

**PENGARUH PENAMBAHAN SKIN SERAT KARBON DAN
INFILL 100% MATERIAL HONEYCOMB RIBS 3D PRINT PLA
TERHADAP KEKAKUAN BENDING
TUGAS AKHIR**

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



Disusun Oleh :

**Nama : Husein Maulana Rokhman
No. Mahasiswa : 19525140
NIRM : 1807080148**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya yang bertanda tangan di bawah ini, Husein Maulana Rokhman selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “PENGARUH PENAMBAH *SKIN SERAT KARBON DAN INFILL 100% MATERIAL HONEYCOMB RIBS 3D PRINT PLA TERHADAP KEKAKUAN BENDING*” menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri dan bukan hasil dari plagiasi karya tulis yang dibuat oleh orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya telah tulis pada karya tulis ini sudah saya cantumkan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan apa yang saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Yogyakarta, 27 Desember 2023



Husein Maulana Rokhman

(19525140)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENGARUH PENAMBAHAN *SKIN* SERAT KARBON DAN
INFILL 100% MATERIAL HONEYCOMB RIBS 3D PRINT PLA
TERHADAP KEKAKUAN *BENDING***

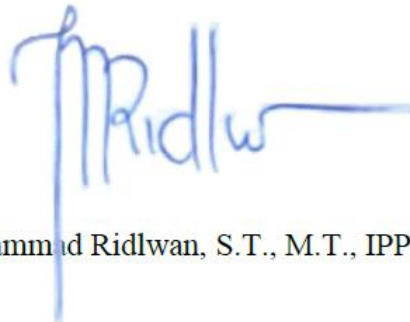
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Husein Maulana Rokhman
No. Mahasiswa : 19525140
NIRM : 1807080148

Yogyakarta, 11 Desember 2023

Pembimbing I,



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

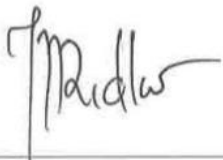
**PENGARUH PENAMBAHAN SKIN SERAT KARBON DAN
INFILL 100% MATERIAL HONEYCOMB RIBS 3D PRINT PLA
TERHADAP KEKAKUAN BENDING
TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh :

Nama : Husein Maulana Rokhman
No. Mahasiswa : 19525140
NIRM : 1807080148

Tim Penguji


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


Tanggal : 28/12/2023

Ir. Arif Budi Wicaksono, S.T.,
M.Eng., IPP
Anggota I


Tanggal : 27/12/2023

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


Tanggal : 28/12/2023

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin




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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam dan atas ijinnya Laporan Tugas akhir ini penulis persembahkan dan ucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Orang tua saya Bapak Suharto dan Ibu Iis Azizah yang selalu berkontribusi dalam setiap langkah kehidupan dengan bentuk dukungan moral dan semangat yang tiada henti diberikan melalui do'a dan nasehat tanpa henti agar penulisan dan pelaksanaan tugas akhir ini dapat dilaksanakan atas izin Allah Swt.
2. Kakek saya (Alm.) H. Kusman dan nenek (Alm.) Hj. Kusmindarsih tercinta yang sebelum berpulangnya beliau selalu mengajari arti kehidupan dan tetap teguh memberikan nasehat dan semangat.
3. Kakak tercinta Normalisa Hidayati, Lucky Latifah Munawaroh, dan Luqman Saputra yang tetap gigih memberikan semangat dalam hidup serta mengayomi, dan mendoakan saya disetiap urusan.
4. Bapak Dosen pembimbing Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. yang selalu memberikan arahan serta saran dan motivasi dalam penelitian ini hingga dapat berjalan dengan lancar. Serta para dosen Teknik Mesin UII yang mendukung, membantu, dan berbagi ilmunya selama penulis menjalani perkuliahan di prodi Teknik Mesin FTI UII.

HALAMAN MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan yang lain)”

(Q.S Al-Insyirah: 6 - 7)

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

(Q.S Al-Baqarah 2:256)

“Tanpa tindakan, pengetahuan tidak ada gunanya dan pengetahuan tanpa tindakan itu sia-sia”

(Abu Bakar Asshidiq)

“Jalani hidup seperti air mengalir. Jika ada hal kotor yang ikut hanyut, saringlah dan kau mencapai hidup yang segoro”

(Kusman)

“Saya bertanya tentang kebijaksanaan dan Allah SWT. beri saya masalah untuk diselesaikan”

(Salahudin Al-Ayubi)

“Tak ada yang lebih kuat dari kelembutan, tak ada yang lebih lembut dari kekuatan yang tenang”

(Jenderal Soedirman)

“Kegagalan hanya terjadi jika kita menyerah”

(B.J. Habibie)

“Le vent se lève! Il faut tenter de vivre!”

“Anginnya berhembus, kita harus tetap hidup!”

(Paul Valery)

“Tidak ada perbuatan yang sia-sia selama kau yakin ada kebaikan dalam setiap perbuatan tersebut”

(Husein Maulana Rokhman)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur dihadirkan pada tuhan semesta alam Allah Swr. Yang Maha pengasih lagi Maha penyanyang, sebab atas restu dan hidayahnya penelitian ini penulis dapat melaksanakan penelitian dengan lancar dan selalu dimudahkan berkatnya. Penelitian dengan judul “Pengaruh Penambahan Skin Serat Karbon dan *infill* 100% Material *Bending* Ribs 3D *Print* PLA terhadap Kekakuan *Bending*” dapat diselesaikan berkat barokahnya. Tidak lupa shalawat serta salam dihaturkan kepada baginda rasul Nabi Muhammad SAW. yang telah memberi kita tuntunan dan ajaran yang perlu dikerjakan selama kita hidup ini agar selamat dunia akhirat.

Penyusunan Tugas Akhir diajukan sebagai syarat untuk memenuhi prasyarat akademik untuk memperoleh gelar sarjana (S1) pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir, penulis mendapat banyak saran serta masukan dari berbagai pihak agar penulisan dapat diselesaikan. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ungkapan banyak terima kasih dan apresiasi kepada:

1. Allah SWT. tuhan semesta alam dan pemilik jiwa-jiwa dimuka bumi. Berkat rahmat serta karunia-Nya penulis dimudahkan dalam proses penelitian sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.
2. Keluarga tercinta, Bapak Suharto, Ibu Iis Azizah, kakak kandung Normalisa Hidayati, Lucky Latifah Munawarah, Luqman Saputra, kakak ipar Hijrah Setiawan, Handrian Nurmaditya, dan Denya Putri Komala Dewi serta para keponakan Lutfiah Keysa Rahwati, (Alm.) Nabila Carisa Putri, Adzkie Anaila Kyhanda Putri, Habibi Adzaky Putra Kyhanditya, Ananditya Ganesh Kawarismi, Muhammad Atthar Maulana Yusuf, dan Muhammad Arfan Maulana Ibrahim.

3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T. IPP., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin FTI UII.
4. Bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan serta masukan saran agar penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan baik.
5. Seluruh staf pengajar, staf administratif, dan karyawan di Program Studi Teknik Mesin UII.
6. Kakek dan Nenek tercinta Bapak (Alm.) Kusman dan Ibu (Alm.) Kusmindarsih.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin FTI UII 2019 dan rekan tim komposit Regawa Danu Baya yang berjuang bersama menjalani masa perkuliahan di kampus.
8. Rekan-rekan kos pondok sawojajar Aria Pandu Firmansyah, Putra Bagas Veryanto, Amirul Arief Wibowo, Irsyad Jannata, Dymas Ari, Ahmad Suhada, Faiq Hilmy Nabil, dan Muhammad Yasykur Raif.
9. Rekan-rekan daerah Vega Arvian, Arga Maula, Dimas Java Utama, Shafa Adinda Firmansyah, Annisa Siti Nurhaliza, Muhammad ‘Alwan, keluarga Siregar dan sate Braga.
10. Dan semua pihak yang sudah membantu dan mendoakan penulis yang tidak dapat ditulis semua dalam kata pengantar atau ucapan terima kasih ini.

Penulis menyadari bahwa sepenuhnya penulisan Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun selalu penulis harapkan. Semoga laporan ini dapat menjadi manfaat bagi penulis dan semua pihak yang membutuhkan. Akhir kata saya ucapkan terima kasih, semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua, Aamiin ya robbal ‘alamiin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 7 Desember 2023



Husein Maulana Rokhman

19525140

ABSTRACT

The development of science and technology along with the times that are running, human needs are increasingly numerous, extensive, and detailed. One of the needs needed by humans is in the field of materials or materials. The need for this material is needed to make a tool with special properties depending on the purpose or purpose of this tool is made. The method used to make composite specimens is the vacuum infusion process to unite the two materials and then bending testing is carried out to obtain the values or data needed to be processed. The value or data needed to be processed, the bending stiffness value and specific bending of the specimen added carbon fiber skin has a better stiffness value compared to those that do not use the addition of skin the addition of carbon fiber skin to the core honeycomb ribs specimen made from PLA shows an increase in the value of bending stiffness and specific bending and when compared to specimens using 20% infill with 100% shows a difference, where specimens with 100% infill have higher bending stiffness and specific bending values.

Keywords: Bending Test, Composite, Carbon Fiber, 3D Print Ribs, Vacuum Infusion

ABSTRAK

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi seiring dengan perkembangan zaman yang berjalan, kebutuhan manusia semakin banyak, luas, dan terperinci. Salah satu kebutuhan yang dibutuhkan oleh manusia adalah dalam bidang material atau bahan. Kebutuhan akan material ini diperlukan untuk membuat suatu alat dengan sifat-sifat khusus tergantung dari tujuan atau kegunaan dari alat tersebut. Metode yang digunakan untuk membuat spesimen komposit yaitu dengan proses *vacuum infusion* untuk menyatukan kedua material tersebut kemudian dilakukan pengujian *bending* untuk mendapatkan nilai atau data yang dibutuhkan untuk diolah. nilai kekakuan *bending* dan nilai *bending* spesifik spesimen yang ditambahkan *skin* serat karbon memiliki nilai kekakuan yang lebih baik dibandingkan dengan spesimen yang tidak menggunakan penambahan *skin*. Penambahan *skin* serat karbon pada *core honeycomb ribs* spesimen berbahan dasar PLA menunjukkan adanya peningkatan nilai kekakuan *bending* dan *bending* spesifik dan jika dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan *infill* 20% dengan 100% menunjukkan adanya perbedaan, dimana spesimen dengan *infill* 100% memiliki nilai kekakuan *bending* dan *bending* spesifik yang lebih tinggi.

Kata Kunci: Uji *Bending*, Komposit, Serat Karbon, 3D *Printing Ribs*, *Vacuum infusion*

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
<i>Abstract</i>	ix
Abstrak	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Notasi.....	xvi
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Komposit	7
2.2.2 <i>Sandwich</i> Komposit.....	8
2.2.3 <i>3D Print</i>	10
2.2.4 Struktur <i>Honeycomb</i>	11
2.2.5 <i>Vacuum Infusion</i>	11
2.2.6 Pengujian Kekakuan (<i>Bending</i>).....	12
2.2.7 Modus Kegagalan Pengujian <i>Bending</i> Komposit <i>Sandwich</i>	14
Bab 3 Metode Penelitian	17

3.1	Alur Penelitian	17
3.2	Peralatan dan Bahan.....	18
3.3	Dimensi Spesimen	27
3.3.1	Susunan Lapisan Komposit	28
3.4	Proses Pengerjaan	28
3.4.1	Pembuatan <i>Ribs</i> dengan <i>3D Printing</i>	28
3.4.2	Skema Lapisan <i>Vacuum Infusion</i>	29
3.4.3	Proses <i>Vacuum Infusion</i>	30
3.4.4	Hasil Pengerjaan	33
3.4.5	Kegagalan	34
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	35
4.1	Pengujian <i>Bending</i>	35
4.2	Hasil Pengujian <i>Bending</i>	36
4.3	Analisis dan Perhitungan	37
4.3.1	Analisis Kegagalan Spesimen	37
4.4	Perhitungan	42
4.5	Pembahasan	43
4.5.1	Kekakuan <i>Bending</i>	44
4.5.2	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik.....	45
4.5.3	Penyebab Kenaikan <i>Rigidity</i>	45
Bab 5	Penutup.....	47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	47
	Daftar Pustaka	48

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Parameter Pencetakan 3D <i>Print</i>	29
Tabel 3-2 Data Hasil Pengukuran.....	34
Tabel 4-1 Hasil Pengujian <i>Bending</i>	36
Tabel 4-2 Hasil Perhitungan Spesimen	42
Tabel 4-3 Data Spesimen <i>Infill</i> 20%	43
Tabel 4-4 Data Spesimen <i>Infill</i> 20% dan 100%	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Struktur <i>Honeycomb Sandwich</i>	9
Gambar 2-2 Metode <i>Vacuum Infusion</i>	12
Gambar 2-3 Pengujian <i>3-Point Bending</i>	13
Gambar 2-4 Pembebanan <i>Single-Point</i>	14
Gambar 2-5 Modus Kegagalan Uji <i>Bending</i>	15
Gambar 2-6 Modus Kegagalan <i>Skin</i>	16
Gambar 2-7 Modus Kegagalan <i>Core</i>	16
Gambar 3-1 Alur Penelitian.....	17
Gambar 3-2 <i>3D Print</i> Creality3D Ender 6.....	18
Gambar 3-3 Filament PLA+	18
Gambar 3-4 Pompa Vakum	18
Gambar 3-5 <i>Reservoir Pot</i>	19
Gambar 3-6 Timbangan.....	19
Gambar 3-7 <i>Valve</i>	20
Gambar 3-8 <i>Vacuum Bag</i>	20
Gambar 3-9 <i>Infusion Mesh</i>	21
Gambar 3-10 <i>Peel ply</i>	20
Gambar 3-11 Selang	21
Gambar 3-12 Selang Spiral.....	21
Gambar 3-13 <i>Infusion Block</i> (a)bawah (b)atas	22
Gambar 3-14 <i>Sealant Tape</i>	22
Gambar 3-15 Serat Karbon.....	22
Gambar 3-16 Klem	23
Gambar 3-17 Lem ALF	23
Gambar 3-18 <i>Infusion Epoxy Resin</i>	23
Gambar 3-19 <i>Hardener</i>	24
Gambar 3-20 <i>Silicon Mold Release</i>	24
Gambar 3-21 Jangka Sorong	24
Gambar 3-22 Mistar/Penggaris.....	25
Gambar 3-23 Kuas.....	25

