

**Perancangan Sambungan Batang Profil H Modifikasi Terbuat Dari Material  
Komposit *Sandwich* dengan  
Inti *Polylactic Acid* (PLA) Produk *3D Printing* dan Lapisan Serat Karbon**

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh :**

**Nama : M Naufal Anugrah P**  
**No. Mahasiswa : 18525090**  
**NIRM : 1807190153**

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

**2024**

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**Perancangan Sambungan Batang Profil H Modifikasi Terbuat Dari Material  
Komposit *Sandwich* dengan  
Inti *Polylactic Acid* (PLA) Produk *3D Printing* dan Lapisan Serat Karbon**

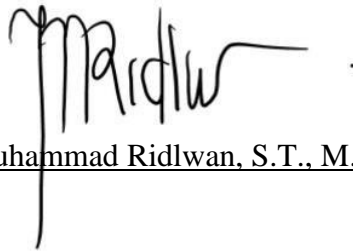
### TUGAS AKHIR

**Disusun Oleh :**

**Nama : M Naufal Anugrah P**  
**No. Mahasiswa : 18525090**  
**NIRM : 1807190153**

Yogyakarta, 2 Januari 2024

Pembimbing



Ir. Muhammad Ridwan, S.T., M.T.

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Perancangan Sambungan Batang Profil H Modifikasi Terbuat Dari Material  
Komposit *Sandwich* dengan  
Inti *Polylactic Acid (PLA)* Produk *3D Printing* dan Lapisan Serat Karbon

### TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : M Naufal Anugrah P  
No. Mahasiswa : 18525090  
NIRM : 1807190153

Tim Penguji

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



Tanggal: 04/10/2024

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



Tanggal: 4/10/24

Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc., IPP.  
Anggota II



Tanggal: 4/10/2024

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

## PERNYATAAAN KEASLIAN

Dengan ini saya bertanda tangan di bawah ini, Muhammad Naufal Anugrah P selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “Perancangan Sambungan Batang Profil H Modifikasi Terbuat Dari Material Komposit *Sandwich* dengan Inti *Polylactic Acid* (PLA) Produk *3D Printing* dan Lapisan Serat Karbon” menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri bukan hasil plagiarism dari karya tulis yang di buat orang lain. Semua refrensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 10 October 2024



Muhammad Anugrah P

(18525090)

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Dengan segala puji syukur kepada Allah SWT dan atas dukungan dan do'a dari orang tercinta, akhirnya Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, dengan rasa bangga an bahagia saya ucapkan rasa syukur an terimakasih kepada :

1. Allah SWT, karena hanya atas izin dan karunianya lah maka skripsi ini dapat di buat dan selsai pada waktunya.
2. Kedua Orang Tua saya yang saya cintai dan sangat saya sayangi (Bapak saya Zulfikri dan Ibu saya Dessy) dan yang saya sayangi kakak saya Defi Putri Utami dan adik saya M. Irfan Rahmatullah yang selalu mendukung, memberikan nasehat dan mendoakan saya dalam segala urusan.
3. Bapak pembimbing saya Bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. yang selalu memberikan motivasi, saran, masukan, dan memberikan ilmu yang bermanfaat bagi saya. Dan dosen-dosen Teknik Mesin UII yang selalu membimbing, mendukung, dan membantu dalam memberikan ilmunya.
4. Teman–teman penulis baik itu dari Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia maupun teman-teman lainnya yang telah senantiasa memberikan dukungan baik waktu, tempat, motivasi yang selalu ada kepada saya sehingga membuat saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

## **HALAMAN MOTTO**

“Konsisten adalah kunci kesuksesan”

“Sukses berjalan dari satu kegagalan ke kegagalan yang lain, tanpa kita kehilangan semangat”  
**(Abraham Lincoln)**

## **KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH**

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur bagi Allah Rabb semesta alam Yang maha pengasih lagi Maha Penyayang, karena telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Perancangan Sambungan Batang Profil H Modifikasi Terbuat Dari Material Komposit Sandwich dengan Inti Polylactic Acid (PLA) Produk 3D Printing dan Lapisan Serat Karbon”. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah hingga zaman yang penuh dengan ilmu seperti sekarang ini. Penyusunan Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi prasyarat akademik guna untuk memperoleh gelar sarjana (S1) pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak dorongan dan juga masukan dari berbagai banyak pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ungkapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT semesta alam, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Keluarga tercinta, Ayah Zulfikri, Ibu Ruli Dessy, kakak Defi Putri Utami, adik M Irfan Rahmatullah.
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 senantiasa memberikan bimbingan, arahan serta masukan agar penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan baik.
5. Bapak Ir. Donny Suryawan, S.T., M.Eng., IPP. Selaku Wali Dosen.
6. Seluruh staf pengajar, staf administratif, dan karyawan di Program Studi Teknik Mesin UII.
7. Rekan-rekan Teknik Mesin UII 2018 yang selalu menemani kegiatan perkuliahan di kampus maupun kegiatan diluar kampus.
8. Kepada sahabat Sarah Putri Alfatiha yang sudah menemani saya dan memberikan dukungan sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

9. Semua pihak yang sudah membantu dan juga mendukung serta mendoakan penulis yang tidak bisa ditulis semua dalam kata pengantar atau ucapan terima kasih ini.

Yogyakarta, 2 Januari 2024

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Muhammad Naufal Anugrah Pramudya  
(18525090)

## ABSTRAK

Komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik antara material yang berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran. Pada prinsipnya komposit sandwich merupakan struktur yang tersusun dari 2 bagian yaitu bagian atas serta bawah sebagai *skin* dan bagian tengah sebagai *core*. Pada penelitian ini menggunakan *carbonfiber (skin)*, dengan core PLA direkatkan menggunakan resin *epoxy* dengan metode *skinning*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan dari masing-masing batang H *Beam* Modifikasi terhadap beban *bending*. Sambungan batang H beam modifikasi sendiri bertujuan agar batang H beam Modifikasi dapat di sambung menjadi satu kesatuan agar nantinya dapat menjadi suatu rangkaian konstruksi suatu bangunan, rangka bangunan dll. *Core* dibuat menggunakan mesin 3D *Print* dicetak secara *vertical* dengan bahan PLA dengan kepadatan solid 100%. Penelitian ini menggunakan pengujian *bending* untuk mengetahui kekuatan sambungan dari masing-masing batang H *Beam* Modifikasi. Pengujian *bending* kekuatan sambungan masing-masing batang H *Beam* Modifikasi dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.

## DAFTAR ISI

COVER.....	.....
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
HALAMAN MOTTO .....	v
KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB 1.....	14
PENDAHULUAN .....	14
1.1 Latar Belakang.....	14
1.2 Rumusan Masalah .....	16
1.3 Batasan Masalah .....	16
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan.....	16
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan.....	17
1.6 Sistematika Penulisan .....	17
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	18
2.1 Kajian Pustaka .....	18
2.2 Dasar Teori .....	19
2.2.1 Komposit .....	19
2.2.2 Komposit Sandwich.....	20
2.2.2.1 Skin .....	21
2.2.2.2 Core .....	22
2.2.2.3 Matriks .....	22
2.2.2.4 3D Print.....	22
2.2.2.5 Vacuum Infusion .....	23
2.2.2.6 Pengujian Bending .....	24
2.2.2.7 Modus Kegagalan Pengujian Bending Komposit Sandwich .....	25
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Alur Penelitian .....	28

3.2 Peralatan dan Bahan .....	29
3.3 Dimensi Spesimen Bending .....	34
3.4 Proses Pengerjaan .....	39
3.4.1 Pembuatan Core Dengan Mesin 3D Print.....	39
3.4.2 Susunan Lapisan Vacuum Infusion .....	39
3.4.3 Proses Vacuum Infusion .....	40
3.4.4 Hasil Proses Pengerjaan .....	43
BAB 4.....	45
4.1 Pengujian Bending.....	45
4.2 Hasil Pengujian.....	46
4.3 Analisis dan Perhitungan.....	47
4.3.1 Analisis Modus Kegagalan batang H beam modifikasi Dengan <i>Skin</i> .....	47
4.4 Perhitungan.....	48
4.5 Pembahasan .....	49
4.5.1 Kekauan Bending.....	49
4.5.2 Kekauan Bending Spesifik.....	50
4.5.3 Kekauan Tegangan <i>Bending</i> .....	50
BAB 5 PENUTUP .....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya .....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN.....	54

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Komposit Sandwich .....	21
Gambar 2. 2 Serat Karbon.....	21
Gambar 2. 3 Struktur Infill 3D Print .....	22
Gambar 2. 4 Mesin 3D Print .....	23
Gambar 2. 5 Metode Vacuum Infusion .....	24
Gambar 2. 6 Pengujian Bending .....	24
Gambar 2. 7 Jenis Kegagalan Bending .....	26
Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	28
Gambar 3. 2 3D printing .....	29
Gambar 3. 3 Filamen PLA .....	29
Gambar 3. 4 Pompa Vacuum .....	30
Gambar 3. 5 Timbangan.....	30
Gambar 3. 6 Vacuum bag.....	30
Gambar 3. 7 Peel Ply.....	31
Gambar 3. 8 Serat Karbon.....	31
Gambar 3. 9 Lem 3M Super 77 Spray Adhesive .....	31
Gambar 3. 10 Resin Epoxy .....	32
Gambar 3. 11 Hardener .....	32
Gambar 3. 12 Gunting.....	33
Gambar 3. 13 Cutter .....	33
Gambar 3. 14 Selotip Kertas .....	33
Gambar 3. 15 Gelas Plastik.....	34
Gambar 3. 16 Dimensi spesimen uji bending core 50 mm dan Panjang 200 mm .....	34
Gambar 3. 17 Dimensi sambungan male 1 .....	35
Gambar 3. 18 Dimensi sambungan female 1 .....	35
Gambar 3. 19 Dimensi sambungan male 2 .....	35
Gambar 3. 20 Dimensi sambungan female 2 .....	36
Gambar 3. 21 Dimensi sambungan female 3 .....	36
Gambar 3. 22 Spesimen dengan sambungan pertama.....	36
Gambar 3. 23 Spesimen dengan sambungan kedua .....	37
Gambar 3. 24 Spesimen dengan sambungan ketiga.....	37
Gambar 3. 25 Spesimen dengan sambungan keempat .....	37
Gambar 3. 26 Pengujian Bending sambungan pertama .....	38
Gambar 3. 27 Pengujian Bending sambungan kedua.....	38
Gambar 3. 28 Pengujian Bending sambungan ketiga.....	38
Gambar 3. 29 Pengujian Bending sambungan keempat.....	38
Gambar 3. 30 Hasil penentuan waktu 3D printing fused filament fabrication (FFF) pada filament A1, A2, dan A3 .....	39
Gambar 3. 31 Susunan Lapisan Vacuum Infusion.....	39
Gambar 3. 32 penyatuan sambungan spesiment .....	40
Gambar 3. 33 Pelapisan lem 3M Super 77 Spray Adhesive .....	40
Gambar 3. 34 Pelapisan Peel Ply .....	41
Gambar 3. 35 Pencampuran epoxy resin dan hardener .....	41

