Skema Metode Vacuum Infusion	8
Gambar 2. 5 Proses Curing.....	8
Gambar 2. 6 Dimensi Spesimen Uji Bending.....	9
Gambar 2. 7 Pengujian Bending.....	9
Gambar 2. 8 Jenis-jenis Kegagalan Pada Core Komposit Sandwich	11
Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	13
Gambar 3. 2 3D Printing.....	14
Gambar 3. 3 Filament PLA+	14
Gambar 3. 4 Filamen ABS	15
Gambar 3. 5 Vacuum Pump	15
Gambar 3. 6 Oven.....	16
Gambar 3. 7 spray adhesive.....	16
Gambar 3. 8 Sealent Tape.....	17
Gambar 3. 9 Timbangan.....	17
Gambar 3. 10 Resin Epoxy.....	18
Gambar 3. 11 Hardener	18
Gambar 3. 12 Cup Plastik.....	19
Gambar 3. 13 Kuas	19
Gambar 3. 14 Gunting	19
Gambar 3. 15 Selang dan Katup Bensin.....	20
Gambar 3. 16 Vacuum Bag	20
Gambar 3. 17 Polyester Peel Ply	21
Gambar 3. 18 Serat Karbon.....	21
Gambar 3. 19 Karbon Prepreg.....	22
Gambar 3. 20 Dimensi Spesimen Uji Bending Core 30 mm dan 50 mm.....	22
Gambar 3. 21 Susunan Lapisan Komposit Sandwich.....	23
Gambar 3. 22 Proses Pembuatan Core ABS.....	24

Gambar 3. 23 Proses Pembuatan Core PLA+	25
Gambar 3. 24 Penempelan Peel Ply.....	26
Gambar 3. 25 Rangkaian Vacuum Bagging.....	26
Gambar 3. 26 Proses Curing Spesimen	27
Gambar 3. 27 Spesimen ABS Prepreg.....	27
Gambar 3. 28 Spesimen PLA+ Karbon twill.....	28
Gambar 4. 1 Universal Testing Machine.....	29
Gambar 4. 2 Hasil Pengujian PLA+ Karbon Twill	30
Gambar 4. 3 Hasil Pengujian ABS Karbon Prepreg.....	30
Gambar 4. 4 Spesimen Komposit Sandwich ABS Prepreg 50mm.....	32
Gambar 4. 5 Spesimen Komposit Sandwich ABS Prepreg 30mm.....	32
Gambar 4. 6 Spesimen Komposit Sandwich PLA+ Karbon 50mm	33
Gambar 4. 7 Spesimen Komposit Sandwich PLA+ Karbon 30mm	33
Gambar 4. 8 Grafik Beban Maksimal.....	36
Gambar 4. 9 Grafik Tenggangan Bending.....	36
Gambar 4. 10 Grafik Kekakuan Bending.....	37
Gambar 4. 11 Grafik Kekakuan Bending Spesifik.....	38
Gambar 4. 12 Grafik Tegangan dan Defleksi.....	38
Gambar 4. 13 Grafik Tegangan PLA+ dan ABS.....	389

DAFTAR NOTASI

E	= Modulus Elastisitas Bending	(N/mm ²)
P	= Beban yang diberikan	(N)
L	= Jarak Point	(mm)
δ'	= Defleksi	(mm)
I	= Momen Inersia	(kgm)
D	= Kekakuan Bending	(Nmm ²)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

H-beam merupakan salah satu jenis balok struktural yang mempunyai penampang melintang berbentuk H. Bentuk ini memberikan kekuatan yang baik dalam menahan beban vertikal dan horizontal. H-beam pada umumnya digunakan di konstruksi untuk membangun struktur yang memerlukan dukungan yang kuat dan stabil, seperti gedung, jembatan, dan infrastruktur besar lainnya. Material umumnya terbuat dari baja struktural berkualitas tinggi, meskipun bisa juga dari bahan lain seperti aluminium atau komposit.

Komposit sendiri merupakan material yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda secara fisik atau kimia, yang digabungkan bersama untuk menghasilkan karakteristik yang unggul yang tidak dicapai oleh bahan Tunggal. Adapun material yang digunakan yaitu prepreg yang merupakan bahan komposit yang sudah diresin terlebih dahulu dan di perkuat dengan serat-serat karbon, serat kaca ataupun serat lainnya (Hartono et al.,2016)

Prepreg sendiri mengacu pada bahan penguat yang telah dicelupkan sebelumnya (*pre-impregnated*) dengan matriks resin seperti epoxy atau resin termosetting secara terkontrol dan konsisten. Proses ini melibatkan penempatan bahan prepreg ke dalam cetakan (mold) kemudian menekannya dengan suhu panas dan tekanan untuk mengawetkan resin yang dapat membuat suatu bentuk yang diinginkan. Penggunaan Prepreg Compression molding telah menyebar dalam beberapa tahun terakhir dan telah menjadi alternatif yang valid untuk produksi komponen struktural dengan volume tinggi (Lee et al., 2019).

Curing merupakan proses pemanasan material komposit supaya resin mempunyai daya ikat yang tinggi pada serat, proses ini dilakukan diatas suhu ruangan (Utomo & Drastiawati, 2021). *Curing Time* adalah parameter penting dalam proses manufaktur komposit jika pemanasan terlalu cepat atau tidak sempurna mengakibatkan berkurangnya sifat ketahanan fatik, termal, kekuatan matriks dan sebagainya (M. I. Putra & Nugroho, 2021).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh core 3D *print* dengan infill rendah dengan komposit *sandwich* terhadap kekakuan bending?
2. Bagaimana analisis kegagalan yang terjadi pada spesimen setelah pengujian *bending* ?
3. Bagaimana melakukan proses *vacuum infusion* yang tepat pada spesimen uji ?

1.3 Batasan Masalah

1. Pengujian mekanik dilakukan dengan uji *bending* menggunakan standar ASTM C-393.
2. Pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D *Printing* dengan *infill* 20%.
3. Tebal *core* yang digunakan yaitu 50mm dan 30mm.
4. Jenis material yang diteliti yaitu PLA+, ABS dan serat karbon twill, karbon *prepreg* 3K 220 GSM twill 2*2.
5. Proses pelapisan karbon menggunakan metode *vacuum*.
6. Pengujian 3 point bending dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Untuk membandingkan kekakuan *bending* antara spesimen PLA+ dan ABS yang diberi *skin (carbon fiber)* dengan *infill* 20% dan ketebalan 50mm, 30mm dengan metode *vacuum infusion*.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

1. Dapat menghemat biaya dan bahan produksi suatu rangka dari material yang lain.
2. Mengetahui sifat mekanik komposit *sandwich*.
3. Fleksibilitas dalam bentuk konstruksi rangka sesuai kebutuhan karena dapat dibentuk sesuai design yang direncanakan.

4. Mengetahui proses pembuatan komposit *sandwich* menggunakan metode *vacuum infusion*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri dari lima bab, antara lain:

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini yang berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian atau perancangan, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

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

BAB III Metode Penelitian

Pada bab ini berisikan alur penelitian, alat dan bahan, proses pengerjaan dan pengujian spesimen.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisikan analisis data dan pembahasan dari hasil pengujian bending dan penampilan grafik

BAB V Penutup

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Kajian Pustaka pertama yang mendasari Penelitian ini membahas tentang pengaruh jenis variasi suhu curing dan perekat terhadap kekakuan bending komposit *sandwich* menggunakan *core 3d printing* (Rahmani, 2022). Dalam analisa teknik, tujuannya untuk mengetahui pengaruh *curing* terhadap kekuatan *3 point bending*. Peneliti menggunakan bahan ABS dengan 3 variasi perekat antara lain spray 3M, epoxy, lem aibon, lalu spesimen diberikan perlakuan *post curing* dengan variasi suhu 27°C, 40°C, dan 60°C selama 60 menit. Nilai Tertinggi tegangan *bending* setelah dilakukan *post curing* komposit sebesar 11,38 dengan suhu 40°C.

Kajian pustaka kedua mendasari penelitian ini membahas tentang analisis uji *bending* komposit *sandwich* digabungkan dengan *3d printing* pada komposit *sandwich* dengan metode *hand layup* dengan *infill* 10% dan *infill* 20% dengan standar uji ASTM D790 menggunakan metode *vacuum infusion*. Didapatkan hasil lebih baik dengan *infill* 20% dibandingkan dengan *infill* 10% (Yudha Izma Adriansyah, 2021).

Kajian pustaka ketiga membahas tentang pengaruh tebal core 3d print terhadap uji bending komposit *sandwich* dengan metode *vacuum infusion*. Penelitian ini tentang pengaruh ketebalan core komposit *sandwich* terhadap kekakuan bending menggunakan variasi *core* dengan ketebalan 5mm, 10mm, dan 15mm. Berdasarkan dari hasil pengujian didapatkan nilai kekakuan yang paling tinggi yaitu dengan tebal core 15mm. Selain itu beban max, momen inersia, modulus elasisitas dan tegangan lentur yang di lapisi skin komposit *sandwich* memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang tidak dilapisi komposit (Pratama, 2022).