Gambar 3-24 <i>Cutter</i>	25
Gambar 3-25 Gunting.....	26
Gambar 3-26 Kaca.....	26
Gambar 3-27 Gelas Plastik dan Pengaduk	27
Gambar 3-28 Dimensi Spesimen.....	27
Gambar 3-29 Susunan Lapisan Komposit.....	28
Gambar 3-30 Skema Lapisan <i>Vacuum Infusion</i>	29
Gambar 3-31 Persiapan Pompa dan Rangkaian selang	30
Gambar 3-32 Pencampuran Lem ALF	30
Gambar 3-33 Pemasangan <i>Sealant Tape</i>	31
Gambar 3-34 Rangkaian <i>Vacuum Infusion</i>	31
Gambar 3-35 Pencampuran Resin	32
Gambar 3-36 Uji <i>Vacuum Infusion</i>	32
Gambar 3-37 Penyerapan Resin	33
Gambar 3-38 Hasil <i>Vacuum Infusion</i>	33
Gambar 3-39 Kebocoran Resin	34
Gambar 4-1 <i>Universal Testing Machine</i>	35
Gambar 4-2 Modus Kegagalan Spesimen A1	37
Gambar 4-3 Modus Kegagalan Spesimen A2	38
Gambar 4-4 Modus Kegagalan Spesimen A3	38
Gambar 4-5 Modus Kegagalan Spesimen B1.....	39
Gambar 4-6 Titik Retakan Spesimen B1	39
Gambar 4-7 Modus Kegagalan Spesimen B2.....	40
Gambar 4-8 Titik Retakan Spesimen B2.....	40
Gambar 4-9 Modus Kegagalan Spesimen B3	41
Gambar 4-10 Titik Retakan Spesimen B3.....	41
Gambar 4-11 Grafik Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i>	44
Gambar 4-12 Grafik Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik.....	45

DAFTAR NOTASI

- σ = Tegangan *bending* maksimal (MPa)
E = Modulus elastisitas *bending* (N/mm^2)
P = Beban yang diberikan (N)
L = jarak antar titik tumpuan (mm)
b = lebar spesimen (mm)
h = tebal spesimen (mm)
 δ = Defleksi (mm)
D = Kekakuan *bending* (Nmm^2)
W = Berat spesimen (gram)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi seiring dengan zaman yang semakin berjalan, kebutuhan manusia semakin banyak, luas, dan mendetail. Salah satu kebutuhan yang diperlukan oleh manusia antara lain dalam bidang material atau bahan. Kebutuhan terhadap material ini diperlukan untuk membuat suatu alat dengan sifat-sifat yang khusus tergantung dengan keperluan atau tujuan alat ini dibuat. Contoh dari sifat material diantaranya kuat, kaku, ringan, lentur, dll. Pada saat ini industri, konstruksi, teknologi, dan otomotif memerlukan material yang memiliki sifat kuat, kaku, ringan, serta biaya pembuatan material yang murah. Untuk mendapatkan material alternatif dengan sifat-sifat tersebut diperlukan pencampuran atau penggabungan beberapa material dikarenakan satu material alam sudah memiliki sifat pasti. Oleh karena itu, untuk mendapatkan material alternatif dibutuhkan penggabungan beberapa material yang dinamakan material komposit.

Komposit merupakan suatu material yang dibuat dari dua atau lebih campuran dengan sifat kimia dan fisika berbeda untuk mendapatkan kekuatan mekanis atau *mechanical properties* yang lebih baik dan menghasilkan sebuah material baru yang memiliki sifat-sifat berbeda dengan material penyusunnya (Balad & Rosul, 2016). Material komposit dapat disebut dengan material baru yang bertujuan untuk memiliki kualitas yang lebih baik daripada material baku. Walaupun komposit adalah material yang diharapkan memiliki kualitas yang lebih baik, namun masih terdapat beberapa kekurangan dari material ini, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menutupi kekurangan tersebut dan tetap menjaga kualitas yang sudah ada pada material tersebut.

3D printing merupakan metode proses pembuatan objek dengan melakukan penambahan material dengan membentuk *layer* satu persatu untuk membuat bentuk pada objek sesuai yang diinginkan secara digital. Metode ini biasa disebut dengan *additive layer manufacturing*. Material yang digunakan pada *3D print*

filament atau disebut juga *Fused Deposition Modeling* (FDM) secara umum menggunakan material ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) dan PLA (*Polylactic Acid*). Kedua material tersebut memiliki keunggulan dan kekurangan karakteristiknya masing-masing. Penggunaan material PLA digunakan karena dapat didapatkan dengan mudah dan proses pencetakan tidak memerlukan suhu yang tinggi dibandingkan dengan material ABS serta hasilnya dapat dibuat dengan cepat dan dengan bentuk yang kompleks.

Pada penelitian sebelumnya, pengujian *bending* pada struktur *ribs* dengan bentuk *honeycomb* dilakukan menggunakan material ABS dengan *infill* dibawah 100%. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan menggunakan material PLA dengan menggunakan *infill* 100% sebagai penelitian lanjut untuk membandingkan kedua aspek tersebut.

Serat karbon (*Carbon Fiber*) merupakan salah satu material penguat yang akan digunakan untuk membuat komposit campuran dengan PLA. Material ini memiliki kelebihan dimana rasio antara kekuatan dan beratnya yang baik.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi *infill* 100% spesimen dan penambahan *skin carbon fiber* terhadap nilai kekakuan *bending*?
2. Bagaimana perbedaan nilai kekakuan *bending* dan *bending* spesifik dari variasi *infill* 20% dan 100% dengan PLA?

1.3 Batasan Masalah

1. Bagian *core* dan *ribs* menggunakan material PLA dengan pelapisan *skin* menggunakan *carbon fiber* dengan penempelan menggunakan metode *vacuum infusion*.
2. Spesimen dibuat menggunakan mesin FDM 3D *print* dengan parameter *infill* 100%.
3. Ukuran dari spesimen bagian *core* dengan tebal 5 mm dan *ribs* 15 mm serta *skin carbon fiber* sebanyak satu lembar.
4. *Ribs* berbentuk *honeycomb* atau segi enam (hexagon).

5. Pengujian mekanik yang dilakukan adalah uji *bending* menggunakan standar pengujian ASTM C393.
6. Data spesimen dengan *infill* 20% dan 50% menggunakan data penelitian sebelumnya.
7. Jenis dan tipe *carbon fiber* diabaikan.
8. Resin dan *hardener* yang digunakan khusus untuk proses *vacuum infusion*.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh dari hasil 3D *print* dengan parameter *infill* 100% dan penambahan *skin carbon fiber* terhadap kekakuan *bending*.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Mengetahui sifat mekanik dari spesimen
2. Mengetahui cara pelapisan *carbon fiber* menggunakan metode *vacuum infusion* dengan baik dan benar.
3. Mengetahui pengaruh pemberian *skin* pada *core* 3D *print* dengan *infill* 100%.
4. Mengetahui nilai kekakuan *bending* nilai kekakuan *bending* spesifik dari hasil pengujian.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Bab ini meliputi penjelasan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini, terdapat kajian pustaka terkait dasar teori yang menjadi dasar dari pembuatan skripsi.

BAB III Metode Penelitian

Bab ini mengandung isi diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, prosedur penelitian, dan pengujian spesimen.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Dalam BAB IV terdapat pembahasan yang didalamnya membahas terkait analisa data, hasil pengujian, dan penampilan daripada grafik hasil pengujian.

BAB V Penutup

Pada bagian ini berisikan tentang kesimpulan dan saran terkait penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Sumber pertama yang melandasi penelitian ini dilaksanakan adalah pembahasan mengenai penelitian lanjutan terkait “pengaruh penambahan *skin carbon* terhadap kekakuan *bending* 3D printed ABS honeycomb ribs” (Faizun, 2022). Pada penelitian sebelumnya, penulis meneliti spesimen struktur *core* dengan *honeycomb ribs* menggunakan bahan ABS dengan parameter *print infill pattern gyroid 20%* dengan dimensi sesuai standar uji ASTM C393 dan penggunaan *skin carbon fiber* sebanyak satu lapis. Variasi dari penelitian sebelumnya antara lain tebal dari *honeycomb ribs* sebesar 1 mm, 3 mm, 5 mm dan variasi diameter *honeycomb ribs* sebesar 10 mm, 20 mm, dan 30 mm. Hal yang dianalisa dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan spesimen yang menggunakan *skin* dengan yang tidak diberi terhadap perubahan bentuk dan nilai kekakuan setelah dilakukan pengujian *bending*. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa perhitungan beban maksimal, tegangan *bending*, dan kekakuan *bending* pada spesimen yang menggunakan *skin carbon fiber* satu sisi memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai spesimen yang tidak menggunakan *skin carbon fiber* satu lapis pada satu sisi (Faizun, 2022).

Sumber kedua adalah artikel penelitian berjudul “Kaji Eksperimental Sifat Mekanik *Honeycomb Sandwich* Komposit Serat Karbon dengan Uji *Bending* “. Pada penelitian tersebut, didapatkan bahwa spesimen uji yang telah dibuat terdiri dari struktur *honeycomb sandwich* berbahan komposit serat karbon dengan variasi jumlah lapisan serat karbon dan penggunaan proses pemanasan pada spesimen uji. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa spesimen dengan ketebalan dinding sel inti 2 lapis serat karbon dan resin epoxy yang dipanaskan dapat menahan beban maksimum yang lebih baik dibandingkan spesimen lainnya. Selain itu, spesimen dengan ketebalan dinding sel inti 2 lapis serat karbon dan resin epoxy yang dipanaskan memiliki kekuatan lentur tertinggi dibandingkan spesimen lainnya. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan lapisan

serat karbon dan dilakukannya proses pemanasan terhadap resin epoxy dapat menaikkan nilai sifat mekanik dari material tersebut (Marsono, Anggraeni, & Faisal, 2021).

Kajian pustaka ketiga didapat dari penelitian “Pengaruh Prosentase *Infill* pada Proses 3D *Printing* FDM terhadap Sifat Mekanik”. Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh dari prosentase *infill* pada material 3D *print* terhadap sifat mekaniknya menggunakan material PLA+. Parameter yang digunakan dalam mencetak produk 3D antara lain suhu ekstruder 215°C dan suhu *bed* sebesar 60°C dengan variasi *infill* 60%, 80%, dan 100%. Spesimen yang dibuat memiliki ukuran sesuai dengan standar ASTM D638 Tipe I yakni memiliki ketebalan 7 mm untuk menguji kekuatan sampel uji. Hasil dari pengujian yang dilakukan didapatkan bahwa seiring dengan meningkatnya *infill* yang digunakan, maka massa akan meningkat. Selain itu, dengan semakin tingginya *infill* didapatkan nilai kekuatan yang lebih tinggi pula dan dapat dikatakan peningkatan kekuatan yang terjadi linier seiring dengan peningkatan prosentasi *infill* pada material uji (Rochmad Eko P.U. Al, 2021).

Sumber selanjutnya adalah penelitian berjudul “Analisis Struktur Heksagonal Terhadap Bentuk Sarang Lebah”. Penelitian ini merujuk pada sarang yang dibangun lebah memiliki struktur heksagonal atau segi enam. Penggunaan dinding berbentuk heksagonal pada sarang lebah ternyata dapat meminimalkan atau mengurangi jumlah bahan bangunan yang diperlukan agar lebah mendapatkan kapasitas ruang yang maksimal. Selain itu, dengan kapasitas yang sama, penggunaan struktur berbentuk *honeycomb* memiliki keliling paling kecil dibandingkan bentuk lain (Meiwandari & Sriyanti, 2019)

Kajian pustaka berikutnya terkait bahan komposit *sandwich* dari bahan PLA yang dibuat menggunakan proses 3D *Printing* dan digunakan sebagai *core* kemudian dilapisi menggunakan bahan *fiberglass* sebagai dari bagian *skin*. Lapisan *skin* digabungkan menggunakan metode *vacuum infusion*. Material tersebut dibuat dengan beberapa variasi lapisan, diantaranya 2, 3, dan 4 lapis *fiberglass*. Tujuan dari penelitian adalah untuk mencari besar nilai kekakuan dari setiap material kemudian akan dibandingkan dari ketiga material tersebut mana yang memiliki nilai kekakuan tertinggi. Untuk mencari nilai kekakuan dari material tersebut

dilakukan pengujian *bending*. Hasil dari pengujian *bending* didapatkan bahwa material yang menggunakan variasi 2 lapis *fiberglass* sebagai *skin* memiliki nilai kekakuan tertinggi sebesar 4.131 *GPa* (Olivianides, 2021).

Sumber berikutnya sebagai kajian pustaka adalah penelitian terkait komposit *sandwich* menggunakan gabungan dari bahan PLA sebagai *core* dan *fiberglass* sebagai *skin* pada bagian atas dan bawah material. Penelitian ini menguji pengaruh ketebalan *core* dengan variasi 5 mm, 10 mm, dan 15 mm. ketiga variasi tersebut memiliki persamaan parameter pada proses pencetakan menggunakan mesin 3D *printing* yakni berbahan PLA (*Poly-lactic Acid*) dengan *infill* 20% dan *fill pattern honeycomb*. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian *bending* untuk mendapatkan nilai kekakuan *bending* dan didapatkan hasil bahwa nilai kekakuan tertinggi terdapat pada material dengan variasi *core* 15 mm yang memiliki nilai kekakuan *bending* sebesar 5,7 *GPa*. Dari setiap material yang diberi *skin* terjadi perubahan dimensi dan berat rata-rata sebesar 5-6 gram (Roihan, 2022).

Kajian pustaka berikutnya membahas tentang pengaruh *infill* terhadap sifat mekanik dari produk hasil 3D *print*. Material yang digunakan terdiri dari PLA, ABS, PETG, Nylon, *Polycarbonate*, dan ASA filamen. Spesimen dicetak dengan rentang *infill* dari 15% hingga 100% untuk dilakukan pengujian tarik. Hasil dari pengujian didapatkan bahwa material Nylon memiliki kekuatan tarik tertinggi sebesar 69 *Mpa*, sedangkan material PLA memiliki kekuatan tarik terkecil sebesar 33 *Mpa*. Seiring dengan berkurangnya persentase *infill* pada semua material maka nilai kekuatan tariknya juga semakin berkurang. Hal ini mengindikasikan bahwa persentase *infill* berpengaruh terhadap kekuatan tarik (Johnson & French, 2018).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Komposit dalam pengertiannya adalah material gabungan yang terdiri dari dua atau lebih material yang dikombinasikan pada skala makroskopik untuk membentuk material ketiga yang berguna. Keunggulan dari material komposit jika dibuat dengan baik akan menghasilkan produk yang lebih berkualitas dibandingkan dengan menggunakan material yang terdiri dari satu material.