Gambar 3. 36 Memasukkan semua bahan kedalam vacuum bag.....	42
Gambar 3. 37 Hasil Vacuum Infusion.....	42
Gambar 3. 38 Spesimen Tanpa Skin Carbon Fiber .....	43
Gambar 3. 39 Spesimen dengan skin Carbon Fiber .....	43
Gambar 4. 1 Speciment di alat three point bending .....	45
Gambar 4. 2 Hasil pengujian dengan skin carbon fiber .....	46
Gambar 4. 3 Hasil pengujian dengan skin carbon fiber Penguat Carbon_1 .....	47
Gambar 4. 4 Hasil pengujian dengan skin carbon fiber Penguat Carbon_2 .....	47
Gambar 4. 5 Hasil pengujian dengan skin carbon fiber Penguat Carbon_3 .....	47
Gambar 4. 6 Grafik Kekakuan Bending.....	49
Gambar 4. 7 Grafik Kekakuan Bending Spesifik.....	50
Gambar 4. 8 Grafik Tegangan Bending Maksimal .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Menunjukkan hasil pengujian bending di LAB UGM.....	46
Tabel 4. 2 Data hasil perhitungan bending spesimen.....	48

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan era ini, perkembangan teknologi telah berlangsung dengan cepat dan memberikan dampak yang signifikan terhadap industry manufaktur global. Salah satu kategori material yang populer dalam pembuatan berbagai kendaraan, seperti mobil, motor, kapal laut, dan pesawat, adalah komposit. Komposit adalah jenis material yang terdiri dari dua atau lebih komponen yang memiliki karakteristik yang berbeda dari masing-masing bahan penyusunnya (Prayoga, 2018).

Dalam ilmu material, komposit berstruktur sandwich adalah kelas khusus material komposit yang dibuat dengan menempelkan dua kulit tipis namun kaku pada inti yang ringan namun tebal. Bahan inti biasanya memiliki kekuatan yang rendah, namun ketebalannya yang lebih besar memberikan komposit sandwich dengan kekakuan lentur yang tinggi dengan kepadatan keseluruhan yang rendah.

Busa berstruktur sel terbuka dan tertutup seperti busa polietersulfon, polivinilklorida, poliuretan, polietilen atau polistiren, kayu balsa, busa sintaksis, dan sarang lebah merupakan bahan inti yang umum digunakan. Terkadang, struktur sarang lebah diisi dengan busa lain untuk menambah kekuatan. Busa logam sel terbuka dan tertutup juga dapat digunakan sebagai bahan inti.

Laminasi termoplastik yang diperkuat kaca atau serat karbon atau terutama polimer termoset (poliester tak jenuh, epoksi ...) banyak digunakan sebagai bahan kulit. Lembaran logam juga digunakan sebagai bahan kulit dalam beberapa kasus.

Pengujian *bending* tiga titik merupakan sebuah metode eksperimental yang digunakan untuk mengevaluasi resistensi material terhadap gaya lentur. Dalam metode ini, benda berada pada dua titik *support* pada ujungnya dan diberi beban di titik tengahnya. Hal ini memungkinkan kita untuk memahami respons material terhadap gaya lentur dan mengukur karakteristik penting seperti modulus elastisitas dan kekuatan lentur. Pengujian ini memiliki signifikansi yang besar dalam penelitian material karena memberikan wawasan mendalam mengenai karakteristik mekanis material tersebut. Informasi ini menjadi kunci dalam pemilihan material yang sesuai untuk aplikasi

tertentu serta dalam upaya pengembangan material baru yang memiliki kinerja yang lebih baik. Dalam konteks analisis struktural, pengujian *bending* tiga titik digunakan untuk mengukur parameter-parameter yang sangat penting seperti momen lentur dan distribusi tegangan dalam struktur. Hal ini memiliki peran yang sangat penting dalam perancangan struktur yang memiliki kekuatan dan keamanan yang memadai. Namun hasil pengujian ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk geometri dari benda yang diuji, kondisi lingkungan saat pengujian dilakukan, dan metode pengujian yang digunakan.

Distribusi tegangan mengacu pada cara tegangan didistribusikan di seluruh objek yang mengalami proses *bending*. Konsep mendasar dalam analisis tegangan 3 adalah Hukum Hooke, yang secara matematis menggambarkan hubungan linier antara tegangan dan regangan dalam material elastis tertentu. Dalam pengujian *bending*, pemahaman terhadap prinsip ini memiliki peran penting dalam interpretasi perilaku material ketika dikenai beban. Sementara itu, momen lentur (*bending moment*) dan gaya geser (*shear force*) adalah elemen-elemen krusial dalam analisis distribusi tegangan saat pengujian *bending* dilakukan. Momen lentur mengindikasikan momen yang menciptakan pembengkokan pada objek, sementara gaya geser terjadi atas pergeseran material dalam benda tersebut. Penelitian sebelumnya telah mengungkapkan bahwa distribusi tegangan maksimum pada pengujian *bending* dapat terjadi pada titik-titik berbeda di dalam objek. Oleh karena itu, mengidentifikasi lokasi dan intensitas tegangan maksimum ini menjadi fokus dalam analisis mengenai kekuatan dan keandalan suatu struktur. Beberapa faktor yang memiliki pengaruh terhadap distribusi tegangan dalam pengujian *bending* meliputi geometri objek, jenis material yang digunakan, dan kondisi batas tertentu. Memahami bagaimana interaksi antara faktor-faktor ini berlangsung akan berperan dalam perancangan struktur yang memiliki tingkat kekuatan dan efisiensi yang lebih tinggi.

*Fused Deposition Modeling* (FDM) adalah salah satu teknologi 3D *print* yang paling populer dan banyak digunakan saat ini. FDM menggunakan berbagai jenis bahan filamen, seperti *Polyethylene Terephthalate* (PET), *Polylactic Acid* (PLA), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), dan lain sebagainya. Keberagaman jenis filamen ini memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam pemilihan material ketika mencetak produk 3D. Proses 3D *print* ini memungkinkan pembuatan produk dengan cepat, bentuk yang kompleks, dan relatif terjangkau secara ekonomi. Oleh karena itu, para peneliti tertarik untuk terus meningkatkan sifat-sifat mekanik produk yang dihasilkan melalui teknologi 3D *printing* ini.

Serat karbon (*carbon fiber*) telah menjadi pilihan utama sebagai material penguat dalam komposit *sandwich* karena memiliki keunggulan luar biasa dalam rasio kekuatan terhadap beratnya, sehingga ringan namun sangat kuat. Dalam proses 3D *printing*, struktur *gyroid* dipilih sebagai *infill* karena memiliki sifat mekanik yang optimal saat menghadapi beban *bending*. Penggabungan kekuatan serat karbon pada lapisan *skin* dengan inti yang diperkuat oleh *ribs* berstruktur 4 *gyroid* bertujuan untuk menciptakan komposit *sandwich* dengan sifat mekanik yang unggul dan lebih tinggi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka masalah yang akan dirumuskan penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh sambungan batang 3D *print* H Beam modifikasi terhadap kekuatan *bending*?
2. Bagaimana analisis kegagalan yang terjadi pada spesimen setelah pengujian *bending*?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Pengujian mekanik dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine (Stiffness Bending)*.
2. Jenis material core yang diteliti adalah PLA dengan skin serat karbon menggunakan metode vacuum.
3. Pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D *print* dengan infill 100% 1 Lapisan Skin menggunakan *carbon fiber* 3K 200 GSM *Twill* 2x2
4. Resin yang digunakan *Epoxy Resin Ultra Clear* dengan perbandingan 2:1 dengan durasi kering sempurna 2x24 jam
5. Pengujian *bending* sambungan batang H Beam Modifikasi dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gajah Mada.

## 1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai kekakuan *bending* tertinggi dan terendah sambungan batang H beam Modifikasi komposit *sandwich bending* secara *vertical*.
2. Mengetahui manakah sambungan yang terkuat antara 3 jenis sambungan batang H beam

Modifikasi terhadap beban *Bending*.

3. Menganalisis kegagalan pada setiap spesimen uji.

## **1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan**

1. Meningkatkan sifat mekanik komposit *sandwich*
2. Mengetahui bagaimana proses pembuatan komposit *sandwich* dengan menggunakan metode *vacuum*.
3. mengetahui kekuatan sambungan H beam modifikasi terhadap kekuatan *bending*.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB I Pendahuluan**

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

### **BAB II Tinjauan Pustaka**

Pada bab ini berisikan kajian 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.

### **BAB V Penutup**

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

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Sebagai materi yang telah dijadikan acuan oleh penulis, pengetahuan tentang penelitian yang telah dilakukan terkait dengan topik yang sedang diselidiki memiliki signifikansi yang besar. Tujuan dilakukan ini adalah agar mencegah plagiarisme dan memastikan bahwa penelitian yang sedang dilakukan memiliki nilai penting karena sangat memberikan kontribusi terhadap perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan. Selain itu jugadengan memahami hubungan antara penelitian sebelumnya dengan situasi saat ini, akan terlihat bagaimana penelitian bertentangan.

Kajian pustaka pertama yang digunakan sebagai dasar penelitian membahas wet *hand lay up* dengan komposit hasil VARI (*vacum assisted resin infusion*) dilakukan oleh (Priambodo & Chriswadyanto, 2019). Pengaruh metode manufaktur komposit untuk meningkatkan sifat mekanik komposit berpenguat serat telah dikaji. Secara umum dari data pengujian mekanik dan pengujian fisik komposit diketahui bahwa komposit *glass/poliester* dengan manufaktur VARI memiliki keunggulan kekuatan tarik dan kekuatan *bending* daripada komposit yang sama dengan manufaktur *hand lay up*. Adapun komposit berpenguat serat *aramid* meskipun dimanufaktur menggunakan metode VARI, terbukti memiliki kekuatan tarik sedikit lebih tinggi namun kekuatan *bending* yang jauh lebih rendah daripada komposit *glasspoliester* dengan manufaktur *hand lay up*. Dengan demikian manufaktur komposit *glass poliester* dapat dijadikan alternatif sebagai penyusun komponen *propeller dome* pesawat C130H.