Kajian pustaka keempat membahas tentang komposit dengan core 3d printing bebahan PLA inti berbentuk honeycomb dengan menggunakan mesin 3d printing tipe FDM. Pada komposit sandwich tersebut core dilapisi menggunakan serat kaca (*fiberglass*) dan diresapi oleh resin didapat bahwa sifat mekanik komposit sangat bergantung pada bentuk inti (Yudha Izma Adriansyah, 2021).

2.2 Dasar Teori

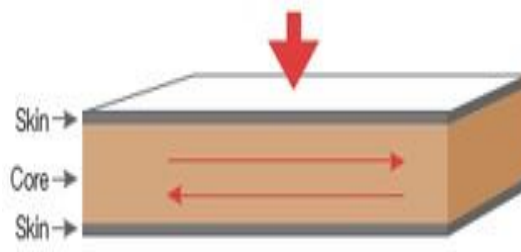
2.2.1 Komposit

Material komposit memiliki bagian penting sebagai penyusunnya, diantaranya lain yang pertama yaitu matrik sebagai pengikat, contohnya berupa *epoxy* resin. Sedangkan yang kedua yaitu filler yang berfungsi sebagai penguat berupa serat ataupun partikel, contohnya berupa *carbon fiber* atau *fiberglass*. Karakter dari komposit ditentukan dari *filler* yang digunakan seperti keuletan, kekuatan, kekakuan, kelenturan maupun sifat mekanik lainnya (Yudha Izma Adriansyah, 2021)

Di era sekarang komposit serat banyak dikembangkan sebagai bahan material alternatif pengganti logam, kayu, dan lainnya. Hal ini disebabkan bahan komposit berasal dari serat memiliki daya tahan korosi dan lebih ringan serta bahan dan proses pembuatannya relatif lebih murah (Pramono et al., 2019)

2.2.2 Komposit Sandwich

Komposit *sandwich* merupakan suatu material yang terbuat dari dua lapisan yang tipis (*skin*) dan kaku. Kekuatan skin dipisahkan oleh ketebalan bersifat ringan yaitu inti (*core*). Material inti (*core*) dan lapisan skin terikat dengan suatu *adhesive* (perekat). Core tersebut berfungsi mendistribusikan beban geser, lalu untuk lapisan luar yaitu skin sebagai pelindung dan untuk menahan beban pada saat uji bending (A. Hidayat et al., 2016).



Gambar 2. 1 Struktur Komposit Sandwich

2.2.2.1 Core

Core merupakan bagian yang paling penting dari komposit *sandwich*, yang mana bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Dengan kekakuannya, *core* harus mampu menahan beban geser agar tidak terjadi slide antara permukaan. Bahan untuk membuat *core* harus memiliki tingkat kekakuan yang tinggi, apabila menggunakan bahan dengan tingkat kekakuan yang rendah, maka kekakuan pada *sandwich* akan berkurang atau hilang (Hartono et, 2016)

2.2.2.2 Skin

Skin merupakan bagian terpenting dari struktur komposit sandwich dimana *skin* terletak pada bagian luar atau biasanya bagian yang melapisi *core*. *Skin* berfungsi untuk menahan *tensile* dan *compressive stress*. Ada beberapa jenis material lainnya yang dapat dijadikan sebagai bahan untuk skin seperti baja, plat logam, aluminium dan *polymer* yang diperkuat oleh serat.

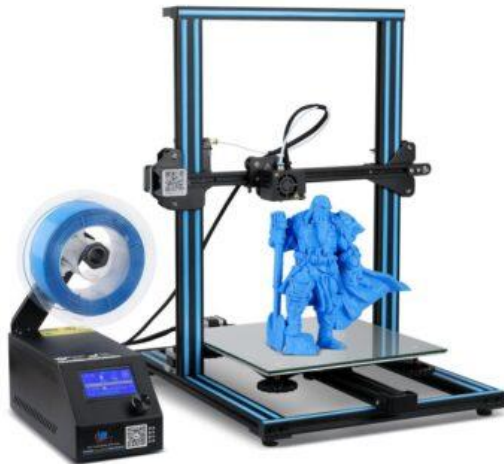


Gambar 2. 2 Serat Karbon

1.2.3 3D Print

Additive Layer Manufacturing atau yang di kenal sebagai *3D Printing* yaitu proses pembuatan objek pada 3D atau bentuk apapun dari model digital.

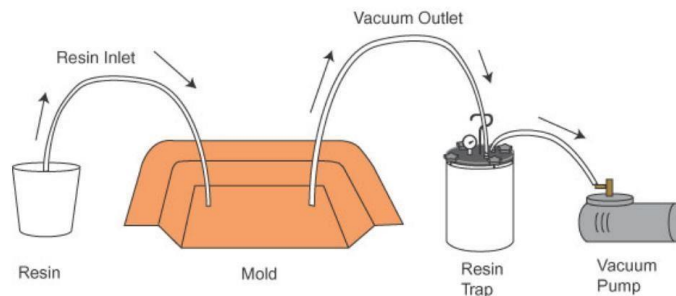
Mesin 3D print ini mampu mencetak dalam bentuk model (purwarupa) ataupun industri secara luas seperti otomotif, arsitektur, industri medis, militer, dll sehingga teknologi ini menjadi salah satu tren yang berkembang di masa kini. Cara kerja mesin 3D print ini sama seperti cara kerja printer laser dimulai dari sejumlah lapisan yang dicetak diatas lapisan lainnya. (Putra et al, 2018)



Gambar 2. 3 Mesin 3D Printing

1.2.4 Vacuum Infusion

Vacuum infusion merupakan metode pembuatan material komposit menggunakan tabung Vacuum yang mempunyai tekanan yang rendah sebagai pengatur jalannya resin. Pada proses ini bertujuan untuk meminimalisir adanya gelembung udara yang terperangkap, resin yang masuk secara berlebihan di dalam cetakan tersebut. Metode vacuum infusion bila dibandingkan dengan metode hand lay-up menggunakan cara manual atau resin dioleskan langsung pada lapisan skin. Namun metode vacuum infusion membutuhkan banyak peralatan pendukung yang banyak dan jarang ada di pasaran sehingga biaya yang di perlukan cenderung mahal (Wijayanto et al, 2022)



Gambar 2. 4 Skema Metode Vacuum Infusion

1.2.5 Proses *Curing*

Proses curing merupakan proses pengeringan bahan penyusun komposit baik itu serat penguat nya maupun matrik nya. Proses ini dimulai dengan pemanasan bahan pada suhu yang sesuai untuk resin yang digunakan. Suhu ini biasanya dipilih untuk dapat merangsang reaksi kimia antara resin dan hardener, sehingga memicu pembentukan ikatan silang antara molekul resin (Dantes, 2021).

Curing (pemadatan dan pengeringan) merupakan tahapan untuk mengubah bahan prepreg menjadi material komposit yang padat. Selama proses curing, suhu dan tekanan diberikan pada bahan untuk memadatkannya dan memungkinkan resin dalam prepreg mengalami reaksi kimia yang disebut polimerisasi, sehingga menghasilkan struktur komposit yang padat dan kuat (Burhanuddin, 2015).



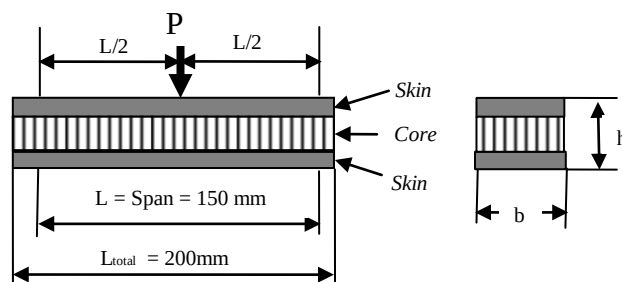
Gambar 2. 5 Proses *Curing*

Curing Time adalah parameter penting dalam proses manufaktur komposit karena pemanasan terlalu cepat atau tidak sempurna mengakibatkan berkurangnya

sifat ketahanan fatik, termal, kekuatan matriks dan sebagainya (M. I. Putra & Nugroho, 2021). Pada saat yang sama, vacuum diberikan pada material untuk memastikan bahwa serat-serat dalam prepreg terikat dengan baik.