Beberapa sifat mekanik yang dapat ditingkatkan melalui penggunaan material komposit antara lain:

- Kekuatan
- Kekakuan
- Ketahanan terhadap korosi
- Ketahanan aus
- Penampilan
- Massa
- Konduktivitas Termal
- Insulasi Termal

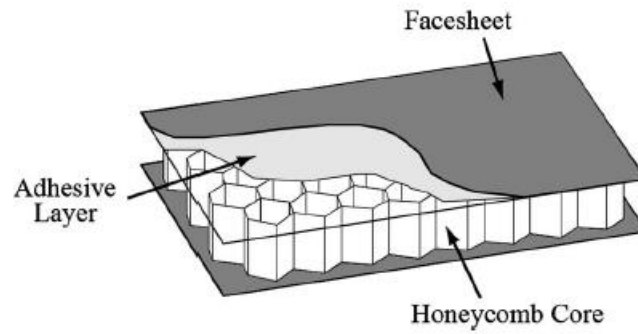
Secara umum, tidak semua sifat tersebut dapat ditingkatkan bersamaan melainkan memerlukan beberapa peningkatan dengan syarat tertentu. Faktanya, beberapa sifat saling bertolak belakang satu sama yang lainnya (Jones, 1998).

2.2.2 Sandwich Komposit

Komposit *sandwich* merupakan material komposit yang menggunakan lapisan *skin* yang terdiri dari satu atau lebih lapisan luar berkekuatan tinggi pada permukaan material dan melapisi lapisan *core* dengan tingkat *density* yang rendah (Hoff & Mautner, 1944).

Tujuan dari penggunaan material komposit *sandwich* adalah untuk mendapatkan efisiensi berat optimal dengan nilai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Material ini sangat sesuai digunakan untuk menahan beban impak, lenturm serta dapat meredam atau meminimalisir getaran dan suara.

Komposit *sandwich* pada prinsipnya memiliki dua bagian yang terdiri dari bagian luar atau bagian atas dan bawah yang disebut *skin* dan bagian dalam atau tengah yang disebut *core* (Widiyono *et al*, 2021).



Gambar 2-1 Struktur *Honeycomb Sandwich*

2.2.2.1 Core

Core dari struktur *sandwich* merupakan bagian inti dan memiliki fungsi sebagai penopang dan pemisah antara lembaran serat sehingga membuat material komposit *sandwich* dapat mencapai kekuatan lentur yang diinginkan. Inti *core* yang menggunakan bentuk sarang lebah atau *honeycomb* memiliki efisiensi terhadap berat yang baik serta membuat efisiensi struktural selain karena bentuk ini populer (Marsono, Ali, & Luwis, 2019).

2.2.2.2 Skin

Bagian *skin* merupakan bagian paling luar yang menyelimuti bagian *core* dalam struktur komposit *sandwich*. *Skin* digabungkan atau direkatkan dengan permukaan *core* menggunakan bahan resin ditambah dengan katalis atau *hardener* menggunakan metode *vacuum infusion*, *vacuum bag* maupun *hand-layup* agar merekat dengan baik. Fungsi dari *skin* sendiri adalah untuk memperkuat bagian *core* pada sifat mekanik *tensile* serta *compressive stress* (Prayoga, 2018).

Contoh penggunaan material *skin* yang banyak digunakan untuk pembuatan komposit *sandwich* antara lain serat karbon, serat kaca atau *fiberglass*, dan beberapa serat lainnya. Dalam pemilihan material *skin*, terdapat beberapa kriteria yang digunakan dalam pemilihannya diantaranya kemudahan mendapatkan material, harga dari material, estetika, sifat mekanis material, dan kesesuaian material *skin* dengan *core* yang digunakan.

2.2.2.3 Matriks

Matriks merupakan bahan yang digunakan pada struktur komposit *sandwich* sebagai bahan pengikat antara bagian *skin* dan bagian *core* serta sebagai pelindung dan *reinforcement* dari komposit yang dimana fungsi dari bagian komposit ini adalah sebagai penanggung beban utama (M & Syarif, 2018).

Matriks yang biasa digunakan dalam pembuatan polimer komposit *sandwich* yakni *Epoxy* resin dan *Polyester*. *Polyester* memiliki fungsi kritis sebagai penguat dan penahan bentuk dari komponen komposit serta menjadi penahan beban pada penguat serat. *Polyester* melindungi serat dari degradasi akibat abrasi yang ditimbulkan oleh lingkungan sekitarnya (M. Davallo, 2010). Untuk *epoxy* resin yang digunakan sebagai *matriks* memiliki tingkat kekentalan yang lebih tinggi dan diperlukan perlakuan khusus untuk membuatnya dapat menyebar dengan merata pada komponen komposit. *Epoxy* resin memiliki sifat mekanis yang baik, daya rekat yang tinggi, dan daya tahan yang baik terhadap bahan kimia dan panas. Penggunaan dari bahan ini cukup beragam, dimana bahan ini digunakan pada penguat serat dan material, perekat, pelapis dengan performa yang baik, dan bahan enkapsulasi (Jin, Xiang, & Soo-Jin, 2015).

2.2.3 3D Print

3D *print* merupakan suatu proses pencetakan otomatis yang termasuk kedalam *additive manufacturing*. Prinsip kerja dari metode ini yaitu proses pencetakan dilakukan dengan cara menambahkan material bertahap dengan lapisan berlapis lapis dan setiap lapisan memiliki ukuran ketebalan yang sama untuk mendapatkan produk fisik 3 dimensi. Proses pencetakan dapat dilakukan ketika sudah terdapat program 3D CAD yang dibuat secara digital, program ini yang merepresentasikan produk yang akan dibuat (Gebhardt, 2011).

2.2.3.1 Polylactic Acid (PLA/PLA+)

Dalam melakukan pencetakan 3D, material yang umum digunakan adalah Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) dan Polylactic acid (PLA). Dari beberapa penggunaan material tersebut, PLA berbahan dasar *bio-based* polimer yang

didapatkan dari turunan agrikultur seperti jagung atau tepung sebagai bahannya (Vidakis, et al., 2021).

2.2.4 Struktur *Honeycomb*

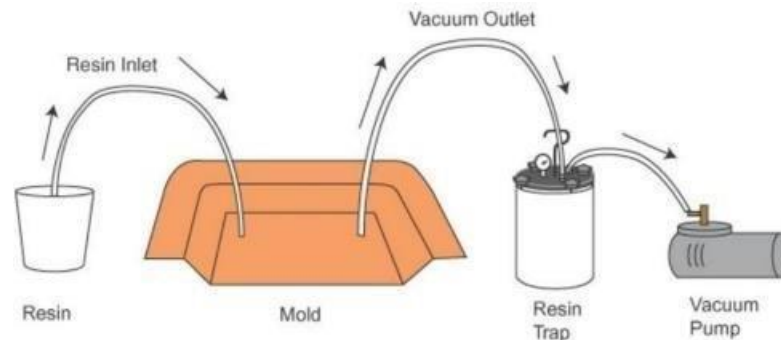
Struktur material yang dibuat oleh kawanan lebah pada sarangnya berbentuk segienam atau heksagonal memiliki beberapa keunggulan diantaranya penggunaan dari bentuk heksagonal pada struktur dinding meminimalkan penggunaan bahan bangunan sehingga mendapatkan kapasitas ruang yang maksimal, karena dalam kapasitas yang sama, bentuk segienam memiliki keliling paling kecil dibandingkan bentuk lain. Bentuk geometris dari sarang lebah ini jika dihubungkan satu sama lainnya menghasilkan kombinasi ruang yang efektif. Pada pengujian bentuk geometris sarang lebah dengan diberi tekanan yang tinggi pada bahan nutride boroun dan lonsdaleite didapatkan material yang super keras, bahkan melebihi daripada intan (Meiwandari & Sriyanti, 2019).

2.2.5 *Vacuum Infusion*

Vacuum infusion merupakan proses pencetakan tertutup yang digunakan untuk proses manufaktur dengan performa tinggi dan skala besar namun dengan biaya peralatan yang rendah. Kemampuan dari proses ini yaitu memiliki potensi besar dalam mengurangi biaya dengan meningkatkan prediktibilitas dan pada akhirnya dapat mencapai produksi yang konsisten. Teknik ini menggunakan tekanan vakum untuk mengantarkan resin pada material secara merata sesuai bentuk cetakan.

Pada perbandingan antara metode *vacuum infusion* dengan *hand-lay-up* dan *vacuum bagging* yang dilihat secara mikroskopis, terlihat bahwa metode *vacuum infusion* menyebar secara merata dan tidak ditemukan sisa gas atau senyawa lainnya selain resin. Kemudian pada perbandingan *ultimate tensile strength* (UTS), *vacuum infusion* memiliki nilai UTS paling tinggi dengan nilai rerata 346,15 MPa, sedangkan pada proses *hand lay-up* memiliki nilai rerata 260,982 MPa dan *vacumm bag* memiliki nilai rerata 271,298 MPa. Hal ini pun berbanding lurus dengan nilai modulus elastisitas dimana hasil pada metode *vacuum infusion* memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan metode lainnya. Hasil ini

menyimpulkan bahwa metode yang digunakan dalam proses penambahan *matriks* menggunakan teknik *vacuum infusion* lebih efektif dibandingkan dengan metode lainnya (Abdurohman, T, N, & Teten, 2018) .



Gambar 2-2 Metode *Vacuum Infusion*

Kelebihan dari proses yang digunakan ini, antara lain:

1. Resin dapat menyebar dengan maksimal;
2. Hasil proses memiliki kualitas yang baik dan lebih rapih;
3. Penambahan bobot pada produk cenderung lebih ringan dibandingkan dengan penggunaan metode lainnya;
4. Memaksimalkan sifat mekanis pada produk.

Kekurangan dari penggunaan metode *vacuum infusion*, yakni:

1. Membutuhkan peralatan pendukung yang lebih banyak dibandingkan metode lain;
2. Biaya yang diperlukan lebih banyak;
3. Dalam proses pengerjaan membutuhkan keterampilan yang memadai, karena diperlukan ketelitian agar hasil yang didapatkan bisa maksimal.

2.2.6 Pengujian Kekakuan (*Bending*)

Pengujian *bending* atau sering disebut uji lentur adalah pengujian material yang dilakukan dengan cara memberikan beban berupa momen *bending* yang berakibat spesimen uji mengalami defleksi atau bengkok. Pengujian *bending* pada material komposit dilakukan sebab pada umumnya material komposit memiliki kelemahan dalam beban *bending* yang terletak pada bagian yang terdapat

ketidakrataan antara serat dan *matriks*. Ketika terjadi pembebanan *bending*, bagian inilah yang akan terjadi keretakan lebih awal akibat tidak mampu menahan tegangan tarik pada bagian bawah. Pengujian ini dapat dijadikan sebagai evaluasi yang komprehensif terhadap sifat mekanik komposit (Kurniawan Nasution & Arifin, 2019).



Gambar 2-3 Pengujian 3-Point Bending

Pengujian yang dilakukan akan menghasilkan data berupa nilai beban maksimal, defleksi (perpindahan relatif pada ujung spesimen yang ditekuk), dan nilai tegangan *bending*. Data yang didapatkan kemudian diolah menggunakan perhitungan untuk mencari nilai kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan rumus berikut:

- Tegangan Maksimal

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

- Kekakuan *Bending*

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

- Kekakuan *Bending* Spesifik

$$D.Spesifik = \frac{D}{w} \quad (2.3)$$

Keterangan:

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

P = Beban (N)

L = Jarak antar titik tumpu (mm)

δ = Defleksi (mm)

I = Momen inersia (kgm)

D = Kekakuan *bending* ($N \cdot mm^2$)

σ = Tegangan *bending* (MPa)

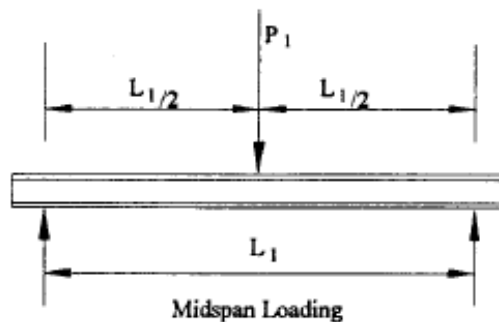
W = Berat (gr)

h = Ketebalan benda uji (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

2.2.6.1 ASTM C393

Terdapat berbagai macam cara pengujian *bending* yang telah terstandarisasi diantaranya adalah uji *bending* dengan standar ASTM C393. Metode ini digunakan untuk mencari sifat mekanik geser pada inti konstruksi *sandwich* datar berdasar lenturan balok. Untuk mendapatkan sifat geser, pengujian *bending* dilakukan dengan pembebanan pada 1 atau 2 titik. Konfigurasi standar saat pengujian yakni jarak antara penopang spesimen sebesar 150 mm.

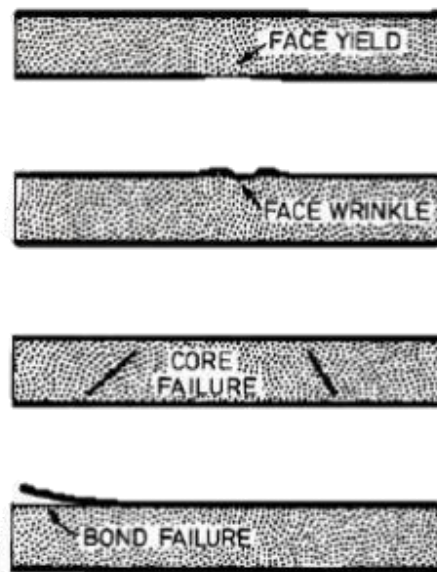


Gambar 2-4 Pembebanan *Single-Point*

2.2.7 Modus Kegagalan Pengujian *Bending* Komposit *Sandwich*

Struktur komposit *sandwich* mengalami berbagai macam beban mekanik diantaranya beban tarik, tekan, geser, lentur, dan puntir. Setiap struktur memiliki batas beban akibat pemberian beban berlebih sehingga menyebabkan kegagalan pada material. Beberapa kegagalan yang terjadi akibat beban berlebih pada pengujian *bending* tersebut antara lain terdiri dari 4 macam, yaitu kegagalan *face yield/ micro buckling*, *core shear*, *core crushing*, dan *face wrinkle*.

Kegagalan *face yield* pada umumnya terjadi pada bagian *skin* komposit *sandwich* yang relatif tipis dibandingkan dengan bagian *core*. Kegagalan ini menyebabkan penurunan kekuatan *bending* secara drastis. Kegagalan *core shear* terjadi pada balok *sandwich* dengan *skin* yang relatif tebal dengan *span* yang lebih pendek. Kegagalan ini berfokus pada lemahnya kekuatan *core* yang digunakan. Kegagalan *face wrinkle* terjadi ketika balok *sandwich* pada bagian *core* memiliki ukuran ketebalan yang relatif lebih tebal dibandingkan dengan ketebalan *skin* dan kekuatan *core* yang rendah. Kegagalan ini menyebabkan defleksi yang besar jika dibandingkan dengan modus kegagalan lainnya. Kegagalan *bond failure* terjadi ketika terlepasnya *skin* dengan *core* akibat ketidakmampuan menahan beban geser (Carlsson & G.A., 2010).