Kajian Pusataka kedua yang mendasari penelitian ini membahas pengaruh variasi ketebalan dan jenis 3D *printed core* terhadap kekakuan *bending*. Pada penelitian tersebut menggunakan 2 jenis perbandingan material yaitu material ABS dan Nylon untuk mengetahui pengaruh kekakuan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ketebalan mempengaruhi kekakuan *bending*. Nilai tertinggi kekakuan *bending* ABS komposit sebesar 8.441.850 Nmm<sup>2</sup> pada ketebalan *core* 10 mm dan nilai tertinggi kekakuan beban *bending* Nylon komposit sebesar 10.069.021 Nmm<sup>2</sup> pada ketebalan *core* 10 mm (Pratama, 2022).

Kajian Pustaka ketiga yang mendasari penelitian ini membahas tentang studi pengaruh jenis perekat dan variasi suhu *curing* terhadap kekakuan *bending* komposit *sandwich* menggunakan *core 3d printing*. Dalam hal analisa teknik, tujuannya untuk mengetahui pengaruh perekat dan pengaruh *curing* terhadap kekuatan *bending*. Penelitian tersebut menggunakan material ABS dengan 3 perbandingan perekat yaitu spray 3M, aibon, epoxy. Kemudian spesimen diberikan perlakuan *post curing* dengan 3 perbandingan suhu yaitu 27°C, 40°C, dan 60°C selama 60 menit. Pengujian tersebut menggunakan standar ASTM C393 dengan metode *three point bending*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan perekat dapat mempengaruhi tegangan *bending*, kekakuan *bending*, kekakuan *bending* spesifik. Nilai Tertinggi tegangan *bending* setelah dilakukan *post curing* komposit sebesar 11,38 dengan suhu 40°C (Rahmani, 2022).

Kajian Pustaka keempat yang mendasari penelitian ini membahas tentang pengaruh orientasi 3D *print* dan jenis material *core* komposit *sandwich* terhadap kekakuan *bending*. Dalam hal analisa teknik, tujuannya untuk mengetahui pengaruh perlakuan proses *printing* terhadap kekakuan *bending* antara *core (gyroid)* dengan (*carbonfiber*) dengan variasi derajat *printing* 30°, 45°, dan 60°. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai kekakuan spesifik pada spesimen nonskin sebesar 91.116,29 Nmm<sup>2</sup>/g pada orientasi 30°, 101.082,60 Nmm<sup>2</sup>/g pada orientasi 45°, 111.015,56 Nmm<sup>2</sup>/g pada orientasi 60°, dimana nilai kekakuan spesifiknya tidak berbeda jauh antara jenis spesimennya. Namun untuk spesimen yang dilapisi dengan skin, nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi terdapat pada spesimen orientasi 45° sebesar 398.237,94 Nmm<sup>2</sup>/g, sedangkan pada orientasi 30° memiliki nilai sebesar 212.881,62 Nmm<sup>2</sup>/g dan pada orientasi 60° sebesar 238.009,45 Nmm<sup>2</sup>/g. Pada Penelitian tersebut menggunakan metode *vacuum infusion* (Naufal, 2023).

Kajian Pustaka kelima yang mendasari penelitian ini membahas pengujian *bending* pada komposit *sandwich* dengan metode *hand layup* menggunakan 2 perbandingan *infill* yaitu *infill core* 10% dan *infill* 20%. Hasil dari penelitian ini didapatlan bahwa komposit *sandwich* dengan *infill* 20% lebih baik dibanding dengan *infill* 10% (Adriansyah, 2020)

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Komposit**

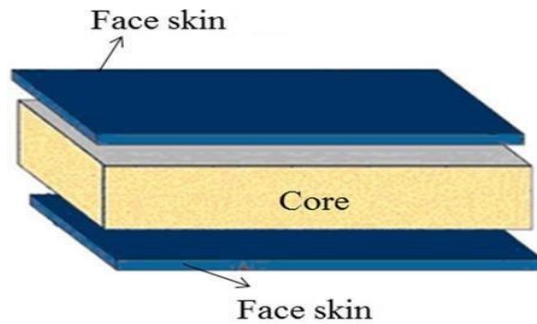
Komposit adalah material gabungan dari dua atau lebih material yang terikat secara makroskopis. Komposit memiliki dua bagian terpenting sebagai penyusunnya. Yang pertama yaitu

matrik sebagai pengikat contohnya yaitu resin *epoxy*, yang kedua yaitu *filler* berfungsi sebagai penguat berupa serat maupun partikel, contohnya *carbon fiber* dan *fiberglass*. Karakteristik dari komposit sendiri dipengaruhi oleh jenis *filler* yang digunakan contohnya yaitu serat karbon sebagai penguat yang dapat meningkatkan keuletan, kekuatan, kekakuan, dan kelenturan maupun sifat mekanik lainnya (Pramono et al., 2019)

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

### **2.2.2 Komposit Sandwich**

Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu bagian struktur lapisan dan bagian struktur *sandwich*. Pada prinsipnya komposit *sandwich* tersusun dari 2 bagian yaitu bagian pelapis sebagai *skin* dan bagian tengah sebagai *core*. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang lebih ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang tinggi (A. Hidayat et al., 2016).



Gambar 2. 1 Struktur Komposit Sandwich

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

Struktur *sandwich* yang merupakan *skin* berfungsi sebagai pelapis *core* pada saat melakukan komposit *sandwich*. Untuk melakukan metode ini *skin* harus direkatkan dengan rapat ke *core* dengan menggunakan resin *epoxy* dan hardener untuk perekatnya.

### 2.2.2.1 *Skin*

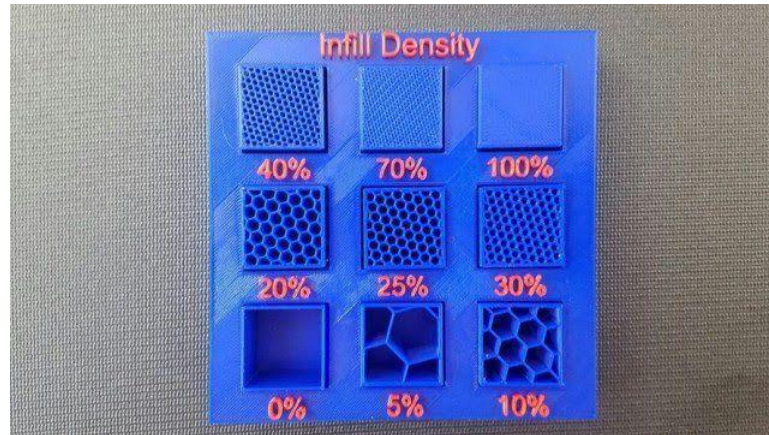
*Skin* merupakan bagian terpenting dari komposit *sandwich* dimana *skin* terletak pada bagian yang melapisi *core*. *Skin* beberapa fungsi yaitu menahan *tensile* dan *compressive stress*. Biasanya *skin* memiliki tingkat kekuatan yang rendah. Jenis material yang dapat dijadikan bahan untuk pembuatan *skin* yaitu aluminium, baja, logam, *polymer* dan *stainless steel* (Nugroho, 2011).



Gambar 2. 2 Serat Karbon

### 2.2.2.2 Core

*Core* merupakan bagian inti dari komposit *sandwich*, dimana pada bagian ini harus cukup kaku agar jarak antara permukaan terjaga. Dengan kekakuan *core* diharapkan mampu menahan geseran agar tidak terjadinya *slip* antar permukaan (Hidayat et al., 2016). Material dengan tingkat kekakuan yang rendah tidak cocok untuk di jadikan *core*, karena dapat menyebabkan kekuatan lapisan komposit *sandwich* berkurang.



Gambar 2. 3 Struktur Infill 3D Print

Berbagai jenis bentuk *core* telah banyak diterapkan pada struktur *sandwich*. Bentuk *core* yang paling banyak digunakan pada struktur *sandwich* yaitu struktur *gyroid* dan *hexagonal*. Dimana struktur *gyroid* merupakan struktur yang terinspirasi dari alam contohnya struktur pada tulang belakang burung dan sayap kupu-kupu yang memiliki keunggulan pada rasio kekakuan dengan berat yang sangat baik (Naufal, 2023) .

### 2.2.2.3 Matriks

*Matriks* diperlukan untuk menyatukan sebuah *skin* dan *core* pada komposit *sandwich*. *Matriks* adalah bahan pengikat antara *skin* dan *core*. Secara umum *matriks* sifat elastis dan kekakuan yang rendah dibandingkan dengan bahan penguat lainnya (A. Hidayat et al., 2016).

### 2.2.2.4 3D Print

*Additive Layer Manufacturing* atau dikenal sebagai *3D Print* merupakan salah satu teknologi yang memiliki peran besar dalam proses pembuatan objek tiga dimensi. *3D print* dapat

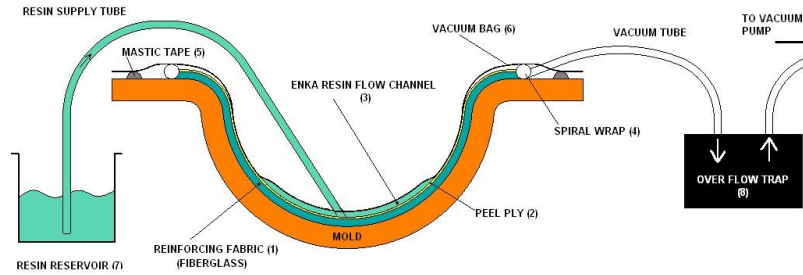
mencetak *modelling*, purwarupa/ permodelan, desain produk, mainan anak-anak, alat-alat penunjang kesehatan, dan model perhiasan. 3D *pinter* menjadi salah satu tren teknologi informasi dan komunikasi masa kini. Hal ini dapat dilihat dari kebutuhan manusia yang semakin modern (K. S. Putra & Sari, 2018). Cara kerja mesin 3D printing sama dengan cara kerja printer laser yaitu dengan dimulai dari sejumlah lapisan yang dicetak di atas lapisan lainnya.