1.2.6 Pengujian Bending

Pengujian kekakuan atau sering di kenal dengan uji bending merupakan proses pembebanan suatu material pada suatu titik ditengah dari material dan di dtahan di atas dua tumpuan kiri dan kanan. Besar kekakuan *bending* suatu material di pengaruhi oleh jenis materilnya dan cara pembebannya. Suatu benda ditekan atau dilengkungkan bagian atasnya maka akan mengalami tekanan sedangkan bagian bawahnya mengalami tarik. Untuk material komposit, kekuatan tekannya lebih tinggi dibanding kekuatan tariknya. Kegagalan komposit akibat beban *bending* diawal dari skin komposit sisi belakang dan di lanjutkan dengan kegagalan core. Spesimen dan metode pengujian mengacu pada standar ASTM C-393 (Aprilio, 2022)



Gambar 2. 6 Dimensi Spesimen Uji Bending



Gambar 2. 7 Pengujian Bending

Rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan bending sebagai berikut:

- Tegangan *Bending* Maksimal

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

- Kekakuan *bending*

$$D = E \cdot I_{sandwich} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \delta} \quad (2.2)$$

- Kekakuan *bending* spesifik

$$D. Spesifik = D/W \quad (2.3)$$

Keterangan:

σ = Tegangan *bending* maksimal (MPa)

L = jarak antar titik tumpuan (mm)

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

P = Beban yang diberikan (N)

h = tebal spesimen (mm)

b = lebar spesimen (mm)

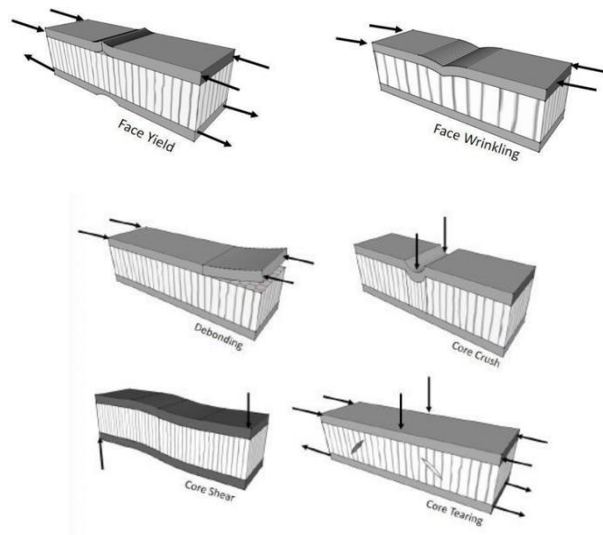
δ = Defleksi (mm)

D = Kekakuan *bending* (Nmm²)

W = Berat spesimen (gram)

1.2.7 Modus Kegagalan Uji *Bending* Komposit *Sandwich*

Dalam pengaplikasiannya 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. Berikut kegagalan yang terjadi pada komposit sandwich:



Gambar 2. 8 Jenis-jenis Kegagalan Pada Core Komposit Sandwich

Pada kegagalan skin komposit sandwich yang pertama yaitu *face yield* dimana bisa terjadi Ketika tegangan normal melebihi tegangan luluh material skin. Jika material skin bersifat getas, maka kegagalan *face yield* kemungkinan besar terjadi pada skin bagian atas karena lebih kritis terhadap tegangan tekan. Kemudian kegagalan *face wrinkling* yaitu fenomena buckling yang terjadi pada skin atas akibat tegangan tekan dan kurangnya support dari core karena dimensi struktur core yang terlalu besar (densitas rendah).

Pada kegagalan core terdapat 4 jenis kegagalan, dimana pada kegagalan debonding kegagalan yang terjadi adalah lapisan *skin* terlepas dari bagian *core* spesimen. Untuk core crush kegagalan yang terjadi adalah perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen. Untuk kegagalan core shear bentuk kegagalan yang terjadi adalah spesimen berubah bentuk akibat pembebanan yang diberikan. Sedangkan untuk kegagalan core tearing jenis kegagalan yang terjadi adalah pecahnya atau terlapasnya bagian core spesimen akibat gaya gesek pada bagian tengah spesimen. (Fadhyl, 2022).

2.2.8 Batang H Beam

H beam, atau sering disebut juga sebagai I-beam adalah salah satu jenis balok struktural yang banyak digunakan dalam konstrukai bangunan dan jembatan. H beam memiliki bentuk penampang melintang seperti huruf H, dengan dua flange horizontal yang terhubung oleh web vertikal ditengahnya. Fitur utama H beam sebagai berikut:

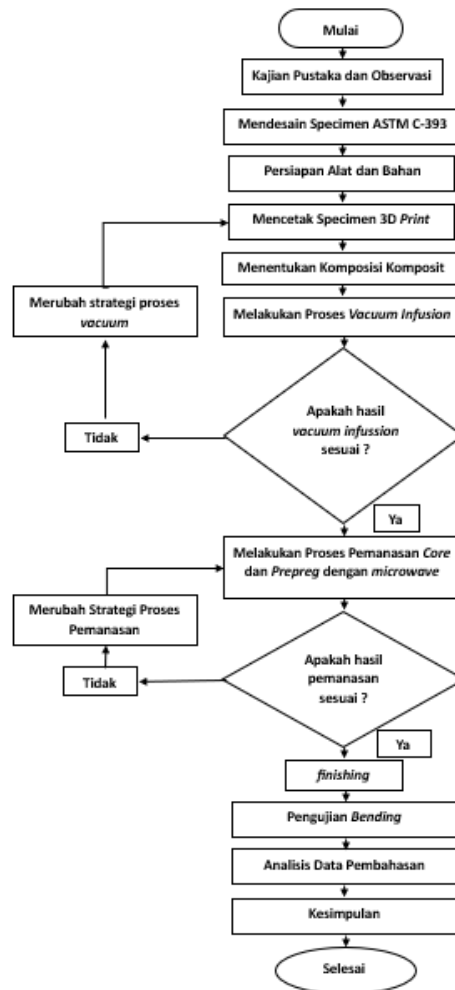
1. Struktur dan bentuk: h beam memiliki dua flange horizontal (bagian atas dan bagian bawah) yang terhubung oleh web vertikal (bagian tengah). Bentuk ini memberikan kekuatan dan kekakuan tinggi terhadap beban berat.
2. Material nya biasanya terbuat dari baja berkualitas tinggi, tetapi juga bisa dibuat dari bahn lainnya tergantung kebutuhan.
3. Kegunaannya dalam berbagai aplikasi konstruksi termasuk sebagai balok penahan beban dalam gedung, jembatan, rangka otomotif, dan struktur lainnya. H beam efektif dalam menahan beban lentur dan tegangan tarik sehingga sering digunakan di bangunan yang membutuhkan dukungan struktural yang kuat.
4. Kelebihan h beam memiliki kekuatan dan kestabilan yang baik terhadap beban berat dan lebih ringan dibandingkan balok degan penampang solid.
5. Standar dan ukuran h beam tersedia dalam berbagai ukuran dan spesifikasi sesuai standar internasional seprti ASTM, EN, JIS. Tergantung pada lokasi dan kebutuhan proyek

Secara keseluruhan, h beam adalah komponen yang sangat penting dalam rekayasa konstruksi, memberikan dukungan yang efisien dan kuat dengan desain yang optimal untuk berbagai aplikasi.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

1. 3D Printing

3d print yang digunakan pada penelitian ini adalah Bambu Lab P1S. Berfungsi sebagai pencetak spesimen uji ASTM C393. Berikut 3d print yang digunakan di penelitian ini di tujukkan pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3. 2 3D Printing

2. PLA+

Filamen yang digunakan yaitu PLA+ (*Polylactic Acid*) yang berfungsi sebagai bahan membuat core H beam. Filamen yang digunakan merupakan merk dari Sunlu dengan diameter 1,75 dan *printing temperature* 190°C - 220°C.



Gambar 3. 3 Filament PLA+

3. ABS

Filamen yang digunakan yaitu ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) yang berfungsi sebagai bahan membuat core H beam. Filamen yang digunakan merupakan merk dari Sunlu dengan diameter 1,75 dan *printing temperature* 260°C - 280°C.



Gambar 3. 4 Filamen ABS

4. Vacuum Pump

Pompa vakum yang digunakan untuk mengeluarkan molekul gas dari ruangan tertutup ke area luar untuk mencapai tekanan sempurna, alat vakum yang digunakan pada penelitian ini dengan merk Krisbow Model KW 19-534 bertenaga $\frac{1}{2}$ HP.



Gambar 3. 5 Vacuum Pump

5. Oven

Pada penelitian ini *oven* berfungsi sebagai alat yang digunakan untuk memanaskan core (specimen) dengan waktu 240 menit dan suhu 70°C.



Gambar 3. 6 Oven

6. Lem

Spray adhesive merupakan lem yang berfungsi sebagai perekat *core 3D printing* dan serat karbon, tujuannya supaya serat karbon menempel pada core.



Gambar 3. 7 spray adhesive

7. Sealent Tape

Sealent tape berfungsi sebagai perekat *vacuum bagging film* supaya tidak terjadi kebocoran pada proses *vacuum infusion*. Cara kerjanya sama dengan *double tape*.



Gambar 3. 8 Sealent Tape

8. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk menakar campuran epoxy dan hardener. Berfungsi juga untuk menimbang berat specimen sebelum dilapisi skin dan sesudah dilapisi skin.



Gambar 3. 9 Timbangan

9. Resin Epoxy

Resin epoxy merupakan senyawa kimiawi yang dihasilkan dari proses polimerisasi epoksida. Resin epoxy berfungsi sebagai pengikat carbon fiber agar menjadi kaku.



Gambar 3. 10 Resin Epoxy

10. Hardener

Cairan ini digunakan sebagai campuran resin berfungsi membantu mempercepat proses pengerasan pada epoxy.



Gambar 3. 11 Hardener

11. Cup plastik

Cup plastik yang berfungsi untuk tempat pencampuran resin epoxy dan hardener.



Gambar 3. 12 Cup Plastik

12. Kuas

Kuas yang digunakan berfungsi untuk mengoleskan campuran resin dan hardener pada spesimen.



Gambar 3. 13 Kuas

13. Gunting

Gunting berfungsi untuk memotong bahan material komposit dan untuk membuka spesimen setelah proses *vacuum infusion*.



Gambar 3. 14 Gunting

14. Selang dan katup bensin

Selang bensin digunakan untuk saluran vakum pada *vacuum pump* kedalam *vacuum bagging*. Sedangkan katup bensin digunakan untuk membuka dan menutup saluran udara dari cetakan.