Gambar 2-5 Modus Kegagalan Uji *Bending*

Sedangkan menurut (Petras, 1998), modus kegagalan dari struktur *honeycomb sandwich* komposit terdiri dari kegagalan *skin* dan kegagalan *core*. Yang dimana kegagalan *skin* antara lain:

1. *Face yield* yang terjadi akibat tegangan normal nilainya lebih besar dari tegangan luluh material dan apabila material dari *skin* memiliki sifat getas, maka kegagalan *face yield* kemungkinan besar dapat terjadi pada bagian atas disebabkan bagian atas lebih rentan terhadap tegangan tekan.

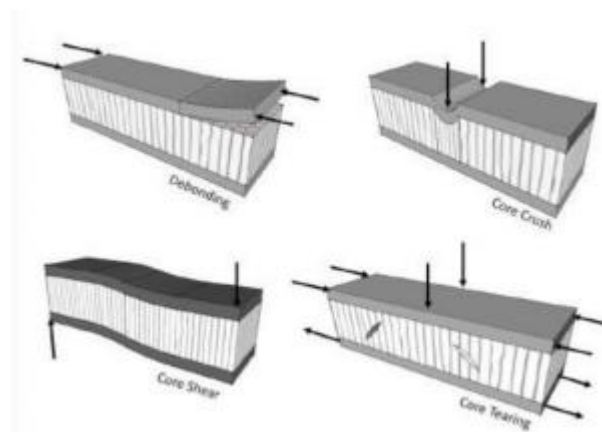
2. *Face wrinkling* adalah modus kegagalan pada *skin* yang dapat terjadi akibat fenomena *buckling* pada bagian *skin* atas akibat tegangan tekan dan kurangnya dukungan dari *core* karena dimensi struktur atau karena densitas yang rendah. *Buckling* dapat terjadi kearah inti maupun keluar tergantung dengan kekakuan inti dalam kompresi dan kekuatan perekat.



Gambar 2-6 Modus Kegagalan Skin

Selain itu, untuk modus kegagalan *core* terdiri dari 4 jenis diantaranya:

1. *Debonding* merupakan kegagalan yang terjadi ketika terlepasnya bagian *skin* dengan *core*.
2. *Core crush* adalah salah satu kegagalan yang terjadi pada *core* diakibatkan oleh deformasi pada bagian tengah *core* akibat tekanan dari pembebanan. Kegagalan ini dapat terlihat ketika bentuk spesimen pada bagian *core* berubah bentuk berupa lekukan pada bagian yang diberi tegangan normal.
3. *Core shear* adalah bentuk kegagalan pada *core* yang terjadi deformasi kearah vertikal disebabkan beban geser.
4. *Core tearing* salah satu bentuk kegagalan *core* pada komposit *sandwich* ketika *core* patah akibat gabungan tegangan normal dan tegangan geser yang

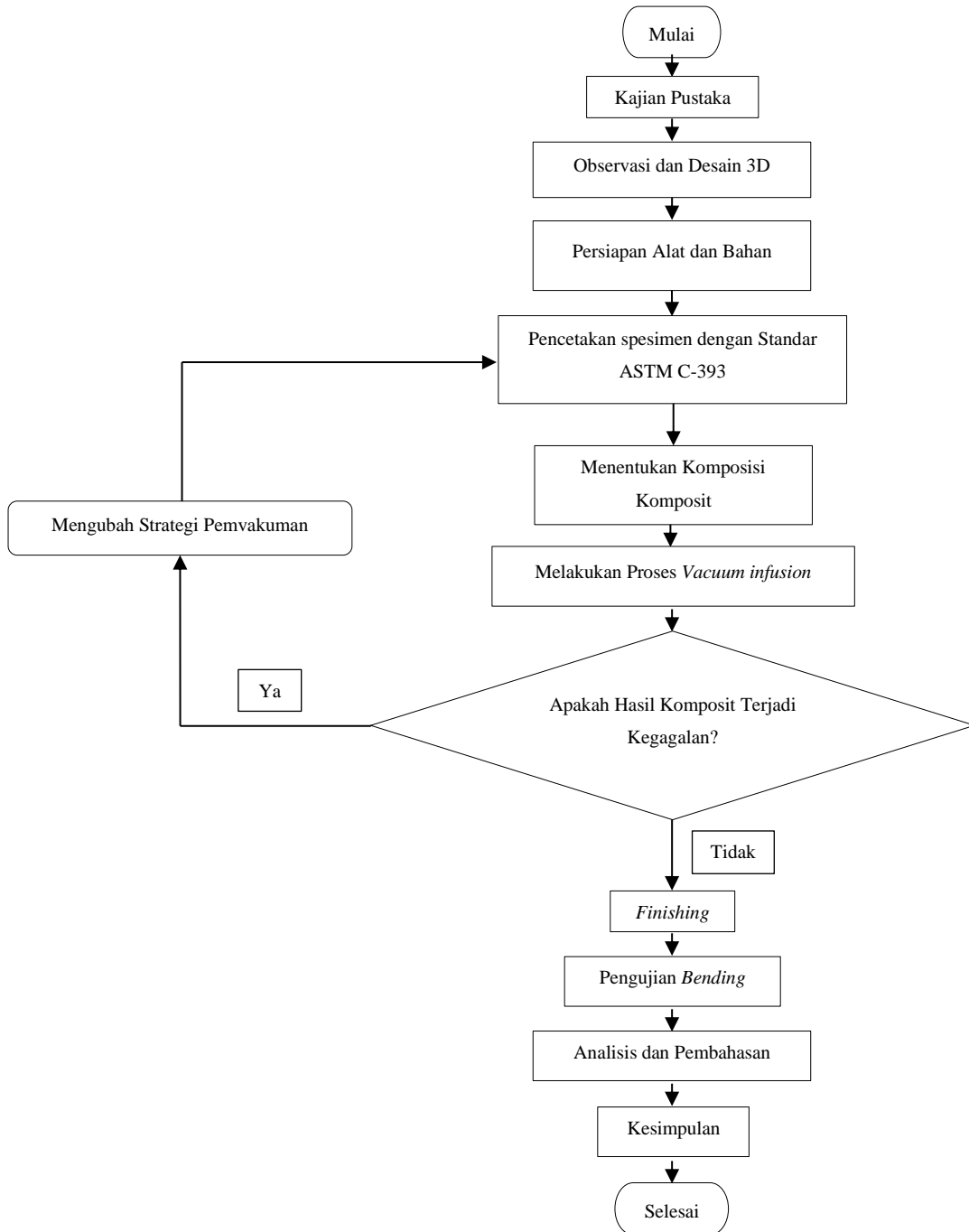


Gambar 2-7 Modus Kegagalan Core

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

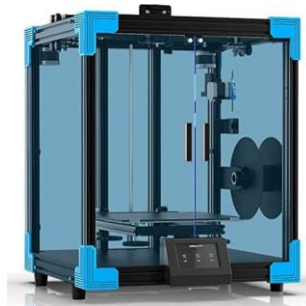


Gambar 3-1 Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

1. 3D Printing

Mesin yang digunakan untuk mencetak spesimen adalah mesin 3D *print* dengan merk Creality3D dengan seri Ender 6 sesuai dengan yang ditunjukkan pada gambar 3-2



Gambar 3-2 3D Print Creality3D Ender 6

2. Filamen PLA+

Bahan yang digunakan untuk membuat bagian *core* pada spesimen menggunakan material PLA+ atau *Polylactic acid* sesuai pada gambar 3-3 yang akan diolah dalam mesin 3D *print* untuk menjadi struktur *core*.



Gambar 3-3 Filament PLA+

3. Vacuum Pump

Pada gambar 3-4 dapat dilihat alat vakum yang bertujuan untuk menyedot udara pada bagian *vacuum bag* dan memberikan tekanan agar *vacuum bag* dapat menyusut mengikuti bentuk benda.



Gambar 3-4 Pompa Vakum

4. *Reservoir Pot*

Fungsi alat yang ditunjukkan pada gambar 3-5 adalah untuk menampung sisa resin berlebih dari cetakan agar tidak tersedot kedalam pompa yang bisa mengakibatkan kerusakan pompa. Selain itu, terdapat barometer sebagai pengukur tekanan yang terjadi dalam *vacuum bag*.



Gambar 3-5 *Reservoir Pot*

5. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat dari spesimen sebelum dan sesudah pelapisan serat karbon dan berat takaran dari resin dan *hardener*. Ditunjukkan pada gambar 3-6.



Gambar 3-6 Timbangan

6. *Valve*

Valve atau kran digunakan untuk membuka tutup jalur aliran resin dan menjaga *vacuum bag* agar tetap menekan bentuk spesimen. Bentuk dari *valve* ditunjukkan pada gambar 3-7



Gambar 3-7 *Valve*

7. *Vacuum Bag*

Vacuum bag memiliki fungsi sebagai tempat peletakan spesimen komposit untuk proses *vacuum infusion*. Seperti terlihat dalam gambar 3-8, alat ini berbahan plastik tahan panas yang cukup kuat untuk menahan tekanan yang diberikan pompa dan menahan panas yang terjadi ketika resin mulai mengeras dan menimbulkan panas.



Gambar 3-8 *Vacuum Bag*

8. *Peel ply* atau kain Nylon

Pada gambar 3-9 merupakan bahan yang diperlukan sebagai lapisan pembatas antara serat karbon dengan *infusion mesh* atau paranet. Bahan ini digunakan untuk memudahkan proses pelepasan *infusion mesh* dari spesimen.



Gambar 3-9 *Peel ply*

9. *Infusion Mesh* atau paranet

Fungsi dari bahan yang ditunjukkan pada gambar 3-10 ini untuk meratakan resin agar tersebar merata sesuai dengan cetakan didalam *vacuum bag*. *Infusion mesh* atau paranet diletakan dibagian antara plastik *vacuum bag* dengan *peel ply*.



Gambar 3-10 *Infusion Mesh*

10. Selang

Selang yang berukuran 5/8inch ditunjukkan pada gambar 3-11 digunakan untuk mengalirkan resin dan sambungan pompa *vacuum*.



Gambar 3-11 Selang

11. Selang Spiral

Selang spiral pada gambar 3-12 digunakan untuk mengalirkan resin dan membantu penyebaran resin agar tersebar merata dalam *vacuum bag* sehingga dapat menjangkau seluruh bagian spesimen.



Gambar 3-12 Selang Spiral

12. *Infusion Block*

Kegunaan alat yang ditunjukkan pada gambar 3-13 sebagai tempat dari peletakan ujung selang agar memudahkan dalam penyambungan selang dalam *vacuum bag* dan tempat dari selang spiral agar dapat sejajar didalam *vacuum bag*.



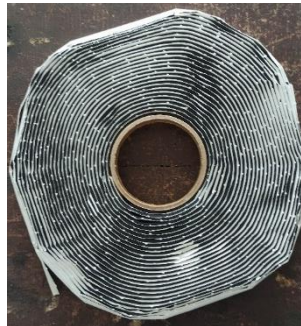
(a)

(b)

Gambar 3-13 *Infusion Block* (a)bawah (b)atas

13. *Sealant Tape*

Gambar 3-14 yang ditunjukkan dibawah merupakan perekat yang berfungsi sebagai perekat *vacuum bag* agar tidak terjadi kebocoran udara yang menjaga tekanan didalam plastik *vacuum*.



Gambar 3-14 *Sealant Tape*

14. Serat Karbon

Pada gambar 3-15 dibawah merupakan serat karbon yang digunakan sebagai *skin* pada bagian struktur komposit *sandwich*.



Gambar 3-15 Serat Karbon

15. Klem

Klem pada gambar 3-16 digunakan untuk mengunci selang agar kuat menahan pada tempatnya dan menjaga agar tidak terjadi kebocoran yang bisa menyebabkan kegagalan dalam proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-16 Klem

16. Lem ALF

Lem perekat yang digunakan untuk menempelkan *skin* berbahan serat karbon dengan *core* berbahan PLA digunakan lem ALF yang berbasis resin epoxy agar antara *skin* dengan *core* dapat merekat kuat. Lem ini digunakan sebelum proses pemvakuman agar *skin* tidak mudah bergeser, Gambar 3-17 menunjukkan bentuk dari lem ALF.



Gambar 3-17 Lem ALF

17. Resin Epoxy

Gambar 3-18 menunjukkan resin *epoxy* yang digunakan sebagai media perekat diantara lapisan serat karbon yang digunakan sebagai *skin* dengan *core* berbahan PLA.



Gambar 3-18 *Infusion Epoxy Resin*

18. *Hardener*

Bahan pada gambar 3-19 ini digunakan sebagai campuran dari resin *epoxy* yang dipakai agar proses pengerasan resin dapat maksimal dan cepat.



Gambar 3-19 *Hardener*

19. *Silicon mold release*

Bahan yang ditunjukkan pada gambar 3-20 ini berbentuk kaleng aerosol yang cara penggunaannya cukup disemprotkan pada bagian yang diinginkan. Kegunaan bahan ini adalah untuk mempermudah pelepasan spesimen dengan alas atau cetakan setelah proses pemvakuman.



Gambar 3-20 *Silicon Mold Release*

20. Jangka Sorong

Alat pada gambar 3-21 ini digunakan untuk mengukur dimensi panjang, lebar, tinggi dari spesimen yang digunakan. Satuan ukuran yang digunakan alat ukur ini adalah milimeter.



Gambar 3-21 Jangka Sorong

21. Mistar

Mistar atau penggaris pada gambar 3-22 digunakan untuk mengukur panjang dimensi spesimen apabila jangka sorong tidak mampu mencapai panjang spesimen yang diperlukan. Satuan ukuran dari mistar ini adalah centimeter.



Gambar 3-22 Mistar/Penggaris

22. Kuas

Kuas merupakan bahan yang digunakan untuk membantu atau memudahkan mencampur dan mengoleskan lem AIF pada spesimen yang akan dilakukan pengeleman.



Gambar 3-23 Kuas

23. Cutter

Gambar 3-24 menunjukkan alat *cutter* yang digunakan untuk memotong dan merapihkan bagian spesimen yang telah dilakukan proses *vacuum*.



Gambar 3-24 Cutter

24. Gunting

Pada gambar 3-25 adalah alat berupa gunting yang digunakan untuk menggunting bahan-bahan seperti *peel-ply*, *infusion mesh*, dan *vacuum bag* sesuai dengan ukuran yang diperlukan.