Gambar 2. 4 Mesin 3D Print

#### 2.2.2.5 *Vacuum Infusion*

*Vacuum Infusion* merupakan salah satu metode untuk proses pembuatan material komposit dengan memanfaatkan kevakuman udara. *Vacuum Infusion* dapat disebut sebagai proses cetakan tertutup, karena cetakan tersebut akan ditutup dengan plastik *bag* yang kemudian di beri perekat (*Sealing-tape*) agar udara dalam cetakan tervakum, sehingga aliran resin akan masuk mengisi cetakan. Pada proses ini bertujuan untuk meminimalisir atau mengurangi adanya gelembung udara yang terperangkap, resin yang masuk secara berlebihan di dalam cetakan tersebut (S. Hidayat, 2020). Metode *vacuum infusion* bila dibandingkan dengan metode *hand lay-up* dan *vacuum bagging* memiliki penguatan konsentrasi yang lebih tinggi dan adhesi yang lebih baik antara lapisan.



Gambar 2. 5 Metode Vacuum Infusion

Metode *Vacuum Infusion* memiliki kelebihan dari proses pembuatannya yaitu tidak membutuhkan terlalu banyak tenaga manusia, dapat menambah kekuatan hasil komposit dan menghasilkan resin yang lebih merata pada proses pembuatan komposit. Selain itu Metode *Vacuum Infusion* juga memiliki kekurangan yaitu dari segi biaya peralatan produksi yang cukup mahal (S. W. E. Utomo, 2020).

### 2.2.2.6 Pengujian Bending

Uji lengkung (*Bending Test*) merupakan proses untuk mengukur kekuatan dan keuletan dalam menahan beban suatu material dimana pada prosesnya pemberian beban secara maksimal bertujuan untuk melihat perubahan bentuk (deformasi) dan hasil pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu material dan menentukan apakah material tersebut cocok untuk digunakan dalam aplikasi tertentu.

Besar kekuatan *bending* suatu materi dipengaruhi oleh jenis materialnya dan cara pembebanannya. Ketika suatu benda ditekan atau dilengkungkan, bagian atasnya akan mengalami tekanan sedangkan bagian bawahnya mengalami tegangan tarik. Untuk material komposit, kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatannya tarikannya (Adriansyah, 2021).



Gambar 2. 6 Pengujian Bending

Hasil yang didapatkan dari pengujian *bending* biasanya berupa data beban maksimal, defleksi (perpindahan relatif pada ujung specimen yang di tekuk), dan tegangan *bending*. Data ini akan digunakan untuk melakukan perhitungan kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik, dengan rumus sebagai berikut:

- Tegangan Maksimal

$$\sigma = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (0.1)$$

- Kekakuan *Bending*

$$D = E \cdot I_{sandwich} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \delta} \quad (0.2)$$

- Kekuatan *Bending* Spesifik

$$D. \text{Spesifik} = D/W \quad (0.3)$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas *bending* (N/mm<sup>2</sup>)

P = Beban yang diberikan (N)

L = Jarak point (mm)

δ = Defleksi (mm)

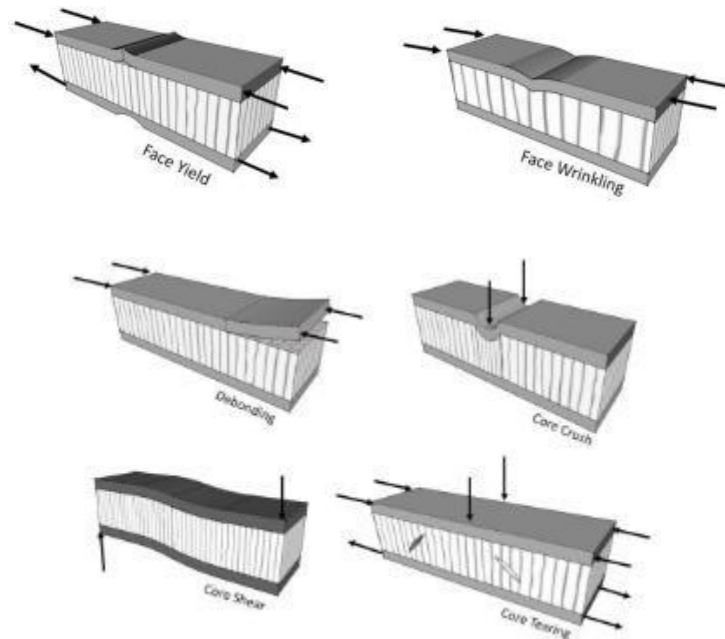
I = Momen inersia (kgm)

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

### **2.2.2.7 Modus Kegagalan Pengujian Bending Komposit Sandwich**

Dalam bentuk pengaplikasiannya pada bidang rekayasa, komposit *sandwich* mengalami berbagai macam beban mekanik, seperti misalnya beban tarik, tekan, lentur, geser, dan puntir. Tidak jarang

material komposit mengalami beban yang berlebih, yang dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan pada material ini. Menurut (Petras, n.d) ada beberapa kegagalan yang terjadi pada komposit *sandwich*:



Gambar 2. 7 Jenis Kegagalan Bending

Pada kegagalan skin komposit *sandwich* yang pertama yaitu *face yield* 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. Kegagalan *face wrinkling* merupakan 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* merupakan kegagalan yang terjadi pada lapisan skin yang terlepas dari bagian *core* specimen. Kemudian *core crush* merupakan kegagalan yang terjadi karena adanya perubahan bentuk pada bagian tengah specimen. Untuk kegagalan *core shear* bentuk kegagalan yang terjadi adalah specimen berubah

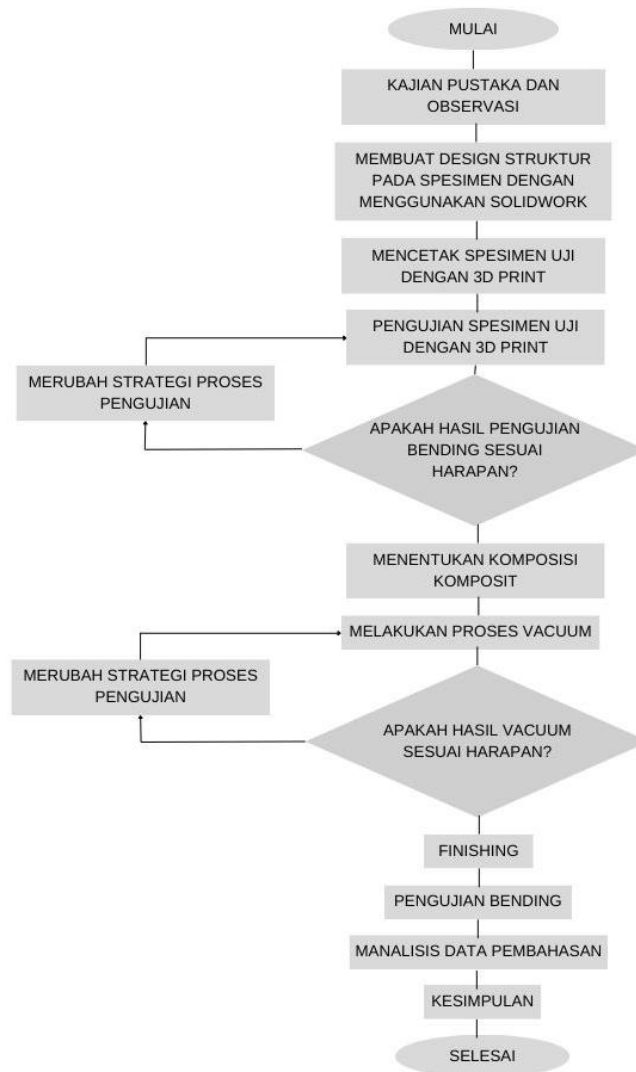
bentuk akibat pembebanan yang diberikan. Sedangkan kegagalan *core tearing* merupakan bentuk kegagalan yang terjadi pecahnya atau terlepasnya bagian core specimen akibat gaya gesek pada bagian tengah specimen (Petras, n.d.).

Pada pengujian bending ini, penelitian dilakukan dengan cara menguji sambungan pada profil H modifikasi. Pada pengujian bending ini, spesimen di uji dengan penampang *transversal* dan tepat di tengah sambungan untuk mengetahui seberapa kuat sambungan yang di buat.

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

## 3.2 Peralatan dan Bahan

### 1. 3D Printing

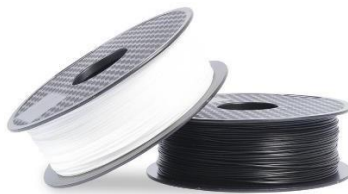
Pada gambar 3.2 dibawah ini merupakan mesin 3D *Print* Ender CR-10S Pro yang berfungsi sebagai alat untuk membuat *core* dengan kepadatan solid 100%.



Gambar 3. 2 3D printing

### 2. PLA

Pada gambar 3.3 dibawah ini merupakan filamen PLA (*Polylactid Acid*) yang berfungsi sebagai bahan untuk membuat *core* dengan kepadatan solid 100%.. Filamen PLAYang digunakan merupakan merk dari Sun dengan diameter 1,75 dan *printing* temperature 195°C – 220 °C



Gambar 3. 3 Filamen PLA

### 3. Vacuum Pump

Pada gambar 3.4 adalah *vacuum pump* yang dengan tenaga pompa manual. Berfungsi sebagai penghisap udara pada saat proses *vacuum* dilakukan.



Gambar 3. 4 Pompa Vacuum

#### 4. Timbangan

Pada gambar 3.5 merupakan timbangan yang berfungsi untuk menakar campuran *epoxy* dan *hardener*. Dan juga diperlukan untuk menimbang berat spesimen sebelum dilapisi komposit dan sesudah dilapisi komposit.



Gambar 3. 5 Timbangan

#### 5. Vacuum Bag

Pada gambar 3.6 dibawah ini merupakan *vacuum bag* yang berfungsi sebagai tempat diletakkannya spesimen komposit yang akan dilakukan proses *vacuum*.



Gambar 3. 6 Vacuum bag

## 6. Peel Ply

Pada gambar 3.7 dibawah ini merupakan *peel ply* yang berfungsi sebagai pembatas antara *Infusion Mesh* dengan serat karbon agar pada saat proses pelepasan spesimen dapat dilepas dengan mudah.