Gambar 3. 15 Selang dan Katup Bensin

15. *Vacuum Bag*

Vacuum bag berfungsi untuk tempat diletakkannya spesimen komposit yang akan dilakukan proses *vacuum infusion*.



Gambar 3. 16 Vacuum Bag

16. *Polyster Peel Ply*

Kain *peel ply* berfungsi untuk memberikan permukaan laminasi supaya menjadi lebih rata dan membantu pada saat pelepasan spesimen yang sudah diberi resin dapat dilepas dengan mudah.



Gambar 3. 17 Polyester Peel Ply

17. Serat karbon twill

Penelitian ini menggunakan serat karbon kevlar twill 3k 2*2 220gsm berfungsi sebagai skin pada spesimen PLA+.



Gambar 3. 18 Serat Karbon

18. Karbon *Prepreg*

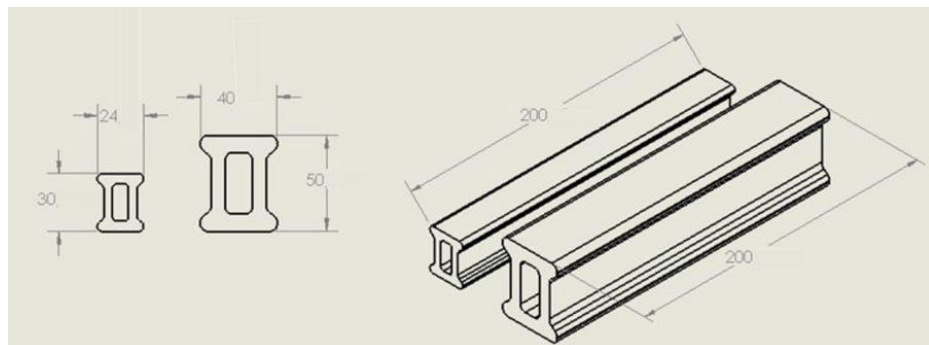
Penelitian ini menggunakan karbon *prepreg* 3k 2*2 220gsm berfungsi sebagai skin pada spesimen ABS.



Gambar 3. 19 Karbon Prepreg

3.3 Dimensi Spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM C393 pada spesimen komposit sandwich, dengan menggunakan bahan core PLA+ dan ABS serta infill 20%.



Gambar 3. 20 Dimensi Spesimen Uji Bending Core 30 mm dan 50 mm

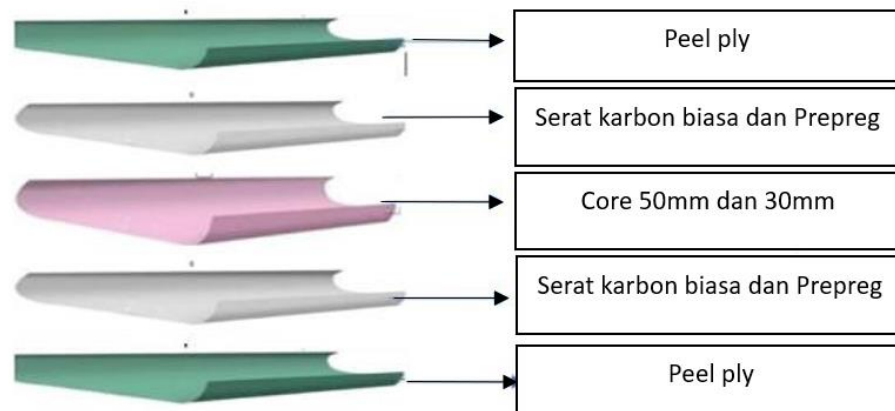
Gambar 3-20 diatas menunjukkan dimensi spesimen yang akan di buat pada penelitian ini. Pada penelitian ini *core* di buat dari bahan PLA dan ABS dengan tinggi 30mm dan 50mm, sebanyak 8 spesimen, yang diantaranya 4 spesimen menggunakan bahan PLA+ dengan ukuran 2 variasi yaitu 30mm dan 50mm, dan bahan ABS juga ada 4 spesimen dengan ukuran 30mm, 50mm dan panjang 200mm. Spesimen semua di lapisi komposit sebagai nilai pembanding sebelum dilakukan *vacuum infusion* dan sesudah *vacuum infusion*.

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

No	Kode Spesimen	Tebal	Lebar	Berat
		(mm)	(mm)	awal (g)
1	ABS Prepreg_1	50	40	109
2	ABS Prepreg_2	50	40	109
3	ABS Prepreg_3	30	30	51
4	ABS Prepreg_4	30	30	51
5	PLA+Carbon_1	50	40	135
6	PLA+Carbon_2	50	40	135
7	PLA+Carbon_3	30	30	65
8	PLA+Carbon_4	30	30	65

Pada tabel 3.1 diatas menunjukkan perhitungan dimensi awal spesimen sebelum dilakukannya tahap *vacuum infusion*. Dapat dilihat pada spesimen ABS *Prepreg_1* memiliki tebal 50 mm, dan lebar 40 mm dan berat 109 gr sebelum spesimen dilakukan proses komposit *sandwich*. Dengan jumlah spesimen yang akan dibuat adalah 8 spesimen.

3.4 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

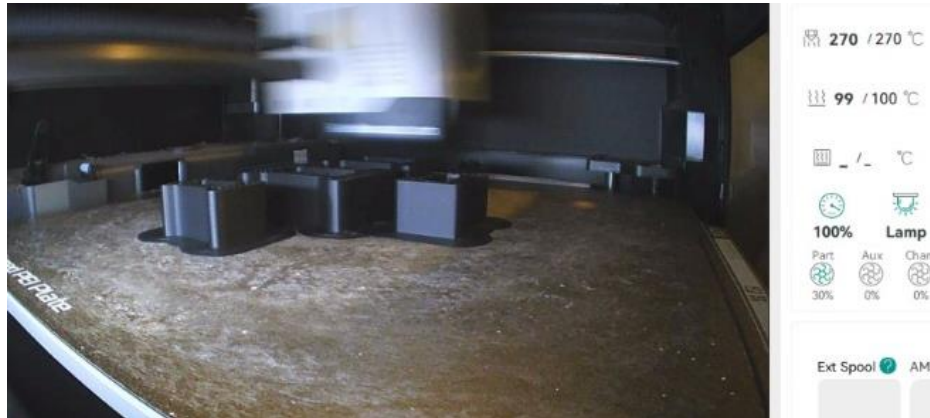


Gambar 3. 21 Susunan Lapisan Komposit Sandwich

Pada gambar 3-21 menunjukkan susunan lapisan komposit *sandwich* dengan ketebalan *core* 30mm dan 50mm dimana lapisan serat karbon sebanyak 1 lapis dan selanjutnya dilakukan tahap *vacuum infusion*.

3.5 Proses Pengerjaan

3.5.1 Pembuatan Core Dengan Mesin 3D Printing



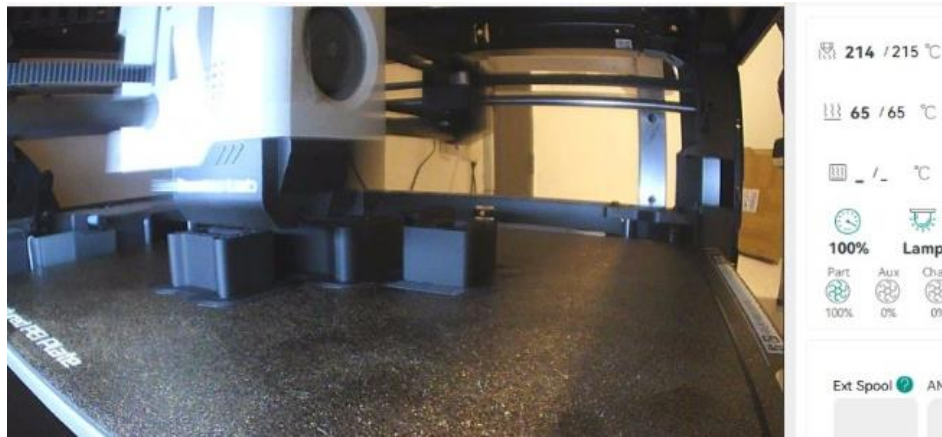
Gambar 3. 22 Proses Pembuatan Core ABS

Gambar 3.22 menunjukkan proses pembuatan *Core* ABS yang dimensinya mengikuti standar ASTM C-393 menggunakan mesin 3D printing.

Kode	Infill (%)	Suhu Bed (°C)	Suhu Nozzle (°C)	Speed (%)	Layer thickness	Fill pattern
ABS	20	99	270	100 mm/s	0,2 mm	<i>monotonic</i>

Tabel 3. 2 Parameter Pembuatan Core ABS

Tabel 3.2 menunjukkan parameter proses pengeprintan spesimen uji yang dibuat dengan bahan ABS (*Acrylonitrile Butadine Styrene*) dengan infill 20%, suhu bed 99°C, suhu *nozzle* 270°C, speed 100mm/s dengan *fill pattern monotonic*.



Gambar 3. 23 Proses Pembuatan Core PLA+

Pada gambar 3-23 menunjukkan proses pembuatan *Core* PLA+ yang dimensinya mengikuti standar ASTM C-393 menggunakan mesin 3D printing.