Gambar 3-25 Gunting

25. Kaca

Kaca yang terdapat pada gambar 3-26 digunakan sebagai alas untuk proses *vacuum infusion* agar permukaan cetakan rata dan memudahkan proses *vacuum* serta membantu agar tidak terjadi kebocoran resin yang masuk kedalam bagian *ribs* yang menyebabkan penambahan berat pada spesimen.



Gambar 3-26 Kaca

26. Gelas Plastik dan pengaduk

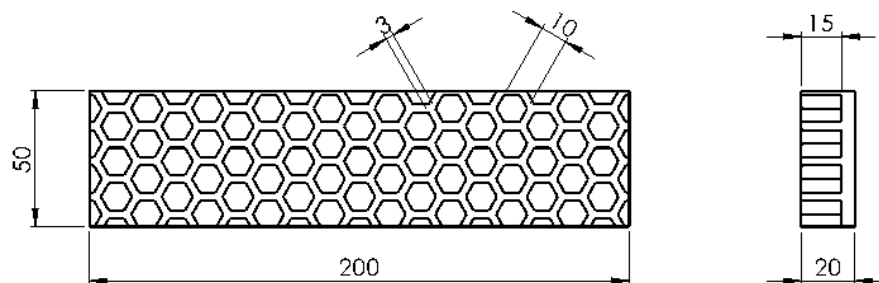
Pada gambar 3-27 merupakan gelas berbahan plastik dilengkapi dengan stik kayu yang digunakan sebagai wadah dan pengaduk untuk mencampur resin *epoxy* dengan *hardener* dan mencampur lem ALF.



Gambar 3-27 Gelas Plastik dan Pengaduk

3.3 Dimensi Spesimen

Pengujian *bending* yang dilakukan menggunakan standar pengujian ASTM C393 pada spesimen dengan struktur komposit *sandwich*. Bahan yang digunakan pada *core* adalah PLA+ dengan parameter pencetakan *infill* 100%.

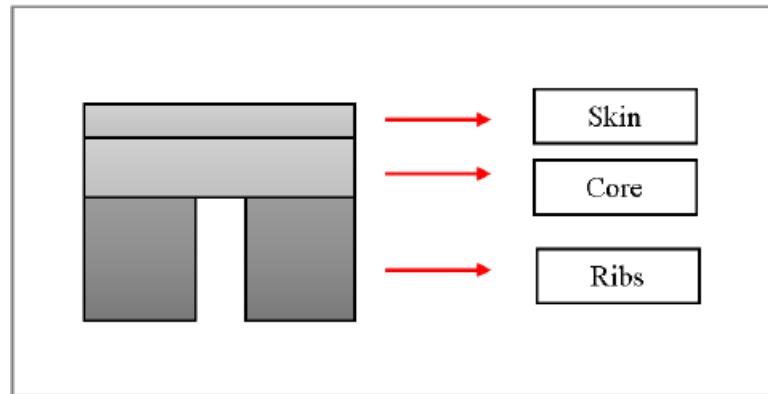


Gambar 3-28 Dimensi Spesimen

Panjang dari spesimen adalah sebesar 200 mm kemudian lebar 50 mm dan tebal keseluruhan 20 mm. Selain itu, untuk tebal *ribs* sebesar 15 mm dan untuk bentuk heksagonal atau *honeycomb* memiliki ukuran diameter 10 mm dan jarak

antar *honeycomb* sebesar 3 mm seperti yang dapat dilihat pada gambar 3-28. Pembuatan jumlah spesimen sebanyak 6 spesimen yang terdiri dari 3 tanpa pemberian *skin* serat karbon dan 3 dengan *skin* serat karbon untuk dijadikan pembandingan dari hasil pengujian.

3.3.1 Susunan Lapisan Komposit



Gambar 3-29 Susunan Lapisan Komposit

Susunan dari setiap lapisan komposit terdiri dari tiga bagian yakni *skin* yang menggunakan serat karbon menempel pada bagian *core* pada bagian lapisan kedua dan yang terakhir adalah bagian *ribs* yang memiliki bentuk *honeycomb* atau sarang lebah yang terdapat enam sisi dalam bentuk *ribs* nya. Material *core* dan *ribs* menggunakan bahan PLA dan dibentuk menggunakan proses pencetakan 3D. *Ribs* disini dapat disebut juga dengan *core* karena menjadi satu kesatuan.

3.4 Proses Pengerjaan

Proses pengerjaan dilakukan melalui beberapa langkah-langkah yang dibagi menjadi beberapa bagian dimulai dari pembuatan spesimen *core* menggunakan mesin 3D *print* kemudian dilanjutkan dengan proses *vacuum infusion* untuk memberi lapisan *skin* berbahan serat karbon dengan bantuan resin dan *hardener*.

3.4.1 Pembuatan *Ribs* dengan 3D *Printing*

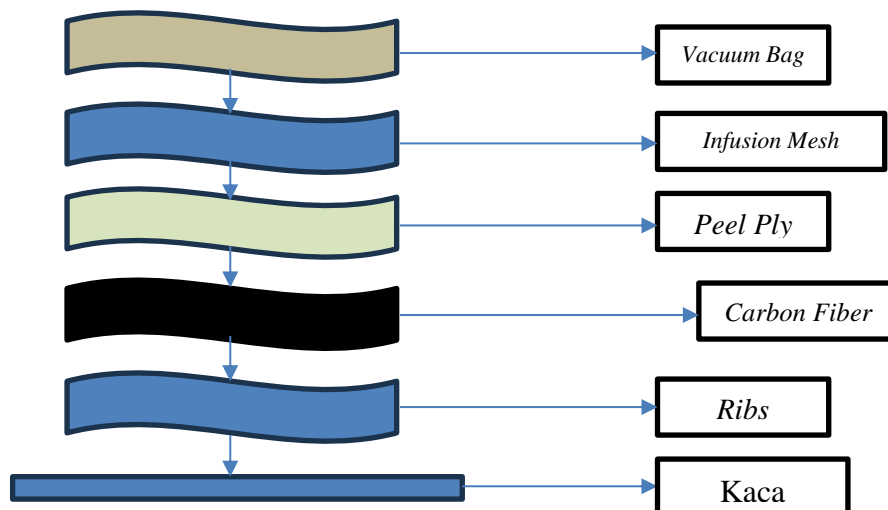
Proses ini dilakukan menggunakan mesin 3D *print* dengan bahan yang digunakan adalah filament PLA+. Pembuatan spesimen ini menggunakan dimensi dengan standar pengujian *bending* ASTM C393.

Tabel 3-1 Parameter Pencetakan 3D *Print*

Bahan	PLA+
Persentase <i>Infill</i>	100%
Tebal <i>layer</i>	0,4 mm
Suhu Meja	60°C
Suhu <i>Nozzle</i>	205°C
<i>Print Speed</i>	80 mm/s

Parameter dari proses pencetakan seperti yang dapat dilihat pada tabel 3-1 dimana bahan yang digunakan menggunakan material PLA+ dengan persentase *infill* sebesar 100% dan tebal *layer* 0,4 mm. kemudian suhu dari meja sebesar 60 °C, suhu *nozzle* sebesar 205 °C, dan kecepatan pencetakan 80 mm/s.

3.4.2 Skema Lapisan *Vacuum Infusion*



Gambar 3-30 Skema Lapisan *Vacuum Infusion*

Dapat dilihat pada gambar Gambar 3-30 Skema Lapisan *Vacuum Infusion* menunjukkan urutan lapisan-lapisan yang digunakan dalam proses *vacuum infusion* dimana dilapisan terluar merupakan *vacuum bag* dilanjutkan dengan *infusion mesh* lalu lapisan *peel ply* kemudian lapisan *skin* berupa serat karbon sebanyak 1 lapis dan telah menempel pada *ribs* dan yang terakhir pada lapisan paling bawah atau alas berupa kaca datar.

3.4.3 Proses *Vacuum Infusion*

Beberapa tahap yang diperlukan untuk melakukan proses *vacuum infusion* adalah:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan serta spesimen yang akan dilakukan proses *vacuum infusion* kemudian potong infusio mesh, peel ply, dan serat karbon sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan dan pastikan ukuran *vacuum* bag lebih besar dari ketiga bahan tersebut agar dapat menutupi semua rangkaian.



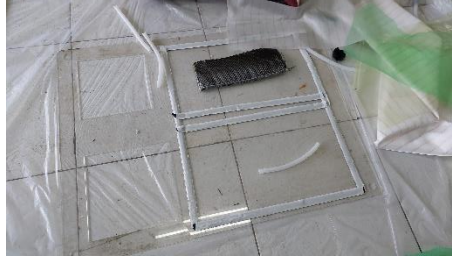
Gambar 3-31 Persiapan Pompa dan Rangkaian selang

2. Mencampur lem ALF dan katalis dengan perbandingan 1:1 kemudian dioleskan pada bagian *ribs* spesimen yang rata dan tunggu selama 10 menit lalu tempelkan serat karbon pada bagian tersebut dan tunggu hingga mengering.



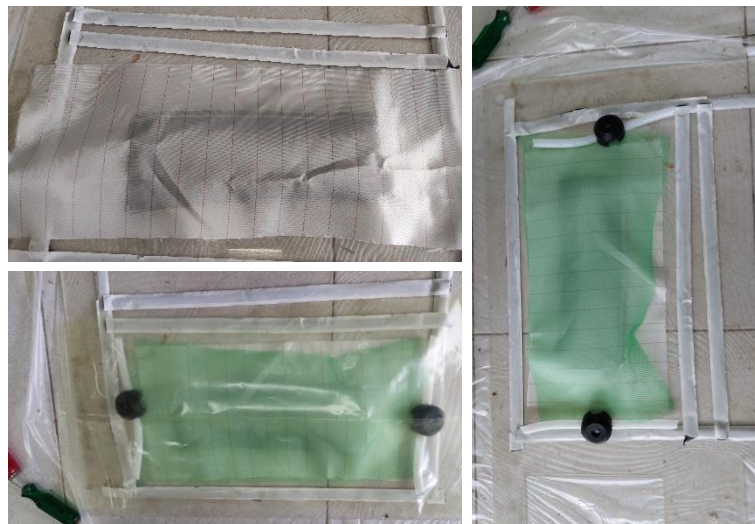
Gambar 3-32 Pencampuran Lem ALF

3. Menyiapkan kaca datar sebagai alas kemudian menempelkan *sealant tape* membentuk persegi panjang dan melebihi ukuran spesimen.



Gambar 3-33 Pemasangan *Sealant Tape*

4. Melapisi bagian dalam dari *sealant tape* dengan *silicon mold release* kemudian letakkan spesimen dengan bagian serat karbon menghadap keatas.
5. Menyiapkan saluran udara dan masuk keluarnya resin menggunakan selang yang terdiri dari *inlet* atau jalur masuknya resin dan selang *outlet* yang menjadi saluran keluar resin yang berlebih dan tersambung dengan *reservoir pot*. Selain itu, siapkan juga selang spiral pada ujung setiap saluran yang berada dalam plastik *vacuum* dan diletakkan pada *infusion block* serta pasang *valve* pada setiap saluran *inlet* dan *outlet*.



Gambar 3-34 Rangkaian *Vacuum Infusion*

6. Menyusun bagian dalam *vacuum bag* sesuai dengan urutan pada gambar 3- lalu tempelkan *vacuum bag* dengan *sealant tape* dan tidak terlalu ketat agar ketika dilakukan proses *vacuum*, plastik *vacuum* tidak tertarik secara berlebihan yang menyebabkan plastik dapat rusak dan robek sehingga

kehilangan tekanan vakum lalu sambungkan selang dengan melubangi plastik *vacuum* bagian yang terdapat *infusion block*.

7. Melakukan pengetesan terlebih dahulu sebagai simulasi agar dapat memeriksa kebocoran yang terjadi pada percobaan tersebut.
8. Mencampurkan resin *epoxy* dan *hardener* dengan perbandingan 100:30-gram dan aduk selama kurang lebih 15 menit agar tercampur merata dan letakan pada saluran selang *inlet*.



Gambar 3-35 Pencampuran Resin

9. Mulai melakukan proses *vacuum infusion* dengan menutup saluran *inlet* kemudian menyalakan pompa vakum hingga tekanan udara didalam *vacuum bag* mencapai 8 psi lalu buka *valve* pada saluran *inlet* dan biarkan resin masuk merata pada *vacuum bag*.



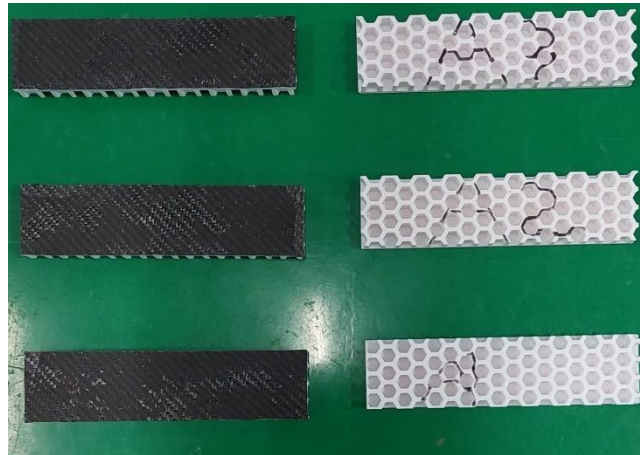
Gambar 3-36 Uji *Vacuum Infusion*

10. Ketika resin sudah melapisi seluruh bagian dalam isi *vacuum bag*, tutup saluran inlet dan *outlet* kemudian matikan pompa vakum. Lalu, tunggu selama 24 jam hingga resin mengeras dengan sempurna.



Gambar 3-37 Penyerapan Resin

11. Setelah 24 jam, buka rangkaian *vacuum bag* dengan hati-hati dan lepaskan lapisan *vacuum bag*, *infusion mesh*, dan *peel ply* dari spesimen dan periksa kembali apabila terjadi kegagalan dalam proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-38 Hasil *Vacuum Infusion*

3.4.4 Hasil Pengerjaan

Proses berikutnya adalah mengukur tiap spesimen mulai dari pengukuran berat, lebar, ketebalan spesimen, dan ketebalan *skin* yang dapat dilihat pada tabel 3-2. Pengukuran dilakukan menggunakan alat jangka sorong. Data yang didapatkan berfungsi untuk mencari nilai dari kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik.

Tabel 3-2 Data Hasil Pengukuran

No.	Kode Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Lebar Awal (mm)	Lebar Akhir (mm)	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Tebal Skin (mm)
1	A1	137	137	49,8	49,8	19,7	19,7	0
2	A2	136,8	136,8	49,8	49,8	19,7	19,7	0
3	A3	137,6	137,6	49,7	49,7	20,2	20,2	0
4	B1	137,4	143,4	49,8	49,8	19,8	20,2	0,4
5	B2	138	144,1	49,7	49,7	19,9	20,3	0,4
6	B3	137,6	143,9	49,9	49,9	20	20,5	0,5

3.4.5 Kegagalan

Kegagalan yang terjadi pada proses *vacuum infusion* adalah kebocoran resin pada bagian *ribs* yang menyebabkan spesimen mengalami penambahan berat akibat resin yang mengeras pada rongga *ribs* berbentuk *honeycomb*. Penambahan berat yang terjadi dapat mempengaruhi hasil pengujian *bending* dan nilai kekakuan *bending*, sehingga kebocoran resin diharapkan tidak terjadi.