Gambar 3. 7 Peel Ply

## 7. Serat Karbon

Pada gambar 3.8 dibawah ini merupakan serat *carbon fiber fabric* 3k 1,5x1 200gsm *plain & twill* berfungsi sebagai *skin* pada penelitian ini.



Gambar 3. 8 Serat Karbon

## 8. Lem 3M Super 77 Spray Adhesive

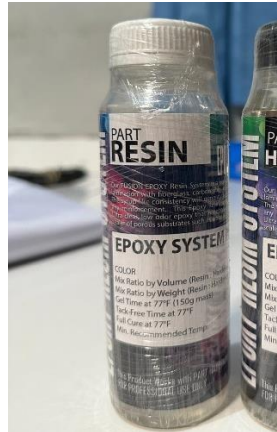
Pada gambar 3.9 merupakan lem 3M Super 77 *Spray Adhesive* yang berfungsi sebagai perekat antara *core 3D printing* dan serat karbon. Tujuannya agar serat karbon lebih menempel pada *core*.



Gambar 3. 9 Lem 3M Super 77 Spray Adhesive

## 9. Resin Epoxy

Pada gambar 3.10 dibawah ini merupakan resin *epoxy*. Resin *epoxy* adalah senyawa kimiawi yang dihasilkan dari proses polimerisasi epoksida. Berfungsi sebagai media perekat antara lapisan *skin* (serat karbon) dengan *core* (spesimen).



Gambar 3. 10 Resin Epoxy

## 10. Hardener

Pada gambar 3.11 dibawah ini merupakan *hardener* berfungsi dapat membantu mempercepat proses pengerasan pada epoksi.



Gambar 3. 11 Hardener

### 11. Gunting

Pada gambar 3.12 dibawah ini merupakan gunting yang berfungsi untuk membuka spesimen setelah proses *vacuum infusion*.



Gambar 3. 12 Gunting

### 12. Cutter

Pada gambar 3.13 dibawah ini merupakan cutter yang berfungsi untuk memotong peel ply.



Gambar 3. 13 Cutter

### 13. Selotip Kertas

Pada gambar 3.14 dibawah ini merupakan selotip kertas yang berfungsi untuk mempermudah pemotongan lembaran Carbon agar lebih rapih.



Gambar 3. 14 Selotip Kertas

#### 14. Gelas Plastik

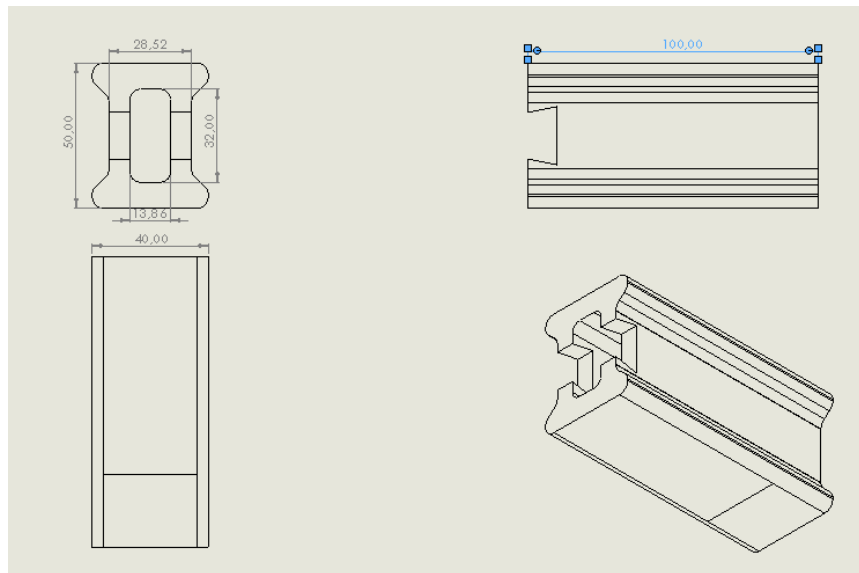
Pada gambar 3.15 dibawah ini merupakan gelas plastik yang berfungsi untuk tempat mencampurkan resin *epoxy* dengan *hardener*.



Gambar 3. 15 Gelas Plastik

### 3.3 Dimensi Spesimen Bending

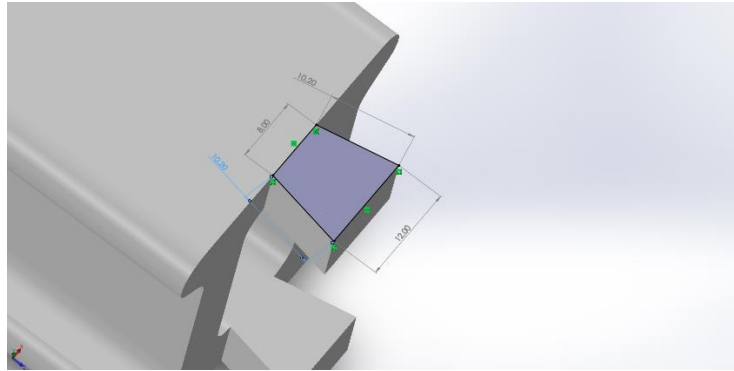
Penelitian ini menggunakan Panjang sesuai standar penelitian yaitu 200 mm pada spesimen komposit, dengan menggunakan bahan *core* PLA serta *infill* 100% dengan *solid fill*.



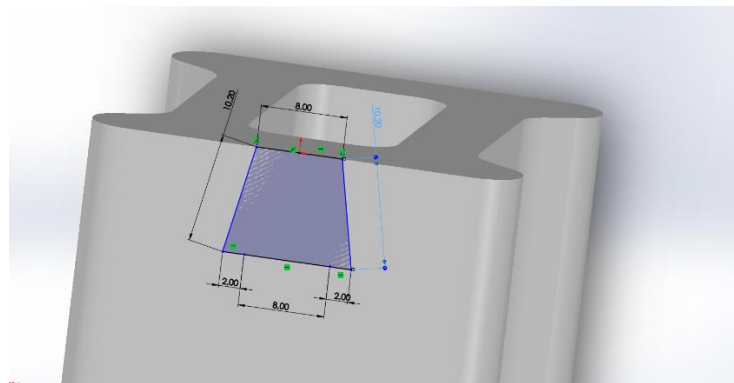
Gambar 3. 16 Dimensi spesimen uji bending core 50 mm dan Panjang 200 mm

Pada gambar 3.16 diatas menunjukkan dimensi setengah spesimen yang akan disambung dan dibuat pada penelitian ini. Pada penelitian ini dibuat *core* dari bahan PLA (*Poly lactid Acid*) dengan ketebalan 50 mm serta Panjang 200 mm, serta desain 3D print tanpa dilapisi komposit sebagai pembanding sebelum dilakukan *vacuum* dan sesudah *vacuum*.

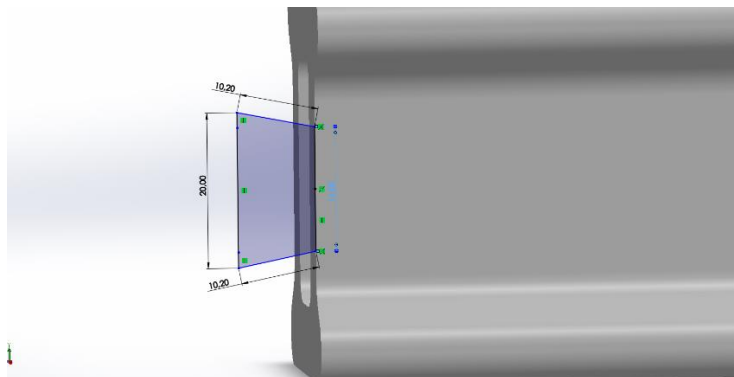
Untuk design sambungan beberapa batang sendiri di buat seperti sambungan pada puzzle yang mempunyai sistem interlock. Sistem interlock sendiri adalah fitur yang membuat keadaan dua mekanisme atau fungsi saling mengunci satu sama lain. Berikut adalah beberapa contoh ukuran sambungan yang telah di buat :



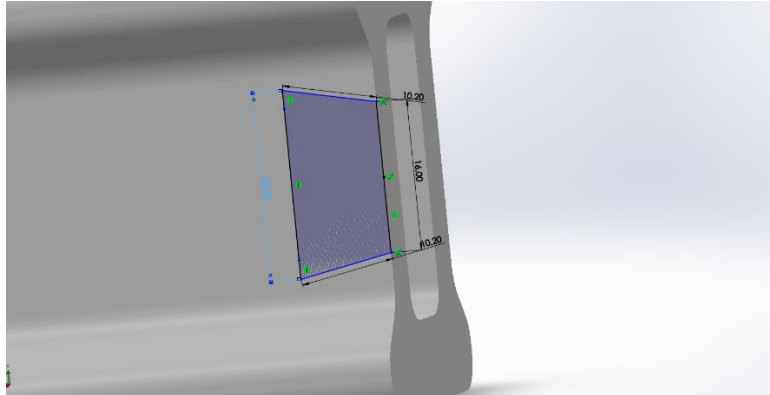
*Gambar 3. 17 Dimensi sambungan male 1*



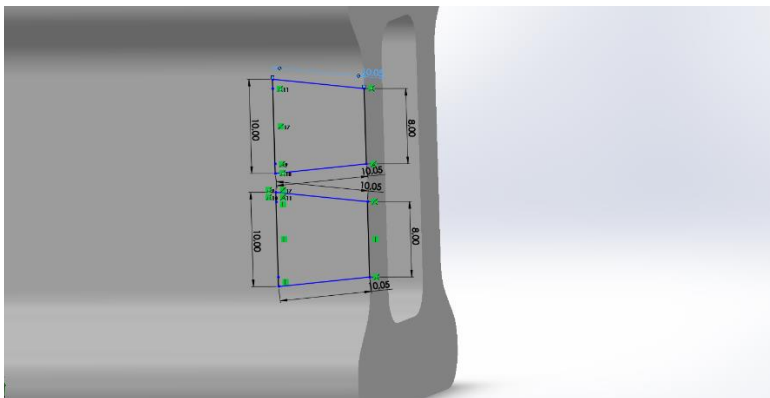
*Gambar 3. 18 Dimensi sambungan female 1*