Kode	Infill (%)	Suhu Bed (°C)	Suhu Nozzle (°C)	Speed (%)	Layer thickness	Fill pattern
PLA+	20	65	214	100 mm/s	0,2 mm	<i>monotonic</i>

Tabel 3. 3 Parameter Pembuatan Core PLA+

Pada tabel 3-3 menunjukkan parameter proses pengeprintan spesimen uji yang dibuat dengan bahan PLA+ (*Polylactid Acid*) dengan infill 20%, suhu bed 65°C, suhu *nozzle* 214°C, speed 100mm/s dengan *fill pattern rectilinear*.

3.5.2 Proses *Vacuum Infusion*

Adapun tahapan atau langkah-langkah pengerjaan proses *vacuum bagging* Sebagai berikut:

1. Menyusun alat dan bahan yang akan digunakan dalam proses *vacuum bagging*
2. Semprotkan *spray adhesive* pada spesimen hingga merata lalu tempelkan serat karbon twill pada spesimen.

3. Mencampurkan resin *epoxy* dan *hardener* dengan perbandingan 4:1 dan aduk sampai tercampur merata. Kemudian mengoleskan ke lapisan serat karbon yang sudah menempel pada spesimen.
4. Menempelkan *peel ply* pada bagian serat karbon yang sudah diolesi campuran resin dan *hardener* kemudian mengoleskan campuran resin dan *hardener* kembali supaya resin merata pada serat karbon.



Gambar 3. 24 Penempelan Peel Ply

5. Meletakkan spesimen diatas *vacuum bag* dibagian dalam dari *sealent tape*.
6. Menutup seluruh area spesimen dengan *vacuum bag* dan ditempelkan ke *sealent tape* pada bagian alas dan pastikan *vacuum bag* pada bagaian penutup menempel sehingga tidak ada ruang udara atau kebocoran dengan menyisakan sedikit lubang untuk memasukkan selang kedalam.



Gambar 3. 25 Rangkaian Vacuum Bagging

7. Melakukan proses *vacuum* dengan menyalakan pompa vakum hingga tidak tersisa udara pada bagian dalam *vacuum bag*, pastikan udara didalam *vacuum bag* sudah tidak ada dan *vacuum bag* menekan spesimen lalu mematikan pompa vakum dan menutup kran *valve*.

3.5.3 Proses *Curing*

Proses ini hanya di lakukan dengan material ABS yang sudah di lapiasi dengan karbon *pregreg*. Pada gambar 3-26 proses ini merupakan proses *curing* spesimen dimana spesimen dipanaskan dengan suhu 70°C dengan waktu selama 240 menit. Tujuannya supaya resin yang dari karbon *pregreg* mengering / karbon menjadi kaku.



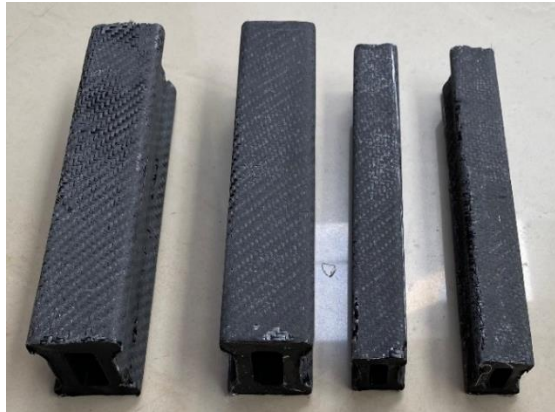
Gambar 3. 26 Proses Curing Spesimen

3.5.4 Hasil Pengerjaan

Hasil dari proses pembuatan spesimen dengan 3D *Printing* dan hasil dari proses *Vacuum Infusion* dapat dilihat pada gambar 3.27



Gambar 3. 27 Spesimen ABS Prepreg



Gambar 3. 28 Spesimen PLA+ Karbon twill

Gambar 3-27 diatas menunjukkan gambar spesimen uji ABS karbon prepreg yang telah dilakukan proses *vacuum infusion* dan proses curing. Pada gambar 3-28 diatas menunjukkan gambar spesimen uji yaitu PLA+ karbon *twill* yang telah dilakukan proses *vacuum infusion*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Bending

Pengujian spesimen yang dilakukan adalah pengujian *bending*, tujuannya untuk mengetahui nilai kekakuan maksimal dari total 8 spesimen yang dibagi menjadi 2 spesimen dengan material PLA+ *skin* karbon *twill* 50mm, 2 spesimen dengan material PLA+ *skin* karbon *twill* 30mm, 2 spesimen dengan material ABS *skin* karbon *prepreg* 50mm dan 2 spesimen dengan material ABS *skin* karbon *prepreg* 30mm. Pengujian *bending* ini mengacu pada standar ASTM C-393 dengan menggunakan *threepoint bending* pengujian dilakukan di Lab Bahan Teknik UGM menggunakan mesin *Universal testing machine* yang dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4. 1 Universal Testing Machine

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk proses pengujian *bending* yaitu:

1. Mempersiapkan spesimen yang akan diuji dengan standar ASTM C-393 yang sudah di rapihkan seseuasi variasi nya masing-masing.
2. Meletakkan spesimen uji pada tumpuan tepat pada titik tengah spesimen berada pada titik pembebanan dan dengan jarak antar titik tumpuan 150mm dengan panjang 200mm.

3. Memulai pengujian dengan mesin uji *bending* akan memberikan beban maksimal secara perlahan hingga spesimen mengalami kegagalan.
4. Hasil pengujian akan otomatis tercatat pada kertas yang sudah disediakan oleh penguji di panel mesin uji.
5. Ulangi langkah 1 sampai 4 untuk setiap spesimen lainnya.

4.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian pada spesimen menghasilkan kegagalan pada spesimen seperti gambar 4-2 dan gambar 4-3. Serta data hasil berupa beban maksimal, defleksi, dan tegangan bending yang dapat dilihat pada tabel 4-1 serta menghasilkan grafik beban berbanding defleksi dari setiap spesimen.



Gambar 4. 2 Hasil Pengujian PLA+ Karbon Twill



Gambar 4. 3 Hasil Pengujian ABS Karbon Prepreg

Pada gambar 4-2 dan gambar 4-3 menunjukkan hasil spesimen setelah dilakukannya proses pengujian *three point bending*. Dapat dilihat dari masing masing spesimen mengalami modus kegagalan yang sama.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Bending

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Teg. Bending (MPa)
1	ABS Prepreg_50mm	50	40	3,67	20,94	4,01
2	ABS Prepreg_50mm	50	40	4,29	20,54	4,68
3	ABS Prepreg_30mm	30	30	1,44	6,48	1,84
4	ABS Prepreg_30mm	30	30	1,73	9,96	2,21
5	PLA+ Carbon_50mm	50	40	4,76	13,9	5,2
6	PLA+ Carbon_50mm	50	40	5,07	14,08	5,54
7	PLA+ Carbon_30mm	30	30	2,43	8,85	3,11
8	PLA+ Carbon_30mm	30	30	2,48	9,06	3,17

Berdasarkan data pada tabel 4.1 didapatkan setelah melalui proses uji *bending*. Spesimen dengan nilai beban maksimal tertinggi yaitu PLA+ Carbon_2 dengan nilai 5,07 KN, untuk defleksi dengan nilai tertinggi didapatkan pada spesimen ABS Prepreg_1 dengan nilai 20,94 mm, dan untuk tegangan *bending* dengan nilai tertinggi yaitu PLA+ Carbon_2 dengan nilai sebesar 5,54 Mpa.

Tabel 4. 2 Perbandingan Spesimen Setelah Proses Vacuum Infusion

No.	Variasi Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)
1	ABS Prepreg_50mm	109	118,9
2	ABS Prepreg_50mm	109	119,7
3	ABS Prepreg_30mm	51	60,5
4	ABS Prepreg_30mm	51	60,5
5	PLA+ Carbon_50mm	135	147,9
6	PLA+ Carbon_50mm	135	149,6
7	PLA+ Carbon_30mm	65	76,6
8	PLA+ Carbon_30mm	65	76,1

Berdasarkan tabel 4.2 diatas menunjukkan perubahan berat spesimen sebelum dan sesudah dilapisi komposit *sandwich* dengan menggunakan metode *vacuum infusion*.

4.3 Analisis dan Perhitungan

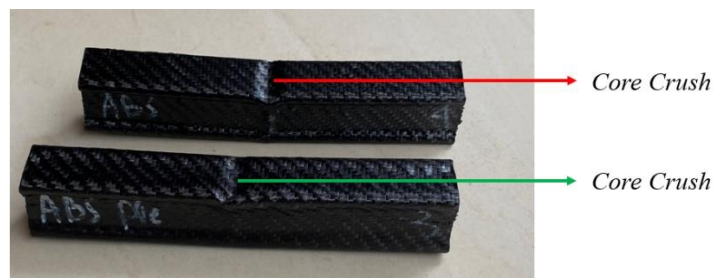
Pengujian *3point bending* yang sudah dilakukan mengalami kegagalan atau kerusakan akibat pemberian beban pada spesimen yang melebihi kemampuan materialnya. Berdasarkan hasil pengamatan dari 8 spesimen yang telah dilakukan uji *bending*, pada umumnya spesimen tersebut mengalami kegagalan *ribs* atau *core crush* akibat adanya pembebanan pada bagian tengah spesimen. Kegagalan ini dapat mengakibatkan penurunan kekuatan *bending* secara drastis.