Gambar 3-39 Kebocoran Resin

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian *Bending*

Pengujian yang dilakukan pada spesimen uji adalah pengujian *bending* untuk mencari nilai kekakuan *bending* dari total 6 spesimen yang dibagi menjadi 3 spesimen dengan menggunakan lapisan *skin* karbon dan 3 spesimen yang tidak dilapisi *skin* karbon atau hanya terdiri dari *ribs*. Pengujian dilakukan dengan standar pengujian ASTM C393 dengan menggunakan *threepoint bending* pada mesin *Universal Testing Machine* yang dapat dilihat pada gambar 4-1 dan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik UGM.



Gambar 4-1 *Universal Testing Machine*

Berikut ini adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk proses pengujian *bending*:

1. Menyiapkan spesimen dengan mengukur ulang dimensi menggunakan jangka sorong dan mencatat panjang, lebar, dan tebal spesimen serta mengukur berat akhir dari spesimen.
2. Menyiapkan mesin uji *bending* dengan mengatur jarak antar tumpuan sebesar 170 mm dan mengatur pengambilan data grafik.

3. Meletakkan spesimen uji pada tumpuan tepat pada titik tengah serta sesuai dengan jarak antar titik tumpuan.
4. Memulai pengujian dengan memberikan beban maksimal pada bagian tengah spesimen secara perlahan hingga spesimen mengalami kegagalan.
5. Mesin akan mencatat hasil nilai beban maksimal yang diberikan dan membuat grafik beban terhadap defleksi yang terjadi.
6. Periksa modus kegagalan yang terjadi pada spesimen uji.

4.2 Hasil Pengujian *Bending*

Berdasarkan hasil pengujian *three-point bending* yang dilakukan pada spesimen uji didapatkan hasil seperti pada tabel 4-1 dan didapatkan data berupa nilai tekanan atau beban maksimal, nilai defleksi, dan tegangan *bending* serta grafik beban berbanding defleksi dari setiap spesimen.

Tabel 4-1 Hasil Pengujian *Bending*

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)
1	A1	19,7	49,8	1,73	8,86	22,83
2	A2	19,7	49,8	1,36	7,81	17,94
3	A3	20,2	49,7	1,79	9,36	22,51
4	B1	20,2	49,8	1,91	8,65	23,97
5	B2	20,3	49,7	1,89	9,07	23,53
6	B3	20,5	49,9	1,91	8,16	23,23

Pada tabel 4-1 dapat dilihat bahwa spesimen dengan menggunakan *skin* serat karbon yang diberi kode awal B memiliki rata-rata beban maksimal dan tegangan *bending* yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang tidak menggunakan *skin* serat karbon diberi kode awal A. Nilai beban maksimal yang tertinggi dan dapat ditahan oleh material komposit ada pada material dengan kode spesimen B1 dan B2 sebesar 1,91 KN. Tegangan *bending* terbesar dimiliki spesimen dengan kode B1 sebesar 23,97 MPa. Kedua nilai tertinggi tersebut dimiliki oleh spesimen dengan penggunaan *skin* serat karbon. Sedangkan nilai terendah dalam beban maksimal yang diterima dimiliki spesimen dengan kode A2

sebesar 1,36 KN. Tegangan *bending* terendah juga dimiliki spesimen dengan kode A2 sebesar 17,94 MPa.

4.3 Analisis dan Perhitungan

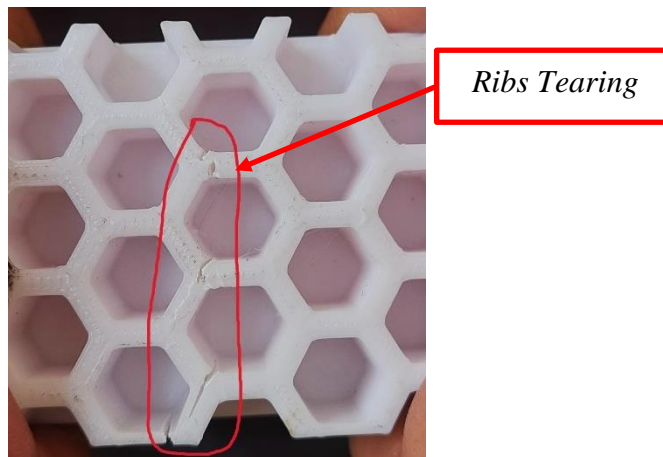
Pengujian *bending* yang telah dilakukan menyebabkan spesimen mengalami kegagalan atau kerusakan akibat pemberian beban pada spesimen yang melebihi kemampuan materialnya. Dari hasil pengamatan pada spesimen yang telah dilakukan uji *bending* didapatkan bahwa kegagalan yang umum terjadi pada spesimen bagian *skin* adalah *debonding*. Sedangkan pada bagian *ribs*, kegagalan yang umum terjadi adalah *ribs tearing* pada bagian *ribs*.

4.3.1 Analisis Kegagalan Spesimen

Berikut ini adalah hasil analisis kegagalan yang terjadi pada setiap spesimen berdasarkan pengamatan langsung secara visual.

1) Spesimen A1

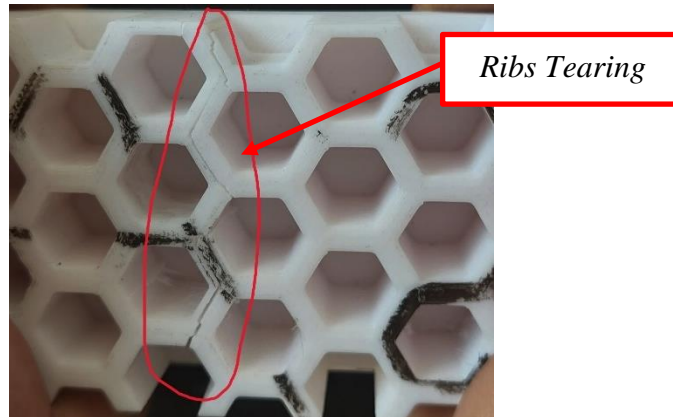
Spesimen A1 yang terlihat pada gambar 4-2 dibawah ini mengalami kegagalan *ribs shear* akibat beban tekan dari atas spesimen menyebabkan bagian bawah *ribs* mengalami tegangan tarik dan terjadi patahan pada bagian bawah.



Gambar 4-2 Modus Kegagalan Spesimen A1

2) Spesimen A2

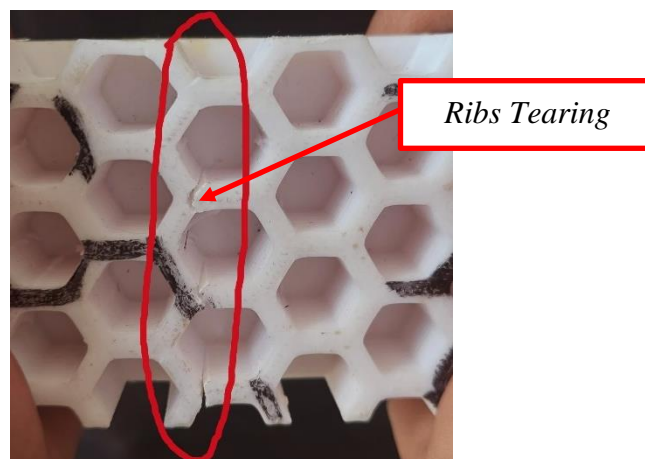
Spesimen A2 pada gambar 4-3 menerima beban tekan dari atas dan menyebabkan timbulnya tegangan tarik pada bagian bawah spesimen sehingga terjadi patahan pada *ribs*.



Gambar 4-3 Modus Kegagalan Spesimen A2

3) Spesimen A3

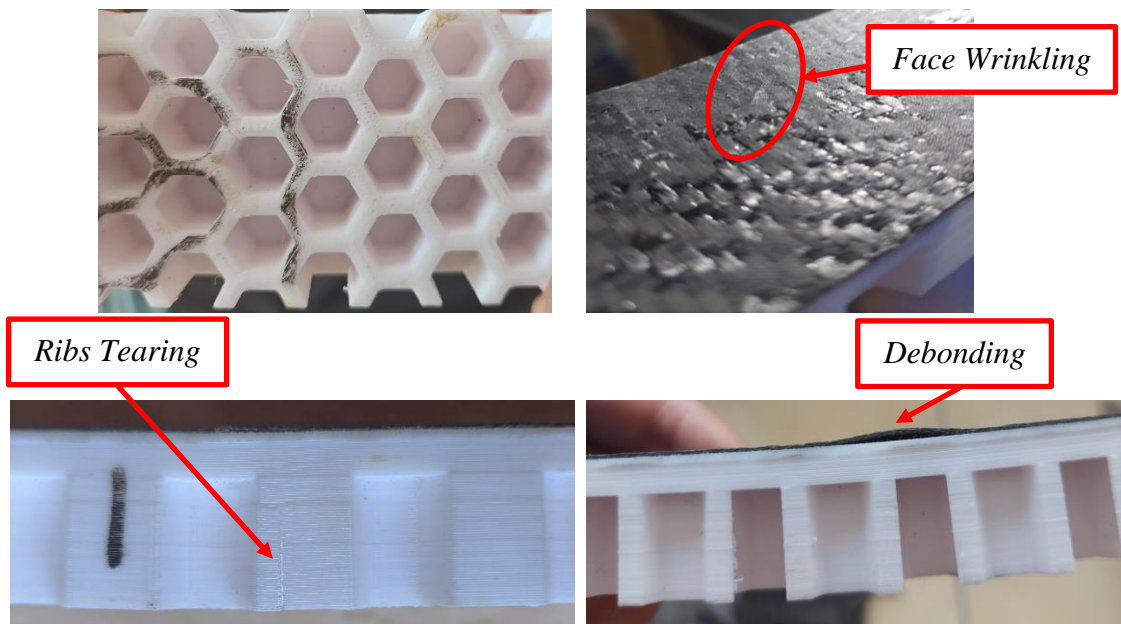
Spesimen A3 pada gambar 4-4 dibawah mengalami kegagalan *ribs shear* akibat tegangan geser yang disebabkan beban tekan dari atas dan membuat spesimen menjadi patah.



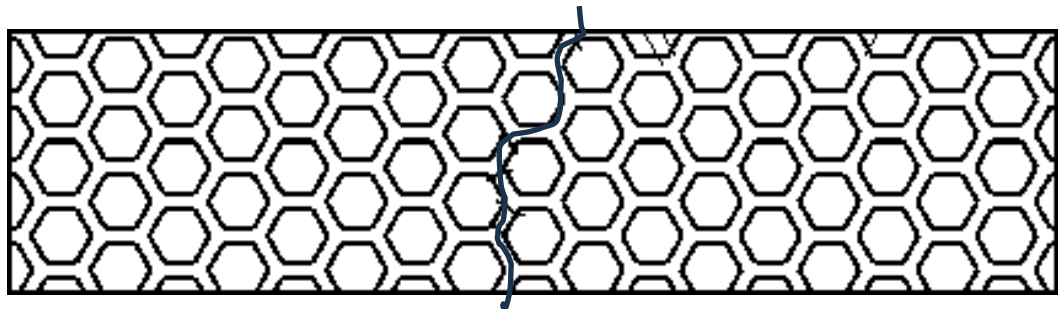
Gambar 4-4 Modus Kegagalan Spesimen A3

4) Spesimen B1

Spesimen B1 pada gambar 4-5 dibawah ini mengalami kerusakan pada bagian *skin* akibat perekat yang mengalami deformasi dan tidak dapat menahan gaya yang terjadi sehingga *skin* terlepas dari bagian *ribs* dan terjadi pula *face wrinkling* dimana terjadi kerutan pada bagian *skin* akibat fenomena *buckling* yang terjadi. Selain itu, terjadi kerusakan pada bagian *ribs* akibat beban tekan pada bagian atas, menyebabkan bagian bawah terjadi patahan. Kemudian untuk titik retakan yang ditunjukkan pada gambar 4-6 terlihat titik retakan berada pada bagian tengah spesimen.



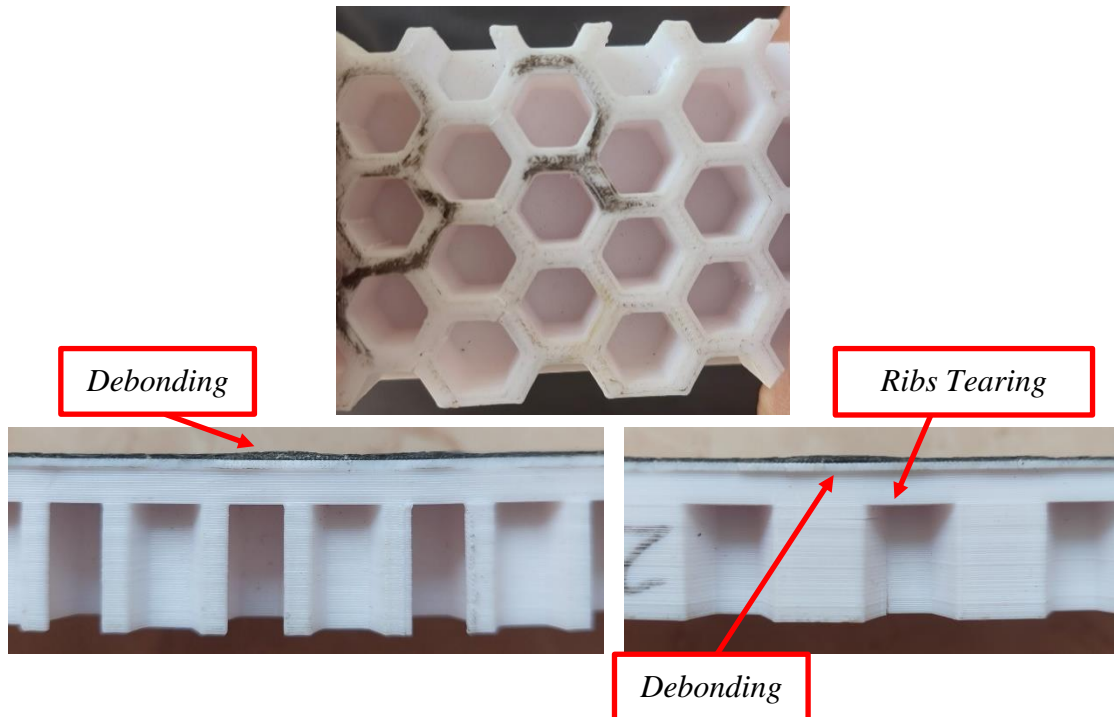
Gambar 4-5 Modus Kegagalan Spesimen B1



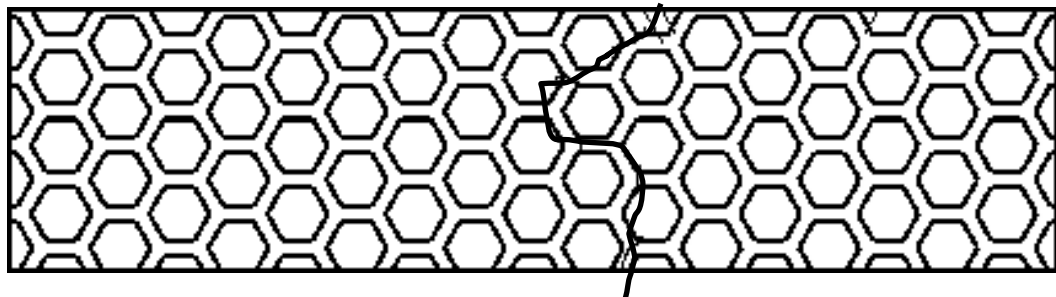
Gambar 4-6 Titik Retakan Spesimen B1

5) Spesimen B2

Spesimen B2 pada gambar 4-7 terjadi kegagalan *ribs tearing* pada bagian *ribs* yang dapat dilihat dari bagian samping spesimen, lalu terjadi kegagalan *debonding* pada bagian *skin* menyebabkan *skin* terangkat dan titik retakan dapat dilihat pada gambar 4-8.