*Gambar 3. 19 Dimensi sambungan male 2*



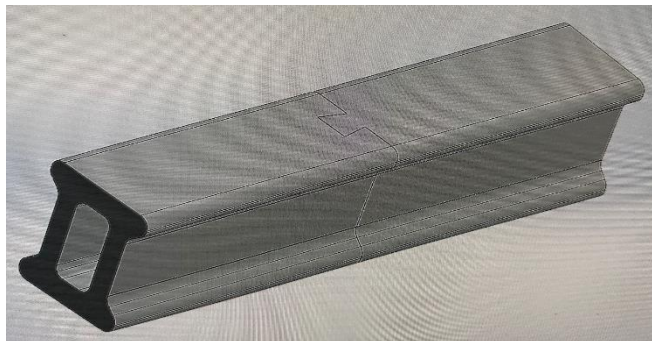
Gambar 3. 20 Dimensi sambungan female 2



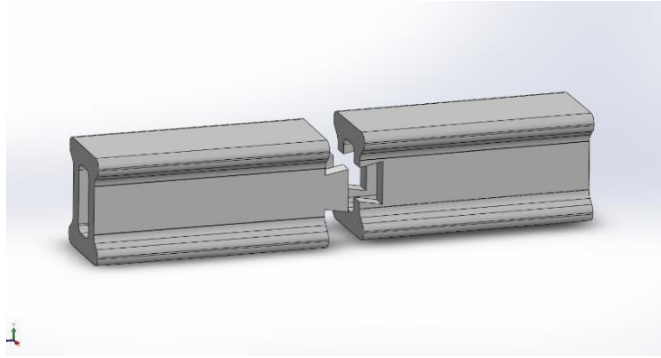
Gambar 3. 21 Dimensi sambungan female 3

Beberapa jenis sambungan diatas sudah diukur dan di design sedemikian rupa agar tahan terhadap uji bending.

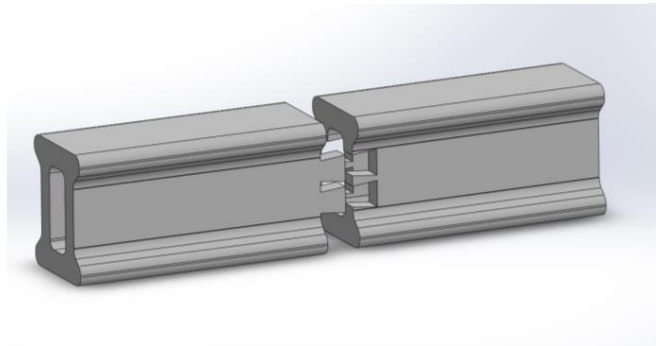
Dimensi sambungan specimen uji bending dibuat bervariasi bentuk sambungannya, berikut beberapa contoh design yang dibuat dan diantara design tersebut di ambil 3 design terkuat.



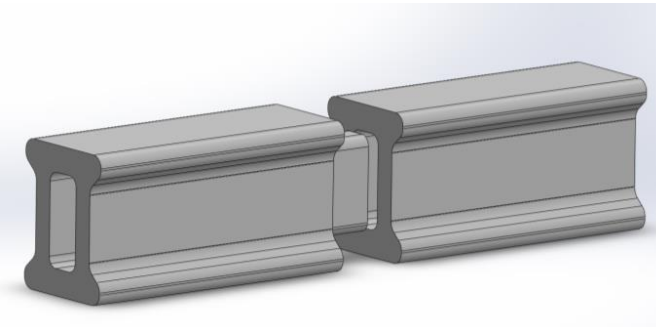
Gambar 3. 22 Spesimen dengan sambungan pertama



*Gambar 3. 23 Spesimen dengan sambungan kedua*

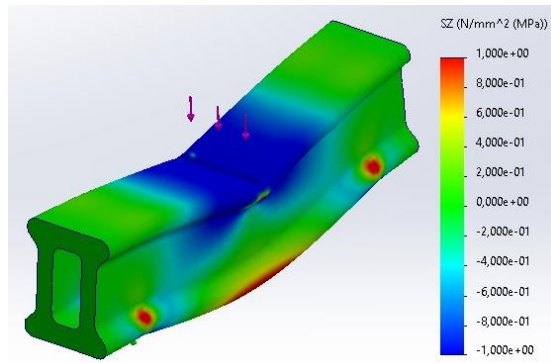


*Gambar 3. 254 Spesimen dengan sambungan keempat*

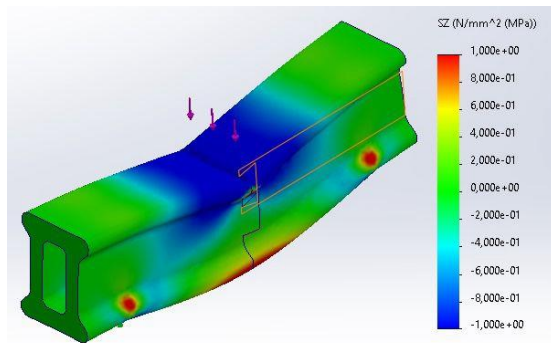


*Gambar 3. 245 Spesimen dengan sambungan ketiga*

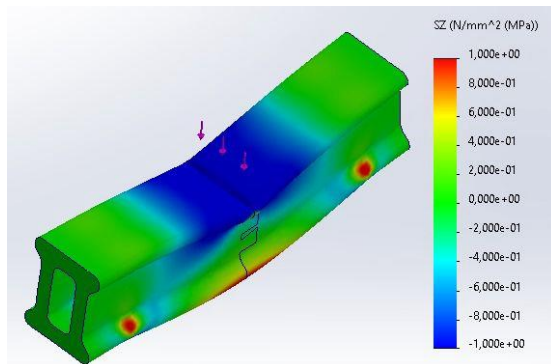
Setelah didapatkan beberapa contoh design, dilakukan test pengujian bending pada masing masing design spesimen melalui aplikasi Solidworks. Adapun untuk hasil pengujian bending yang di uji sebagai berikut.



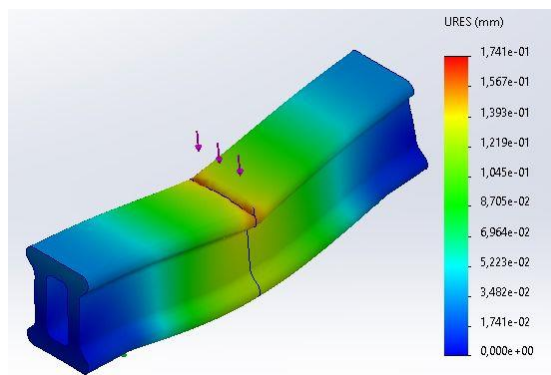
Gambar 3. 26 Pengujian Bending sambungan pertama



Gambar 3. 27 Pengujian Bending sambungan kedua



Gambar 3. 28 Pengujian Bending sambungan ketiga

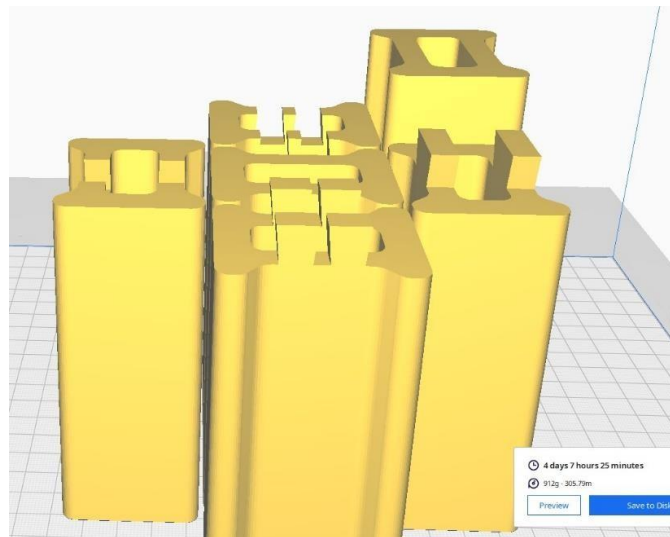


Gambar 3. 29 Pengujian Bending sambungan keempat

Setelah pengujian bending melalui solidwork dilakukan, pemilihan sambungan yang terbaik jatuh kepada sambungan 2, 3, dan 4 karena dari bentuk dan design sangat memungkinkan untuk di cetak. Arah gaya pengetesannya dilakukan dengan di beri beban sebesar 100 KGF dengan penampang melintang dari atas ke bawah agar titik beban dapat maksimal pengetesannya.

### 3.4 Proses Pengerjaan

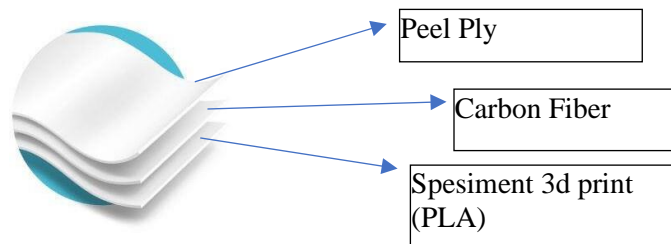
#### 3.4.1 Pembuatan Core Dengan Mesin 3D Print



Gambar 3. 30 Hasil penentuan waktu 3D printing fused filament fabrication (FFF) pada filament A1, A2, dan A3

Berdasarkan pada gambar 3.30 adlh hail waktu penentuan 3D printing fused filament fabrication (FFF) yaitu dengan waktu 4 hari 7 jam 25 menit yang telah dilakukan proses desain pada software Solidworks.

#### 3.4.2 Susunan Lapisan Vacuum Infusion



Gambar 3. 31 Susunan Lapisan Vacuum Infusion

Pada gambar 3.31 adalah susunan lapisan komposit dengan ketebalan 50 mm dimana lapisanserat karbon sebanyak 1 lapis mengelilingi speiment dan selanjutnya dilakukan proses *vacuum*.

### 3.4.3 Proses Vacuum Infusion

1. Penyatuan spesiment yang telah di cetak.



Gambar 3. 32 penyatuan sambungan spesiment

Pada gambar 3.32 menunjukkan spesiment yang telah disatukan menggunakan lem dextone agar keduanya menjadi kuat satu sama lain.