4.3.1 Analisis Modus Kegagalan Spesimen ABS Prepreg 50mm dan 30mm

Spesimen *ABS prepreg_1*, *ABS prepreg_2*, *ABS prepreg_3*, *ABS prepreg_4* mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Dapat dilihat pada gambar 4-4 dan 4-5 spesimen mengalami *core crush* yang dimana *core* sudah patah namun belum sampai terbelah.



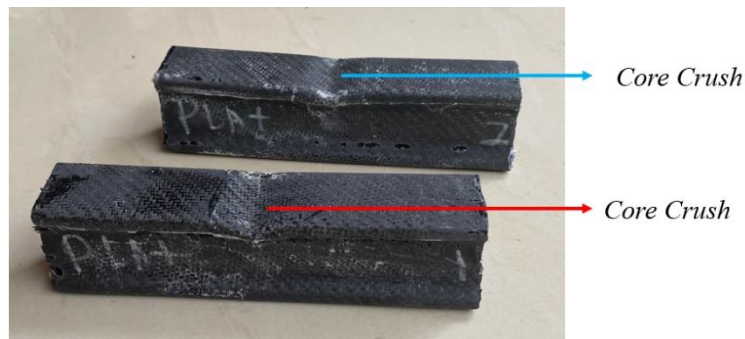
Gambar 4. 4 Spesimen Komposit Sandwich ABS Prepreg 50mm



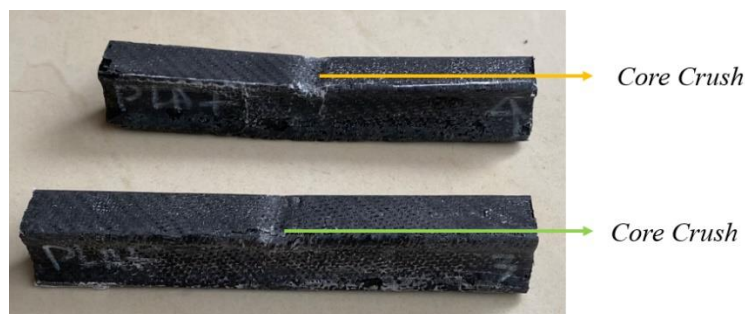
Gambar 4. 5 Spesimen Komposit Sandwich ABS Prepreg 30mm

4.3.2 Analisis Modus Kegagalan Spesimen PLA+ Karbon 50mm dan 30mm

Spesimen PLA+ karbon_1, PLA+ karbon_2, PLA+ karbon_3, PLA+ karbon_4 mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Dapat dilihat pada gambar 4-6 dan 4-7 spesimen mengalami *core crush* yang dimana *core* sudah patah namun belum sampai terbelah.



Gambar 4. 6 Spesimen Komposit Sandwich PLA+ Karbon 50mm



Gambar 4. 7 Spesimen Komposit Sandwich PLA+ Karbon 30mm

4.4 Perhitungan

Berdasarkan data yang telah didapatkan melalui pengujian *bending*, langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai rata-rata kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik dengan menggunakan rumus yang ada di bab 2 dan menggunakan persamaan 2.1, 2.2, dan 2,3

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Bending spesimen

No	Kode	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending Max	Kekakuan bending	Kekakuan Bending Spesifik
		W	P yield	δ	σ	D	D/W
		g	N	(mm)	Mpa	N.mm ²	N.mm ² /g
1	ABS Prepreg_50mm	118,9	3,28	20,94	4,01	12.323.155	103.643
2	ABS Prepreg_50mm	119,7	3,31	20,54	4,68	14.685.522	122.686
3	ABS Prepreg_30mm	60,5	1,16	6,48	1,84	15.625.000	258.264
4	ABS Prepreg_30mm	60,5	1,44	9,96	2,21	12.212.914	201.866
5	PLA+ Carbon_50mm	147,9	3,77	13,9	5,20	24.078.237	162.801
6	PLA+ Carbon_50mm	149,6	4,59	14,08	5,54	25.318.493	169.241
7	PLA+ Carbon_30mm	76,6	1,96	8,85	3,11	19.306.144	252.038
8	PLA+ Carbon_30mm	76,1	2,02	9,06	3,17	19.246.689	252.913

Berdasarkan dari tabel 4.3 diatas menunjukkan hasil perhitungan kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik dari spesimen yang sudah dilakukan pengujian *three point bending* menggunakan mesin *universal testing machine*. Dapat dilihat dari spesimen berbahan material ABS ukuran 50mm dengan kode ABS Prepreg_ 1 memiliki nilai kekakuan *bending* sebesar 12.323.155 Nmm² dan kekakuan *bending* spesifiknya memiliki nilai sebesar 103.643 Nmm²/g , sedangkan untuk spesimen komposit dengan nilai tertinggi yaitu berbahan material PLA+ ukuran 50mm dengan kode PLA+ Carbon_2 sebesar 25.318.493 Nmm² . Nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi dengan kode PLA+ Carbon_2 memiliki nilai sebesar 169.241 Nmm²/g.

4.5 Pembahasan

Berdasarkan dari data yang telah didapatkan pada pengujian bending yang sudah di lakukan kemudian diolah untuk mendapatkan nilai kekakuan *bending* dan nilai kekakuan *bending* spesifik. Dari hasil data tersebut dibandingkan antara

spesimen PLA+ *Carbon* dan ABS *Prepreg* serta ukuran spesimennya. Lalu dari data yang di dapatkan juga di bandingkan dengan penelitian sebelumnya tanpa perlakuan curing (Aldo,2024).

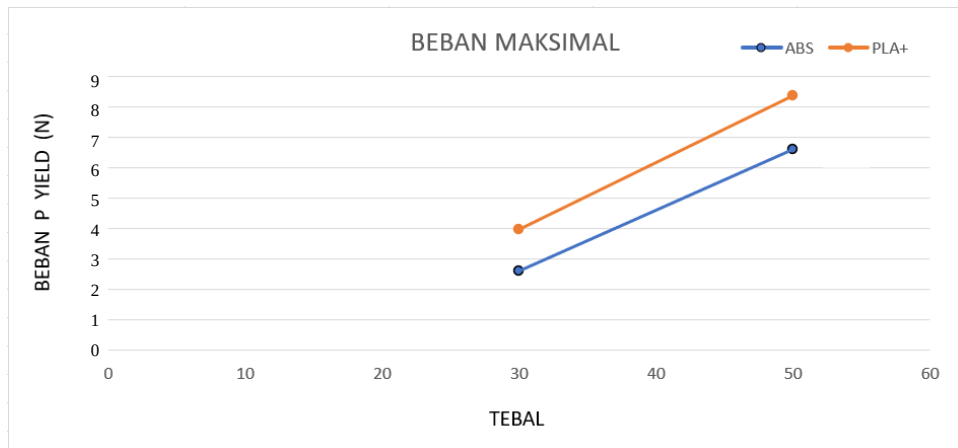
Pada penelitian sebelumnya, penulis menggunakan material spesimen dengan ukuran yang sama dan menggunakan lapisan karbon hanya 1 lapis. Kemudian yang membedakan dari penelitian ini yaitu penelitian sebelumnya dengan infill 100% tanpa perlakuan curing lalu materialnya menggunakan PLA dengan karbon twill, pada penelitian ini spesimen dengan infill 20% mendapatkan perlakuan curing lalu materialnya menggunakan ABS dan PLA+ serta menggunakan karbon *prepreg*.

Tabel 4. 4 Data Spesimen Penelitian Sebelumnya

No	Kode	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending Max	Kekakuan bending	Kekakuan Bending Spesifik
		W	P yield	δ	σ	D	D/W
		g	KN	(mm)	Mpa	N.mm ²	N.mm ² /g
1	Biasa 1	242,13	13,71	3,31	77,42	379.602.530	1.567.763
2	Biasa 2	242,13	13,97	4,03	83,35	335.685.484	1.386.385
3	Biasa 3	242,13	12,89	3,65	80,06	335.993.151	1.470.256
4	Carbon 1	295,2	21,59	5,85	122,52	339.903.846	1.151.436
5	Carbon 2	295,2	13,21	4,77	89,94	306.014.151	1.036.633
6	Carbon 3	295,2	14,85	5,46	106,75	317.307.692	1.074.891

Pada tabel 4.4 diatas menunjukkan data dari penelitian sebelumnya tanpa perlakuan *curing*. Spesimen dengan kode biasa merupakan spesimen tanpa skin karbon dan spesimen dengan kode *carbon* merupakan spesimen dengan 1 lapis karbon. Perbandingan dengan penelitian sebelumnya yaitu dari bahan material yang digunakan dan berat spesimen, tebal spesimen.