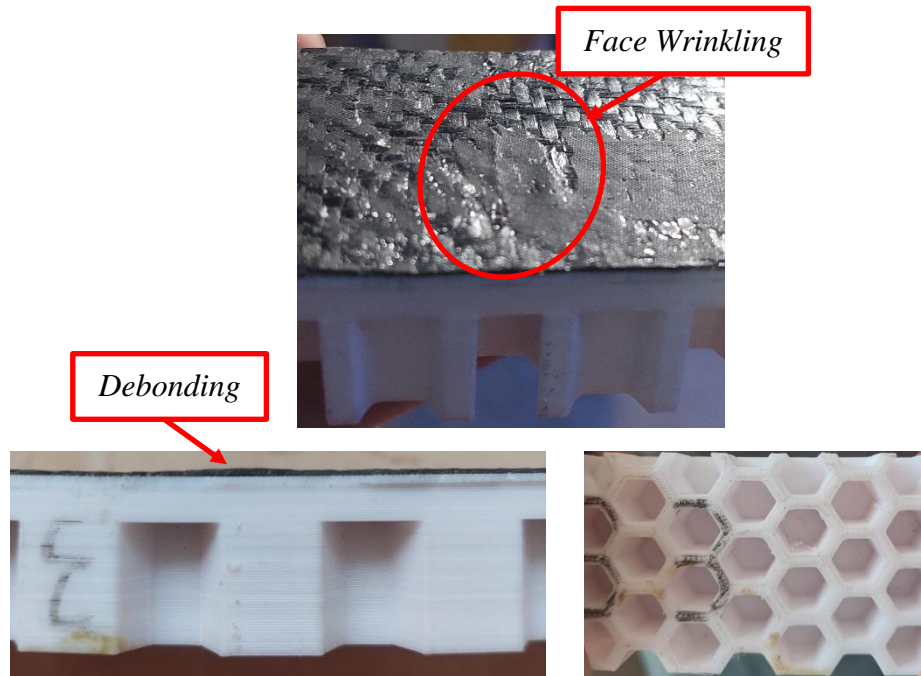
Gambar 4-7 Modus Kegagalan Spesimen B2



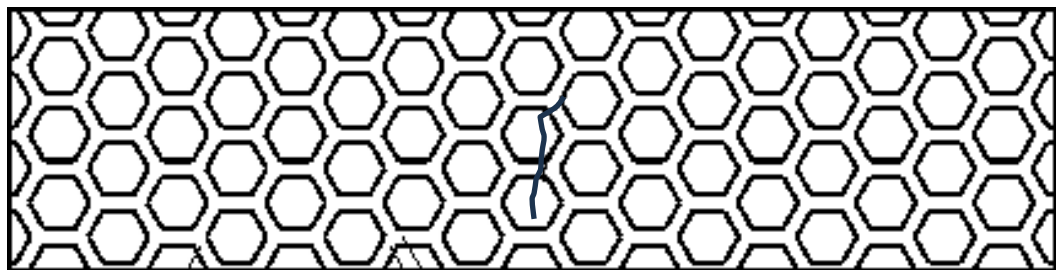
Gambar 4-8 Titik Retakan Spesimen B2

6) Spesimen B3

Pada spesimen B3 pada gambar 4-9 dapat dilihat bahwa kegagalan yang terjadi sama seperti pada spesimen B1 dan B2 yakni *debonding*, *ribs tearing*, dan *face wrinkling* namun untuk kegagalan *ribs tearing* tidak terlalu terlihat. Sedangkan untuk titik retakan yang dapat dilihat pada gambar 4-10 secara *visual* tidak sebanyak dibandingkan dengan spesimen lainnya.



Gambar 4-9 Modus Kegagalan Spesimen B3



Gambar 4-10 Titik Retakan Spesimen B3

4.4 Perhitungan

Berdasarkan data yang telah didapatkan dari hasil pengujian *bending*, kemudian diolah untuk mencari nilai kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik dari setiap spesimen menggunakan persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3 yang tersedia pada bab 2.

Tabel 4-2 Hasil Perhitungan Spesimen

Kode Spesimen	Defleksi (mm)	Berat Akhir (gr)	Tegangan Max (MPa)	Kekakuan <i>Bending</i> ($N. mm^2$)	Rata – rata ($N. mm^2$)	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik ($N. mm^2/gr$)	Rata – rata ($N. mm^2/gr$)
A1	8,86	137	22,83	25.030.536	25.192.787	182.705	183.682
A2	7,81	136,8	17,94	23.277.620		170.158	
A3	9,36	137,6	22,51	27.270.204		198.185	
B1	8,65	143,4	23,97	38.848.059	35.067.846	270.907	243.903
B2	9,07	144,1	23,53	33.064.940		229.458	
B3	8,16	143,9	23,23	33.290.540		231.345	

Hasil perhitungan yang telah diolah disajikan dalam bentuk tabel 4-2 diatas dan didapatkan bahwa spesimen dengan menggunakan *skin* karbon 1 lapis memiliki nilai tegang maksimal, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang tidak menggunakan *skin*. Nilai kekakuan *bending* rata-rata dari spesimen dengan menggunakan *skin* karbon 1 lapis bernilai $35.067.846 N. mm^2$ dibandingkan dengan spesimen yang tidak menggunakan *skin* memiliki nilai kekakuan *bending* rata-rata sebesar $25.192.787 N. mm^2$, nilai kekakuan *bending* naik sebesar 39,2%. sedangkan untuk nilai kekakuan *bending* spesifik rata-rata pada spesimen tanpa *skin* bernilai $183.682 N. mm^2/gr$ dan untuk spesimen menggunakan *skin* 1 lapis karbon memiliki nilai rata-rata kekakuan *bending* spesifik sebesar $243.903 N. mm^2$, kenaikan nilai kekakuan *bending* spesifik sebesar 32,79%.

4.5 Pembahasan

Dari hasil data yang telah didapatkan pada pengujian *bending* yang telah dilakukan kemudian diolah untuk mendapatkan nilai kekakuan *bending* dan *bending* spesifik. Dari hasil pengolahan tersebut, data-data yang didapat kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang berjudul “PENGARUH PENAMBAHAN *SKIN CARBON* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING* 3D *PRINTED ABS (ACRYLONITRILE BUTADINE STYRENE) HONEYCOMB RIBS*” oleh (Faizun, 2022).

Pada penelitian sebelumnya, penulis menggunakan spesimen dengan ukuran yang sama dan menggunakan *skin* karbon berjumlah 1 lapis dengan penelitian ini. Kemudian yang membedakan dari penelitian ini adalah bahan yang digunakan yakni ABS dan persentase *infill* yang digunakan sebesar 20%.

Tabel 4-3 Data Spesimen *Infill* 20%

No	Kode	<i>Infill</i>	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Berat Akhir (gr)
1	A20	20%	19,82	49,94	0,62	13,295	84,6
2	B20		20,01	50,3	0,65	7,37	91,61

Pada tabel 4-3 diatas menunjukkan data dari spesimen dengan *infill* 20% dan menggunakan bahan ABS pada bagian *ribs*. Untuk spesimen dengan kode awalan B merupakan spesimen yang menggunakan penambahan *skin* 1 lapis berbahan serat karbon.

Tabel 4-4 Data Spesimen *Infill* 20% dan 100%

No	Kode	<i>Infill</i>	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Berat Akhir (gr)	Tegangan Max (Mpa)	Kekakuan <i>Bending</i> (Nmm ²)	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik (Nmm ² /gr)
1	A20	20%	0,62	13,30	84,6	8,06	4.786.271	56.566
2	A100	100%	1,63	8,68	137,1	21,09	25.192.787	183.682
3	B20	20%	0,65	7,37	91,61	8,23	9.027.165	98.539,1
4	B100	100%	1,90	8,63	143,8	23,58	35.067.846	243.903

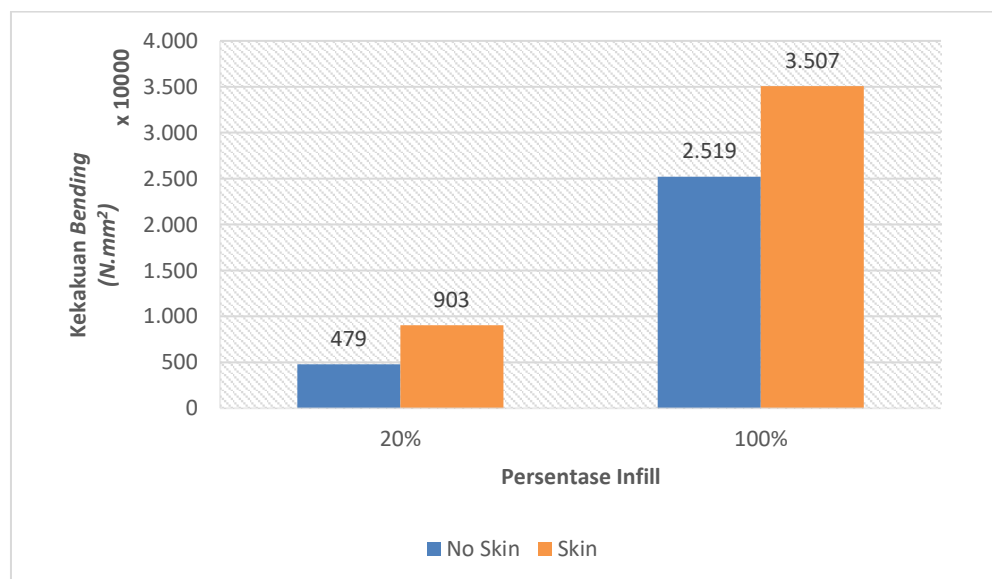
Data perbandingan spesimen dengan *infill* 20% dan 100% disajikan dalam bentuk tabel 4-4 diatas dimana nilai tegangan, kekakuan *bending*, dan kekakuan

bending spesifik pada spesimen dengan *infill* 100% memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen dengan *infill* 20%.

4.5.1 Kekakuan *Bending*

Dari hasil pengolahan data spesimen dengan *infill* 100% dan dibandingkan dengan data pada penelitian sebelumnya yang menggunakan *infill* 20% dan menggunakan bahan ABS kemudian disajikan dalam grafik pada gambar 4-11 didapatkan bahwa kenaikan nilai kekakuan *bending* pada spesimen dengan *infill* 100% sebanyak 3,8 kali lipat lebih besar daripada spesimen dengan *infill* 20% pada spesimen yang menggunakan *skin* serat karbon 1 lapis(dilambangkan dengan warna jingga) dan untuk spesimen yang tidak menggunakan *skin*(dilambangkan dengan warna biru) didapatkan bahwa nilai kekakuan *bending* pada spesimen dengan *infill* 100% nilainya 5,2 kali lebih besar dibandingkan spesimen dengan *infill* 20%.

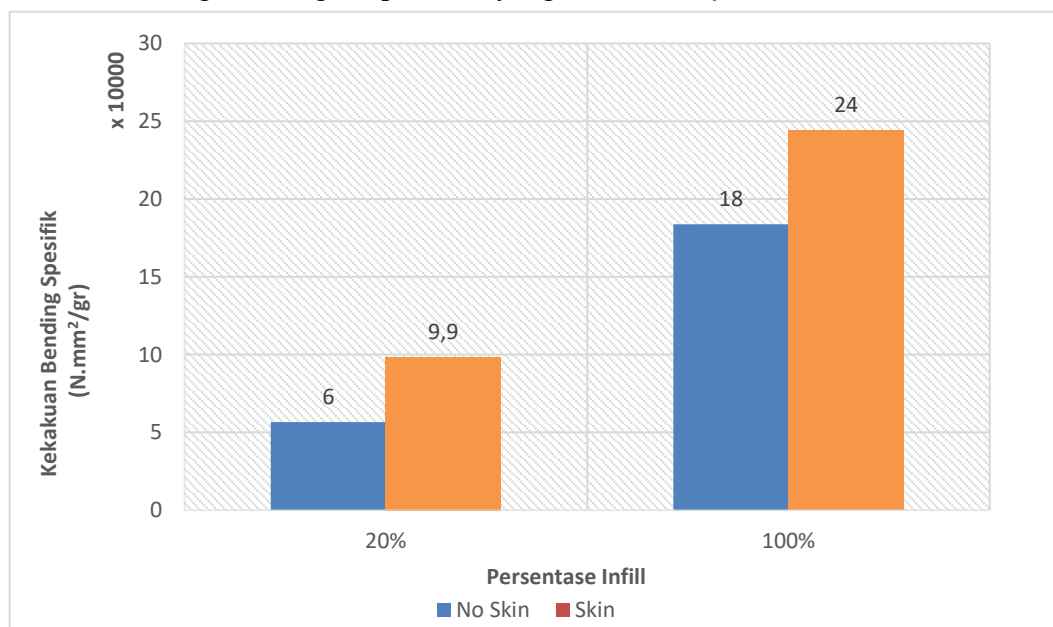
Pada hasil ini diketahui nilai kekakuan *bending* dari spesimen dengan *infill* 100% dan dengan penambahan *skin* serat karbon dilambangkan dengan warna jingga memiliki nilai sebesar 35.067 GPa. Nilai ini menjadi nilai tertinggi dibandingkan dengan spesimen lainnya.