2. Pelapisan Lem 3M Super 77 Spray Adhesive



Gambar 3. 33 Pelapisan lem 3M Super 77 Spray Adhesive

Pada proses ini dilakukan sebelum semua bahan dimasukkan kedalam vacuum bag, proses ini dilakukan agar core dan serat karbon menempel sangat kuat. Cara pengaplikasiannya sendiri adalah spesimen terlebih dahulu di amplas semua permukaannya agar tidak ada pori-pori yang tersisa. Tujuannya adalah agar pada saat pengeleman antara spesimen dan karbon dapat melekat dengan sempurna saat kering.

### 3. Pelapisan Peel Ply



*Gambar 3. 34 Pelapisan Peel Ply*

Pada proses ini dilakukan pelapisan peel ply diatas carbon disemprot menggunakan lem 3M Super 77 Spray Adhesive agar lebih kuat.

### 4. Pencampuran Epoxy resin dan Hardener



*Gambar 3. 35 Pencampuran epoxy resin dan hardener*

Pada proses ini dilakukan pencampuran epoxy resin dan hardener untuk dioleskan ke specimen yang telah dilapisi peel ply. Untuk pencampuran resin dan hardener dilakukan dengan perbandingan 2:1 dan untuk cara pengaplikasiannya dengan cara di oleskan ke spesimen yang akan di uji.

## 5. Penyusunan Bahan kedalam Plastik Vacuum



Gambar 3. 36 Memasukkan semua bahan kedalam vacuum bag

Pada proses ini seluruh bahan yang telah disusun sesuai urutan dilakukan proses pemvakuman kedalam plastic vacuum tersusun sesuai dengan pada gambar 3.31. Proses ini dilakukan dengan sangat hati-hati karena jika masih ada udara yang tersisa pada vacuum bag, mengakibatkan resin tidak merata dengan sempurna.

## 6. Hasil dari Proses *Vacuum infusion*



Gambar 3. 37 Hasil *Vacuum Infusion*

Pada gambar 3.37 adalah hasil dari *vacuum infusion* yang telah dilakukan pelepasan plastic, dan kain *peelply*.

### 3.4.4 Hasil Proses Pengerjaan

Hasil dari proses pembuatan spesimen dengan 3D *printing* dan hasil dari proses *Vacuum Infusion* adalah sebagai berikut:

#### 1. Spesimen Tanpa *Skin Carbon Fiber*



Gambar 3. 38 Spesimen Tanpa *Skin Carbon Fiber*

Pada Gambar 3.38 adalah spesimen tanpa *skin karbon fiber*. Hanya spesimen berupa hasil 3D printing tanpa dilapisi *skin karbon fiber*. Setiap variasi dicetak 3 kali dengan design sambung yang berbeda. Masing-masing sambungan pada spesimen disambung seperti mainan lego, dan di setiap sambungannya di beli lem dextone terlebih dahulu agar masing-masing sambungan melekat dengan erat.

#### 2. Spesimen Dengan *Skin Carbon Fiber*



Gambar 3. 39 Spesimen dengan *skin Carbon Fiber*

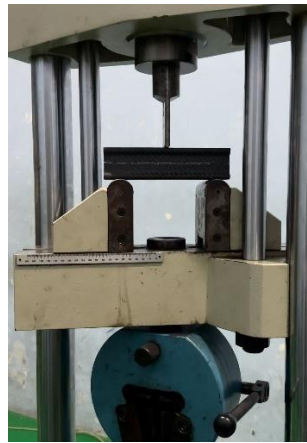
Pada gambar 3.39 adalah gambar specimen uji yang telah melalui proses *vacuum* dan telah dilakukan pemotongan pada specimen.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengujian Bending

Pengujian spesimen yang akan dilakukan adalah pengujian bending, yang tujuannya untuk mengetahui nilai kekakuan maksimal dari 3 spesimen yang memiliki sambungan berbeda dan dilapis *skin karbon fiber*. Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui manakah sambungan yang terbaik diantara ke 3 sambungan. Pengujian bending ini dilakukan di Lab Teknik UGM. Pada gambar 4.1 menunjukkan proses pengujian *three point bending*.



Gambar 4. 1 Specimen di alat *three point bending*

Berikut adalah Langkah-langkah pada proses pengujian *three point bending*:

1. Siapkan spesimen/benda uji, potong sesuai varian masing-masing.
2. Tempatkan sampel fabrikasi pada tempat uji fleksibel dengan jarak 100 mm dan Panjang 200 mm.
3. Mesin uji Bending menerapkan beban maksimum secara perlahan hingga spesimen/benda uji patah.
4. Hasil pengujian secara otomatis dicatat pada kertas yang disediakan penguji pada panel mesin pengujian.

## 4.2 Hasil Pengujian

Hasil proses *three point bending* pada spesimen/benda uji yang dikerjakan di Laboratorium Bahan Teknik UGM diperoleh sesuai gambar dibawah ini.



Gambar 4. 2 Hasil pengujian dengan skin carbon fiber

Gambar 4.2 diatas menunjukkan hasil *three point bending* yang di lakukan. Gambar ini juga menunjukkan mode kegagalan di setiap sampel. Pada Penguat Carbon 1 dan 2, terdapat lapisan carbon fiber yang terlepas dari spesimen 3D print, terlepasnya lapisan karbon dikarenakan tidak sempurnanya pengeleman sehingga tidak menyatu dengan kuat. Sambungan penguat carbon 1 dan 2 patah duluan dan mampuan lapisan karbon menarik dan terlepas pada spesimen.

NO	Variasi spesiment	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (kN)	Defleksi (mm)	Teg. Bending (MPa)
1	Penguat carbon_1	50,25	40,17	9,62	2,20	41,68
2	Penguat carbon_2	50,18	40,13	8,52	2,02	36,91
3	Penguat carbon_3	50,23	40,15	8,70	2,21	37,69

Tabel 4. 1 Menunjukkan hasil pengujian bending di LAB UGM

Tabel 4.1 menunjukkan hasil yang dikumpulkan setelah proses uji lentur bahwa sampel dengan kode Penguat carbon \_1, yaitu mampu menahan beban sebesar 9,62 kN. Sedangkan defleksi terbesar terjadi pada sampel Penguat carbon\_3 dengan nilai 2,21 mm. tegangan bending tertinggi terjadi pada sampel Penguat carbon\_1 sebesar 41,68 MPa.

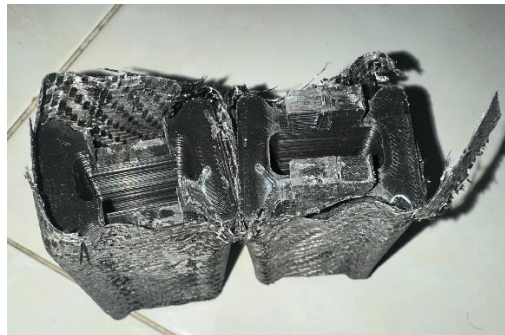
### 4.3 Analisis dan Perhitungan

Patahnya suatu komposit merupakan suatu peristiwa kerusakan yang terjadi apabila suatu komposit mendapat tegangan melebihi batas kekuatannya. Berdasarkan pengujian 3 benda uji dengan 3 sambungan yang berbeda, secara umum benda uji tersebut mengalami retak akibat print spesimen secara vertikal karena alat 3d print bekerja secara horizontal. Akan lebih kuat lagi print spesimen secara horizontal karena seratnya bakal menghadap vertikal.

#### 4.3.1 Analisis Modus Kegagalan batang H beam modifikasi Dengan *Skin*



Gambar 4. 3 Hasil pengujian dengan skin carbon fiber Penguat Carbon\_1



Gambar 4. 4 Hasil pengujian dengan skin carbon fiber Penguat Carbon\_2



Gambar 4. 5 Hasil pengujian dengan skin carbon fiber Penguat Carbon\_3

Pada gambar 4.3 dan 4.4 diatas dapat dilihat pada patahan terjadi karena arah *filament* searah dengan alat pengujian. Pada Penguat Carbon\_1, patahan terjadi karena pada sambungannya terlepas dan patah, sama seperti sambungan Penguat Carbon \_2 pada gambar 4.4. Untuk penguat carbon\_1 dan 2, patahan terjadi dahulu sehingga yang menopang bending hanya carbon fiber saja, maka carbon fiber dapat terlepas dari spesimen sehingga terjadinya penarikan seperti pada gambar 4.2. Jika *filament* berlawanan arah dengan alat pengujian, maka angka yang di dapat pada tabel akan lebih maksimal. Untuk gambar 4.5, terjadi patahan pada sambungan tengahnya, tetapi lapisan karbon tetap menempel dengan erat dengan spesimen karena pengeleman core dan carbon benar benar sempurna.

#### 4.4 Perhitungan

Dari data yang telah didapat melalui pengujian bending, selanjutnya adalah menghitung nilai rata-rata kekakuan bending dan kekakuan bending spesifik dengan menggunakan rumus pada bab 2 dengan persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3.

No.	Kode Spesimen	Berat (g)	Beban P Yield (N)	Defleksi (mm)	Teg.Bending (MPa)	Kekakuan Bending D (N.mm <sup>2</sup> )	Kekakuan Bending Spesifik D/W (N.mm <sup>2</sup> /g)
1	Penguat Carbon_1	296	8.19	2.2	41.68	307.457.386	1.038.707
2	Penguat Carbon_2	293	6.87	2.02	36.91	296.565.594	1.012.169
3	Penguat Carbon_3	309	6.5	2.21	37.69	276.795.814	895.779

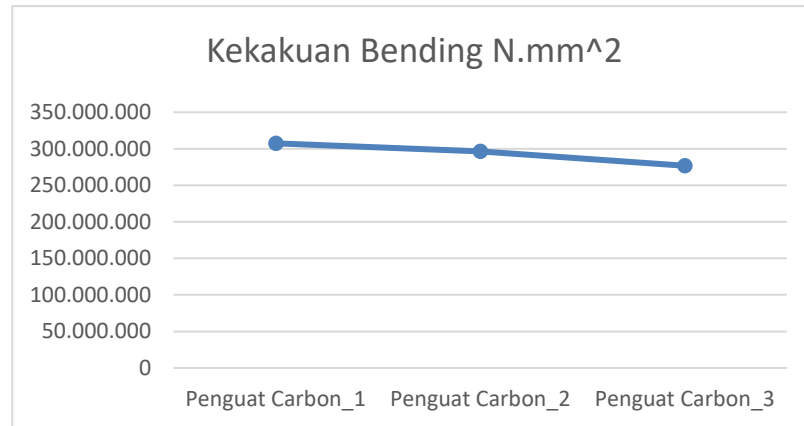
Tabel 4. 2 Data hasil perhitungan bending spesimen

Pada tabel 4.2 diatas menunjukkan hasil perhitungan kekakuan bending (Tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan), dan kekakuan bending spesifik (kekakuan yang jika lebih tinggi mengakibatkan deformasi lateral yang lebih rendah) dari spesimen yang telah dilakukan pengujian three point bending menggunakan mesin universal testing machine. Dapat dilihat pada spesimen dengan kode Penguat Carbon\_1 yaitu memiliki nilai kekakuan bending terbesar yaitu 307.457.386 Nmm<sup>2</sup> dan kekakuan bending spesifiknya memiliki nilai sebesar 1.038.707 Nmm<sup>2</sup>/g,

sedangkan untuk spesimen yang memiliki kekakuan bending terkecil adalah dengan kode A3 yaitu memiliki nilai sebesar  $276.795.814 \text{ Nmm}^2$  dan nilai kekakuan bending spesifiknya mencapai  $895.779 \text{ Nmm}^2/\text{g}$ .