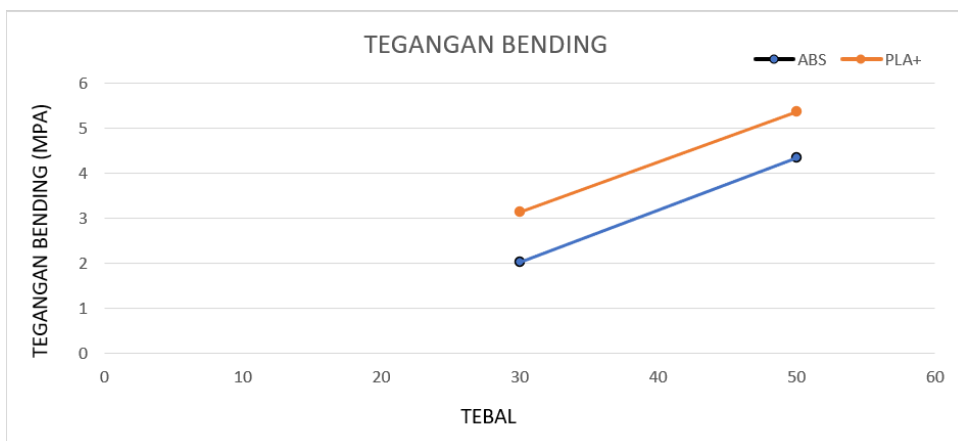
4.5.1 Beban Maksimal (P Max)



Gambar 4. 8 Grafik Beban Maksimal

Berdasarkan gambar 4.8 diatas. Dimana grafik garis berwarna orange menunjukkan spesimen pla+, sedangkan garis berwarna biru menunjukkan spesimen abs. *P max* yang terjadi pada spesimen ABS maupun PLA+ untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh core dan skin yang berbeda terhadap beban bending maksimal yang terjadi. Berdasarkan data hasil perhitungan dan nilai yang ditunjukkan pada gambar 4-8 terdapat perbedaan nilai beban bending maksimal dari tiap spesimen tersebut. Dimana nilai tertinggi di dapatkan pada spesimen PLA+ *Carbon_2* 50mm dengan nilai *P max* nya sebesar 4,59 N.

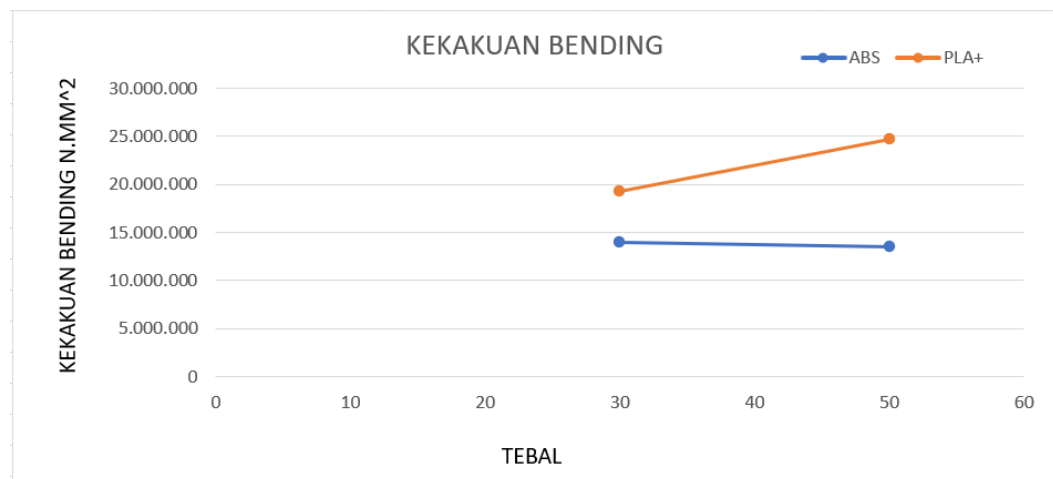
4.5.2 Tegangan Bending



Gambar 4. 9 Grafik Tegangan Bending

Pada gambar 4.9 dimana grafik garis berwarna orange menunjukkan spesimen pla+, sedangkan garis berwarna biru menunjukkan spesimen abs. Dari grafik dapat dibaca tegangan *bending* yang paling tinggi di dapatkan pada spesimen PLA+ Carbon_2 50mm dengan nilai tegangan *bending* sebesar 5,54 Mpa dan tegangan bending yang paling rendah didapatkan pada spesimen ABS Prepreg_3 30mm dengan nilai tegangan bending sebesar 1,84 Mpa.

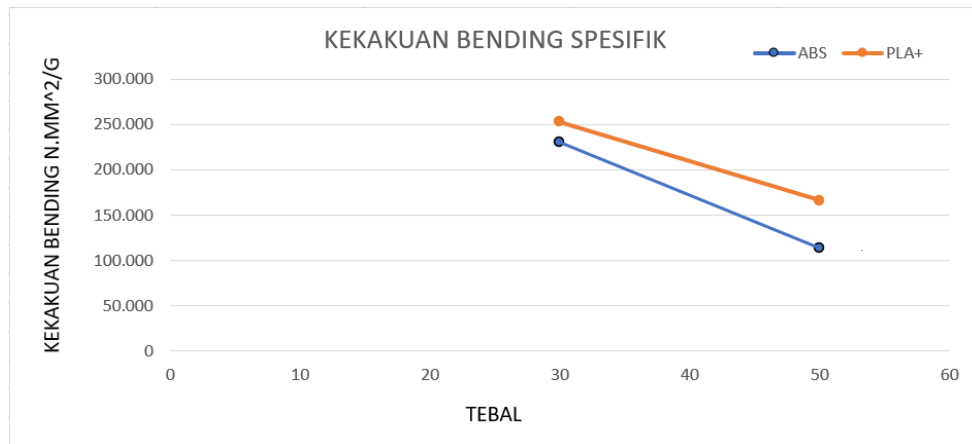
4.5.3 Kekakuan Bending



Gambar 4. 10 Grafik Kekakuan Bending

Gambar 4.10 dimana grafik garis berwarna orange menunjukkan spesimen pla+, sedangkan garis berwarna biru menunjukkan spesimen abs. Dari grafik dapat dibaca kekakuan *bending* yang paling tinggi di dapatkan pada spesimen PLA+ Carbon_2 50mm dengan nilai kekakuan *bending* sebesar 25.318.493 Nmm² dan kekakuan *bending* yang paling rendah didapatkan pada spesimen ABS Prepreg_4 30mm dengan nilai kekakuan *bending* sebesar 12.212.914 Nmm².