## 4.5 Pembahasan

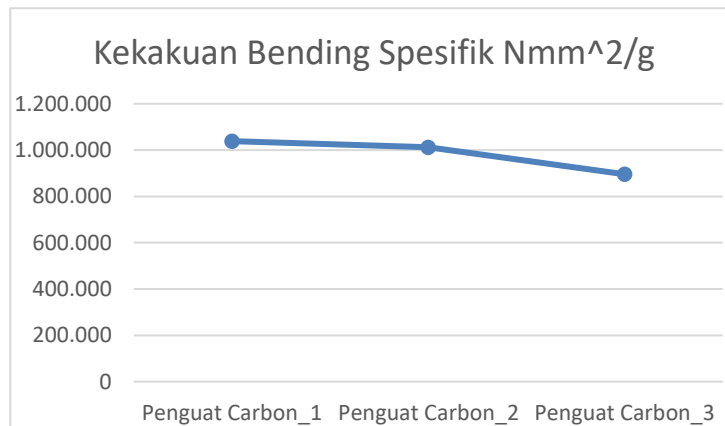
### 4.5.1 Kekauan Bending



Gambar 4. 6 Grafik Kekakuan Bending

Pada gambar 4.6 diatas menunjukkan grafik kekakuan bending. Dari grafik dapat dibaca kekakuan bending yang paling tinggi di dapatkan pada spesimen Penguat Carbon\_1 yang memiliki nilai kekakuan bending sebesar  $307.457.386 \text{ Nmm}^2$  dan kekakuan bending yang paling rendah didapatkan pada spesimen Penguat Carbon\_3 dengan nilai kekakuan sebesar  $276.795.814 \text{ Nmm}^2$ . Dari data kekakuan bending rata-rata, bentuk dari sambungan batang H beam sangat berpengaruh dalam meningkatkan kekakuan bending dan kekuatan pada core.

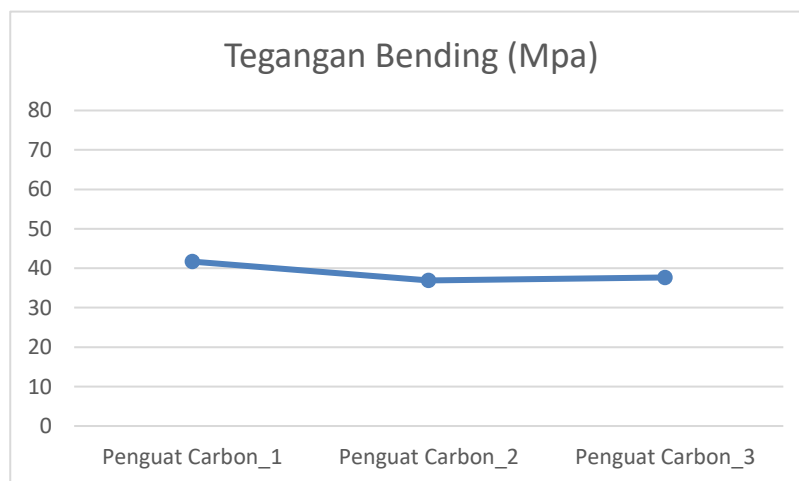
## 4.5.2 Kekauan Bending Spesifik



Gambar 4. 7 Grafik Kekakuan Bending Spesifik

Pada gambar 4.7 diatas menunjukkan grafik kekakuan bending spesifik. Dari grafik dapat dibaca kekakuan bending spesifik yang paling tinggi di dapatkan pada spesimen Penguat Carbon\_1 yang memiliki nilai kekakuan bending spesifik sebesar  $1.038.707 Nmm^2/g$  dan kekakuan bending spesifik yang paling rendah didapatkan pada Penguat Carbon\_3 yang memiliki nilai kekakuan spesifik sebesar  $895.779 Nmm^2/g$ .

## 4.5.3 Kekauan Tegangan Bending



Gambar 4. 8 Grafik Tegangan Bending Maksimal

Pada gambar 4.8 diatas menunjukkan grafik tegangan bending. Dari grafik dapat dibaca tegangan bending yang paling tinggi didapatkan pada Penguat Carbon\_1 sebesar 41.68  $Mpa$  dan tegangan bending yang paling rendah didapatkan pada spesimen Penguat Carbon\_2 sebesar 36.91  $Mpa$ .

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

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

1. Dari hasil pengujian, nilai rata-rata kekakuan bending tertinggi pada variasi spesimen A1 sebesar 307.457.386  $Nmm^2$ , sedangkan nilai rata-rata kekakuan bending terendah pada variasi spesimen A3 sebesar 276.795.814  $Nmm^2$
2. Dari ketiga spesimen yang telah diuji, didapatkan bahwa sambungan Penguat Carbon\_1 sangat kuat dibandingkan Penguat Carbon\_2 dan 3 karena memiliki bentuk sambungan yang lebih besar dari yang lainnya.
3. Analisis kegagalan pada spesimen Penguat Carbon\_1 dan 2, dikarenakan sambungan terpatah dahulu, sehingga yang menopang hanya carbonnya saja, dan maka dari itu lapisan carbon terlepas pada spesimen karena hanya karbon yang menumpu ke 2 sambungannya.

#### **5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya**

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

1. Dalam proses penempelan spesimen dengan serat karbon, sebaiknya spesimen dibersihkan dan diampelas terlebih dahulu agar serat karbon dapat menempel dengan baik.
2. Jauhkan media vacuum bag dari benda-benda tajam disekitar saat melakukan proses vacuum agartidak mengalami kebocoran.
3. Pada saat proses finishing sebaiknya menggunakan perlengkapan K3 yang sesuai seperti kacamata dan sarung tangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah, Y. I. (2021). Analisis Uji *Bending* Komposit *Sandwich* Yang Digabungkan *3D Printing*.  
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/30579>
- 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>
- Ashfan M, (2022). Pengaruh Ketebalan Core (3D Print) Dengan Bahan PLA (Polyactic-Acid) Terhadap Uji Bending Spesimen Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Infusion. Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
- 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.
- Faizun, M. (2022). Pengaruh Penambahan *Skin Carbon* Terhadap Kekakuan *Bending 3D Printed ABS (Acrylonitrile Butadine Styrene) Honeycomb Ribs*.
- Hidayat, S. (2020). Aplikasi Perangkat *Vacuum Infusion* Untuk Pembuatan Komponen Berbahan Komposit.  
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/13638>
- Marsono, M., Ali, A., & Luwis, N. (2019). Karakteristik Mekanik Panel *Honeycomb Sandwich* Berbahan Komposit *Fibreglass* dengan Dimensi *CellPitch* 40mm dan *Cell-Height* 30mm. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 3(2).  
<https://doi.org/10.26760/jrh.v3i2.3144>
- Nugroho, A. T. P. (2011). Pengaruh Tebal *Skin* Dan *Core* Terhadap Kekuatan *Bending Komposit Sandwich* Serat Rami—*Polyester* Dengan *Core* Sekam Padi—*Ureaformaldehyde*.  
<https://digilib.uns.ac.id/dokumen/24716/Pengaruh-tebal-skin-dan-core-terhadap-kekuatan-bending-komposit-sandwich-serat-rami-polyester-dengan-core-sekam-padi-urea-formaldehyde>

- Oliviandes F, (2022). Analisis Pengaruh Jumlah Lapisan Skin Pada Komposit Sandwich Terhadap Uji Bending Menggunakan Metode Vacuum Infusion. Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
- Pratama, A. H. (2022). Pengaruh Ketebalan Dan Jenis *3d Printed Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Skin* Serat Karbon. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/41206>
- Putra, A. S. W. K. (2022). Pengaruh Orientasi *Printing (3D Print)* dan Jenis Material *Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Carbonfiber*.
- 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.
- Putra, M. I., & Nugroho, G. (2021). Pengaruh Curing Time Terhadap Sifat Mekanis Komposit *Epoxy/Carbon Fiber* dan *Epoxy/ Glass Fiber* dengan Metode Manufaktur *Bladder Compression Moulding*. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.22146/j>
- Setiyawan, D., Respati, S. M. B., & Dzulfikar, M. (2020). Analisa Kekuatan Komposit *Sandwich Karbon Fiber* Dengan *Core Styrofoam* Sebagai Material Pada Model Pesawat Tanpa Awak (Uji Tarik & Uji *Bending*). *Majalah Ilmiah Momentum*, 16(1), Article 1. <https://doi.org/10.36499/jim.v16i1.3345>
- Utomo, W. B., & Drastiawati, N. S. (2021). Pengaruh Variasi Jenis *Core*, *Temperatur Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik *Bending* Komposit *Sandwich Serat Carbon* Dengan Metode *Vacuum Infusion*. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(02), 45–54.
- Yeung, K. K. H., & Kamineni, P. (2014). *Mechanical Properties of Boron and Kevlar-49 Reinforced Thermosetting Composites and Economic Implications*. *Journal of Engineering Sciences*, 10, 19–29.

# LAMPIRAN



## 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	Penguat Carbon_1	9.62	2.20	41.68
2	Penguat Carbon_2	8.52	2.02	36.91
3	Penguat Carbon_3	8.70	2.21	37.69

*Keterangan:*

1. Pengujian dilakukan tanggal 14 Juni 2024
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine

Yogyakarta, 14 Juni 2024

Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisa  
Material

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

NIP: 197703312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