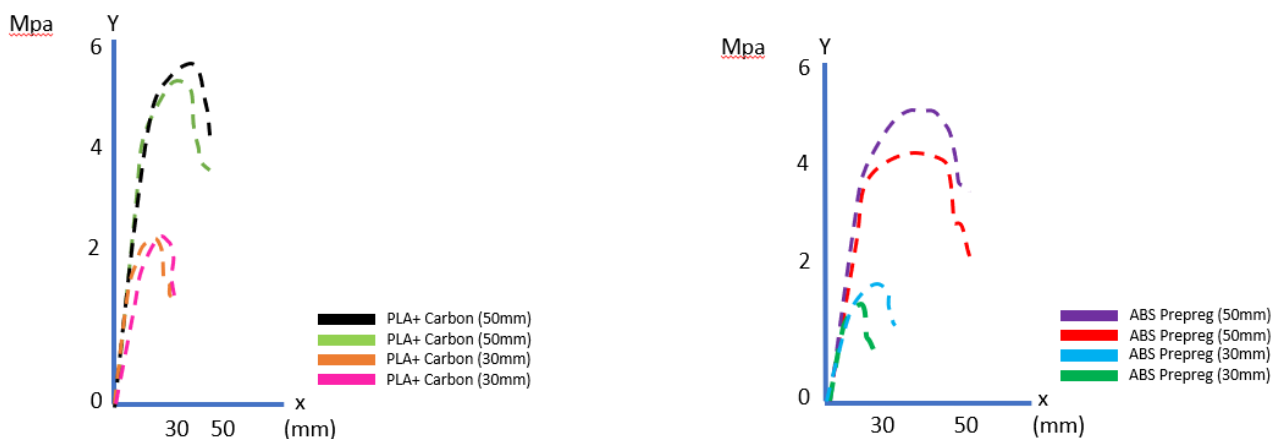
4.5.4 Kekakuan *Bending* Spesifik



Gambar 4. 11 Grafik Kekakuan Bending Spesifik

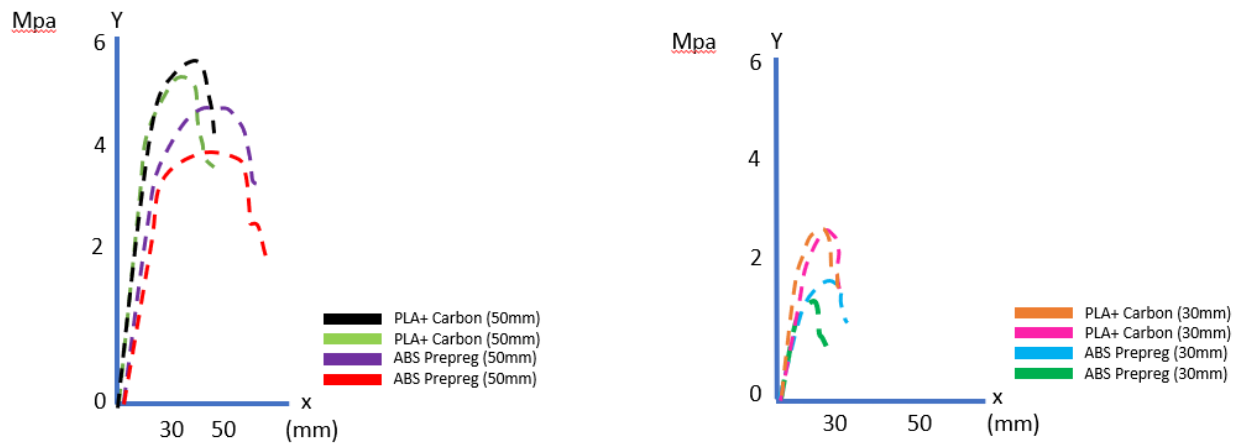
Pada gambar 4.11 dimana grafik garis berwarna orange menunjukkan spesimen pla+, sedangkan garis berwarna biru menunjukkan spesimen abs. Dari grafik dapat dibaca kekakuan *bending* spesifik yang paling tinggi di dapatkan pada spesimen ABS *prepreg*_3 50mm dengan nilai kekakuan *bending* spesifik sebesar 258.264 Nmm²/g dan kekakuan bending spesifik yang paling rendah didapatkan pada spesimen ABS *Prepreg*_1 30mm dengan nilai kekakuan bending spesifik sebesar 103.643 Nmm²/g. Sedangkan untuk nilai tertinggi core PLA+ *Carbon*_4 didapatkan nilai tertinggi dengan nilai kekakuan bending spesifik 252.913 Nmm²/g.

4.5.5 Tegangan dan Defleksi



Gambar 4. 12 Grafik Tegangan dan Defleksi

Gambar 4.12 menunjukkan grafik tegangan dan defleksi, yang dimana grafik garis berwarna merah menunjukkan spesimen *ABS Prepreg* (50mm). Sedangkan garis berwarna ungu menunjukkan spesimen *ABS Prepreg* (50mm). Garis berwarna hijau menunjukkan spesimen *ABS Prepreg* (30mm), lalu untuk garis berwarna biru muda menunjukkan spesimen *ABS Prepreg* (30mm) dan untuk semua material *ABS Prepreg* melalui proses *curing* selama 4 jam. Sedangkan untuk garis grafik berwarna hijau muda menunjukkan spesimen *PLA+ Carbon* (50mm), sedangkan garis berwarna hitam menunjukkan spesimen *PLA+ Carbon* (50mm), lalu garis berwarna orange menunjukkan spesimen *PLA+ Carbon* (30mm), untuk grafik garis berwarna merah muda menunjukkan spesimen *PLA+ Carbon* (30mm).



Gambar 4. 13 Grafik Tegangan PLA+ dan ABS

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang sudah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

Analisis kegagalan *core* yang terjadi pada spesimen memiliki kesamaan dimana semua spesimen mengalami *core crush*. Dari hasil yang telah didapatkan, belum bisa membandingkan antara *skin carbon* dan *prepreg* dikarenakan kegagalan *core crush infill* inti pada *core*nya terlalu rendah.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Dari penelitian ini masih terdapat kekurangan agar kedepannya dapat dilakukan penyempurnaan pada penelitian selanjutnya.
2. Untuk mengetahui dari skin serat karbon sebaiknya infill 100% sehingga fenomena *core crush* tidak terjadi.
3. Pada proses penempelan spesimen dengan serat karbon, sebaiknya spesimen dibersihkan terlebih dahulu dan di lem menggunakan spray adhesive agar serat karbon dapat menempel dengan sempurna.
4. Menjauhkan *vacuum bag* dari benda – benda yang tajam agar tidak terjadi kebocoran pada saat dilakukan proses *vacuum infusion*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M., & Syahrul, M. (2022). “Analisis Kekuatan Balok H-beam Menggunakan Metode Elemen Hingga.” *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 19(2), 121-130.
- Alfendho P. (2024) “Pengaruh Serat Karbon Pada Komposit Sandwich Batang Profil H Menggunakan Material Inti Polylactic Acid (PLA) Terhadap Sifat Sifat Rigiditas Bending”
- Aprillio, Y. (2022). Pengaruh Diameter *Honeycomb Ribs* Pada Produk *Acrylonitrile Butadiene Styrene (Abs) 3d Printing Fused Filament Fabrication (Fff)* Yang Diperkuat Komposit *Carbon Fiber*.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/41697>
- ASTM C393-00, *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions*. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United State.
- Chan, C. (2019). *Compaction Simulation for Prepreg-Autoclave-Manufacturing* [KTH Royal Institute of Technology].
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1360645/FULLTEXT01.pdf>
- Chen, W. F., & Han, D. J. (2021). *Structural Steel Design*. 2nd ed. CRC Press.
- Dantes, K.R. (2021). *Composites Manufacturing and Testing*. Depok: Raja Grafindo Perkasa.
- Dinur, R. (2019). *Proses Pembuatan Produk Komposit Sandwich Vacuum Infusion*. 1– 37.
- Errikson, M. (2018). *Consolidation and Forming of Aerospace Graded Composite Materials: An experimental study of prepreg characteristics* [KTH Royal Institute of Technology].
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1357370/FULLTEXT01.pdf>
- G. P. Thomas. (2013). *Composite Prepregs – Manufacturing, Benefits and Applications*. AZoMaterials.
- Hartono, Rifai, M., & Subawi, H. (2016). *Pengenalan Teknik Komposit* (1st ed.). Deepublish.
- 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.
- Hidayat, S. (2020). Aplikasi Perangkat *Vacuum Infusion* Untuk Pembuatan Komponen Berbahan Komposit.
- Iskandar, J., & Aji, S. (2022). “Studi Perbandingan Kekuatan Balok H-Beam dengan Berbagai Jenis Material Baja.” *Jurnal Teknik Struktur dan Material*, 25(2), 67-80.
- Kumar, S., & Kumar, M. (2023). “Experimental and Numerical Study of H-beam Performance Under Seismic Loads.” *Journal of Structural Engineering*, 149(7), 04023058.
- Lee, J. M., Kim, B. M., & Ko, D. C. (2019). Development of vacuum-assisted prepreg *compression molding* for production of automotive roof panels. *Composite Structures*, 213(April 2018), 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.01.092>
- Liu, Z., & Wang, T. (2021). “Behavior and Design of H-Beams with Web Openings.” *Steel and Composite Structures*, 38(1), 101-115.
- Mazumdar, S. K. (2001). *Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering* (1st ed.). CRC Press.
- Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. Seminar Nasional Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi, 917–922.
- Prastyadi, C. (2017). Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur, Waktu *Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik Tekan Komposit *Polyester* - Partikel *Hollow Glass Micropheres (HGM) IM30K* [Undergraduate, Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. <https://repository.its.ac.id/3156/>
- Pratama, A. H. (2022). Pengaruh Ketebalan Dan Jenis 3d Printed Core Terhadap Kekakuan Bending Komposit Sandwich Skin Serat Karbon. <https://dspace.uin.ac.id/handle/123456789/41206>
- Pramono, C., Hastuti, S., Ivandiyanto, D. I., & Trihardanto, A. A. (2019). Analisis Sifat Bending dan Impak Komposit Berpenguat Serat Pohon

- Pisang. Prosiding Seminar Sains Nasional dan Teknologi, 1(1), Article 1.
<https://doi.org/10.36499/psnst.v1i1.2813>
- Rahmani, J. P. (2022). Studi Pengaruh Jenis Perekat Dan Variasi Suhu *Curing* Terhadap Kekuatan Bending Komposit *Sandwich* Menggunakan *Core 3d Printing*. <https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/41698>
- Utomo, W. B., & Drastiawati, N. S. (2021). Pengaruh Variasi Jenis *Core*, *Temperatur Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik *Bending* Komposit *Sandwich* Serat *Carbon* Dengan Metode *Vacuum Infusion*. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(02), 45-54.
- Wijayanto, S.E.Y., Handoko, R., Noel, J.C., Anggariawan, T.W., & Suteja, J. (2022). Identifikasi Jenis Infill Pattern Pada Proses 3D Printing Yang Menghasilkan Hasil Cetak Dengan Kekuatan Tekan Dan Panjang Filamen Yang Optimal. *Rekayasa Mesin*, 13 (2). pp. 531-539. ISSN 2338-1663; E-ISSN 2477-6041.<http://repository.ubaya.ac.id/id/eprint/42432>.
- Yudha Izma Adriansyah, (2021). Analisis Uji Bending Komposit Sandwich Yang Digabungkan 3D Printing. Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. <https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/30579>

LAMPIRAN 1



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Variasi Spesimen	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	ABS Prepreg_1	3.67	20.94	4.01
2	ABS Prepreg_2	4.29	20.54	4.68
3	ABS Prepreg_3	1.44	6.48	1.84
4	ABS Prepreg_4	1.73	9.96	2.21
5	PLA+Carbon Biasa_1	4.76	13.90	5.20
6	PLA+Carbon Biasa_2	5.07	14.08	5.54
7	PLA+Carbon Biasa_3	2.43	8.85	3.11
8	PLA+Carbon Biasa_4	2.48	9.06	3.17

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 18 Juli 2024
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine

Yogyakarta, 18 Juli 2024
Staf Laboratorium Bahan Teknik


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

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

Lembar asli, tidak untuk digandakan