Gambar 4-11 Grafik Perbandingan Kekakuan *Bending*

4.5.2 Kekakuan *Bending* Spesifik

Pada nilai kekakuan *bending* spesifik pada tabel 4-4 di atas diketahui bahwa spesimen dengan menggunakan *infill* 100% dan ditambahkan *skin* serat karbon memiliki nilai kekakuan *bending* spesifik yang lebih besar 2,5 kali dari spesimen yang menggunakan *infill* 20% dan ditambahkan *skin* serat karbon satu lapis. Untuk spesimen yang tidak ditambahkan lapisan *skin* serat karbon 1 lapis pada spesimen dengan *infill* 100% memiliki nilai kekakuan *bending* spesifik yang 3,2 kali lebih besar dibandingkan dengan spesimen yang memakai *infill* 20%.



Gambar 4-12 Grafik Perbandingan Kekakuan *Bending* Spesifik

Hasil yang didapatkan setelah dibuat grafik dapat dilihat bahwa spesimen dengan *infill* 100% unggul dalam nilai kekakuan *bending* spesifik dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan *infill* 20%. Selain itu, spesimen yang ditambahkan dengan *skin* memiliki nilai kekakuan *bending* spesifik yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan *infill* sama namun tidak ditambahkan dengan *skin* serat karbon.

4.5.3 Penyebab Kenaikan *Rigidity*

Kenaikan *rigidity* atau kekakuan pada spesimen dapat diketahui setelah dilakukannya pengujian *bending* dan didapatkan datanya serta dilakukan pengolahan data didapatkan bahwa yang mempengaruhi nilai kekakuan *bending*

adalah nilai inersia yang dimiliki oleh spesimen. Dimana perbedaan inersia yang dimiliki oleh spesimen yang menggunakan *infill* 20% berbeda dengan spesimen yang menggunakan *infill* 100%. Hal ini akan mempengaruhi hasil dari kekakuan *bending* sehingga spesimen dengan *infill* 100% memiliki nilai kekakuan *bending* yang lebih tinggi.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengujian *bending* material komposit 3D *print honeycomb ribs* dengan *skin serat karbon* didapat kesimpulan bahwa:

- Pengaruh penambahan *skin* serat karbon pada material spesimen 3D *print* PLA dengan parameter *infill* 100% menghasilkan nilai kekakuan *bending* yang meningkat dibandingkan dengan spesimen yang sama namun tidak diberi *skin* serat karbon. Kenaikan nilai kekakuan *bending* pada spesimen dengan menggunakan *skin* serat karbon sebesar 39,2%, sedangkan pada nilai kekakuan *bending* spesifik naik sebesar 32,79%
- Perbandingan nilai kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik diantara spesimen dengan variasi *infill* 20% pada penelitian sebelumnya dan *infill* 100% didapatkan bahwa spesimen dengan *infill* 100% memiliki nilai kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik yang lebih tinggi baik dari spesimen yang menggunakan *skin* maupun tidak menggunakan *skin*. Hal ini membuktikan bahwa *infill* merupakan bagian terlemah, namun penggunaan *infill* 100% memiliki kelemahan pada waktu pembuatan, berat material, dan biaya yang lebih mahal.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Beberapa saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan untuk penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut:

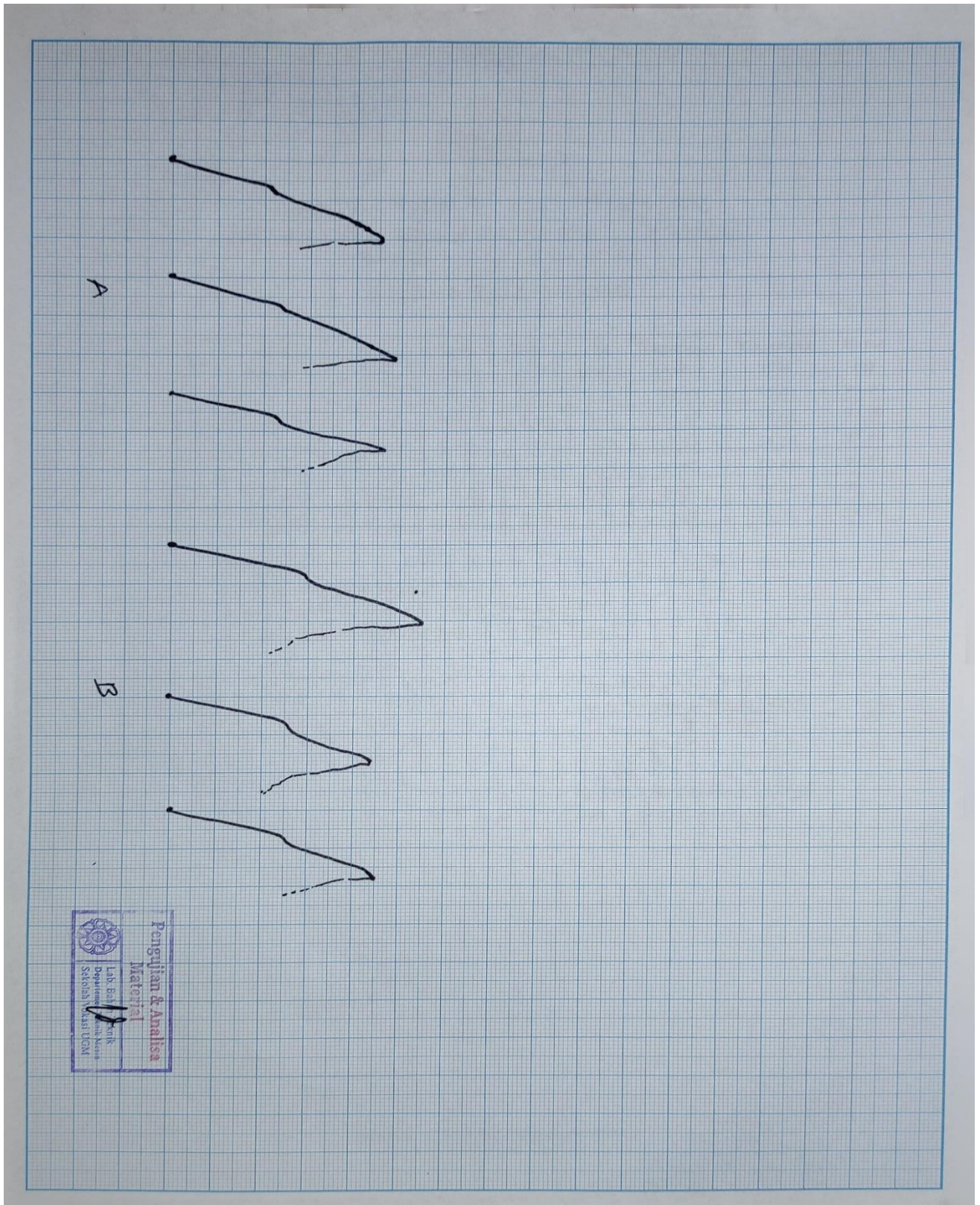
1. Setiap proses yang dilakukan ketika pembuatan spesimen dan melakukan pengujian selalu perhatikan prosedur penggunaan dan menggunakan perlengkapan keamanan K3.
2. Proses *vacuum infusion* memiliki kesulitan tersendiri jika mengalami kegagalan sebaiknya mengubah strategi penvakuman dikarenakan proses *vacuum infusion* merupakan proses yang rawan terjadi kegagalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurohman, K., T. S., N. L., & Teten. (2018). A comparison process between hand lay-up, vacuum infusion and vacuum bagging method toward e-glass EW 185/lycal composites. *Journal of Physics: Conference Series 1130 012018*.
- Balad, & Rosul, M. R. (2016). Aplikasi Komposit Terhadap Teknologi. *Makalah FTI*.
- Carlsson, & G.A., K. (2010). Structural and Failure Mechanics of Composite Sandwich.
- Faizun, M. N. (2022). Pengaruh Penambahan Skin Carbon terhadap Kekakuan Bending 3D Printed ABS. *Tugas Akhir*.
- Gebhardt, A. (2011). *Understanding Additive Manufacturing*. Cincinnati: Hanser.
- Hoff, N., & Mautner, S. (1944). Sandwich Construction. *Aeronaut. Eng. Rev.* 3, 1-7.
- Jin, F.-L., X. L., & S.-J. P. (2015). Synthesis and application of epoxy resins: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 29, 1-11.
- Johnson, G. A., & French, J. J. (2018). Evaluation of Infill Effect on Mechanical Properties of Consumer 3D Printing Materials. *Advances in Technology Innovation vol. 3, no. 4*, 179 - 184.
- Jones, M. R. (1998). *Mechanics Of Composite Materials Second Edition*. Philadelphia: Taylor & Francis, Inc.
- Kurniawan Nasution, F. A., & Arifin, M. (2019). Analisis Sifat Mekanik Komposit Diperkuat Serat Pinang Menggunakan Metode Pengujian Bending Statik. *JURNAL SIMETRI REKAYASA*, 101-107.
- M. A., & S. H. (2018). Perbandingan Kekuatan Material Hasil Metode Hand Lay-up dan Metode Vacuum Bag Pada Material Sandwich Composite. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar, Vol 9 (2018): Industrial Research Workshop and National Seminar* .
- M. Davallo, H. P. (2010). Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Resin. *International Journal of ChemTech Research, Vol.2, No.4*, 2113-2117.

- M. M., A. A., & Luwis, N. (2019). Karakteristik Mekanik Panel Honeycomb Sandwich Berbahan Komposit Fibreglass dengan Dimensi Cell-Pitch 40mm dan Cell-Height 30mm. *Jurnal Rekayasa Hijau*.
- Marsono, Anggraeni, N. D., & Faisal, F. A. (2021). Kaji Eksperimental Sifat Mekanik Honeycomb Sandwich Komposit Serat Karbon dengan Uji Bending. *METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal*, 114-125.
- Meiwandari, M., & Sriyanti, I. (2019). Analisis Struktur Heksagonal terhadap Bentuk Sarang Lebah. *Jurnal Inovasi dan Pembelajaran Fisika*, 82-89.
- Oliviandes, F. (2021). Analisis Pengaruh Jumlah Lapisan Skin Pada Komposit Sandwich terhadap Uji Bending Menggunakan Metode Vacuum Infusion. *Tugas Akhir*.
- Petras, A. (1998). Design of Sandwich Structures. *dissertation Cambridge University Engineering Department*.
- Prayoga, A. (2018). Pengaruh Ketebalan Skin Terhadap Kekuatan Bending dan Tarik Komposit Sandwich dengan Honeycomb Polypropylene sebagai Core. 18(1),6.
- Rochmad Eko P.U. Al, A. F. (2021). Pengaruh Prosentase Infill pada Proses 3D Printing FDM terhadap Sifat Mekanik. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, 1-4.
- Roihan, M. F. (2022). Pengaruh Ketebalan Core (3D Print) dengan Bahan PLA (Polyactic-Acid) terhadap Uji Bending Spesimen Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Infusion. *Tugas Akhir*.
- V. N., M. P., E. V., N. M., L. T., M. L., & S. G. (2021). Enhanced Mechanical, Thermal and Antimicrobial Properties of with Optimized Nano Silica Content. *Nanomaterials (Basel) 11 (4)*. doi: 10.3390/nano11041012.
- Widiyono, E., M., M. Y., R., & N. D. (2021). Komposit Carbon Fiber Sandwich Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Alumunium Alloy 6063 Pada Knuckle Plate Mobil Nogogeni 5 Evo. *Jurnal Nasional Aplikasi Mekanika, Otomasi dan Robot Industri (AMORI)*.

LAMPIRAN



Grafik Hubungan Beban Maksimal dan Defleksi Hasil Pengujian *Bending*



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	A1	19.7	49.80	1.73	8.86	22.83
2	A2	19.70	49.80	1.36	7.81	17.94
3	A3	20.20	49.70	1.79	9.36	22.51
4	B1	20.2	49.80	1.91	8.65	23.97
5	B2	20.30	49.70	1.89	9.07	23.53
6	B3	20.50	49.90	1.91	8.16	23.23

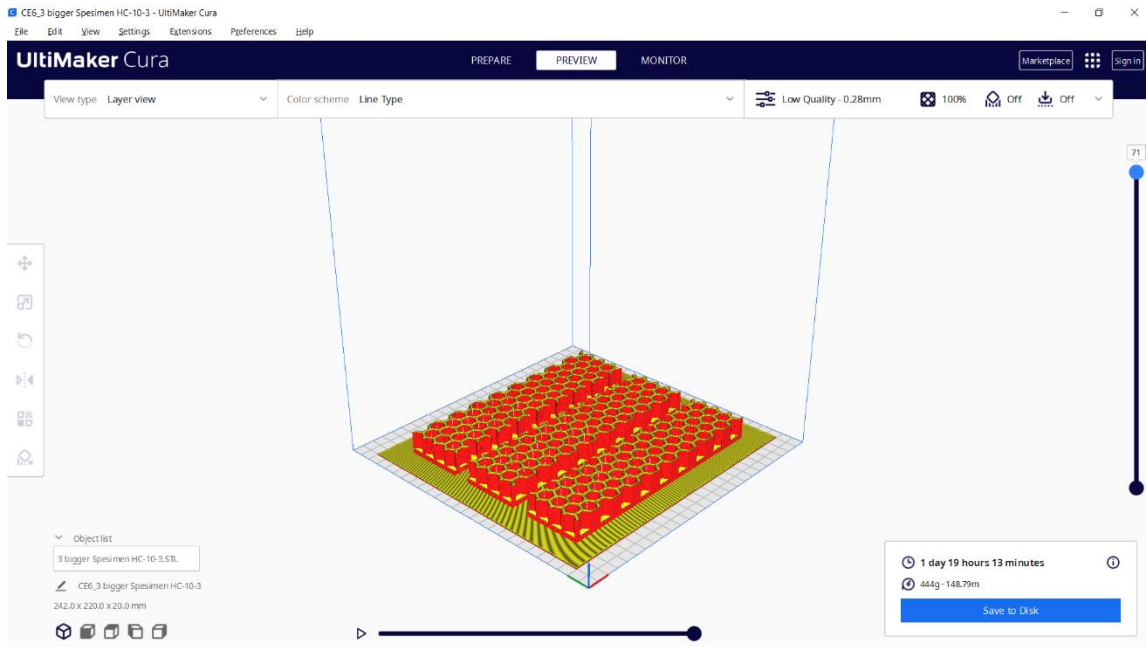
Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 5 Agustus 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

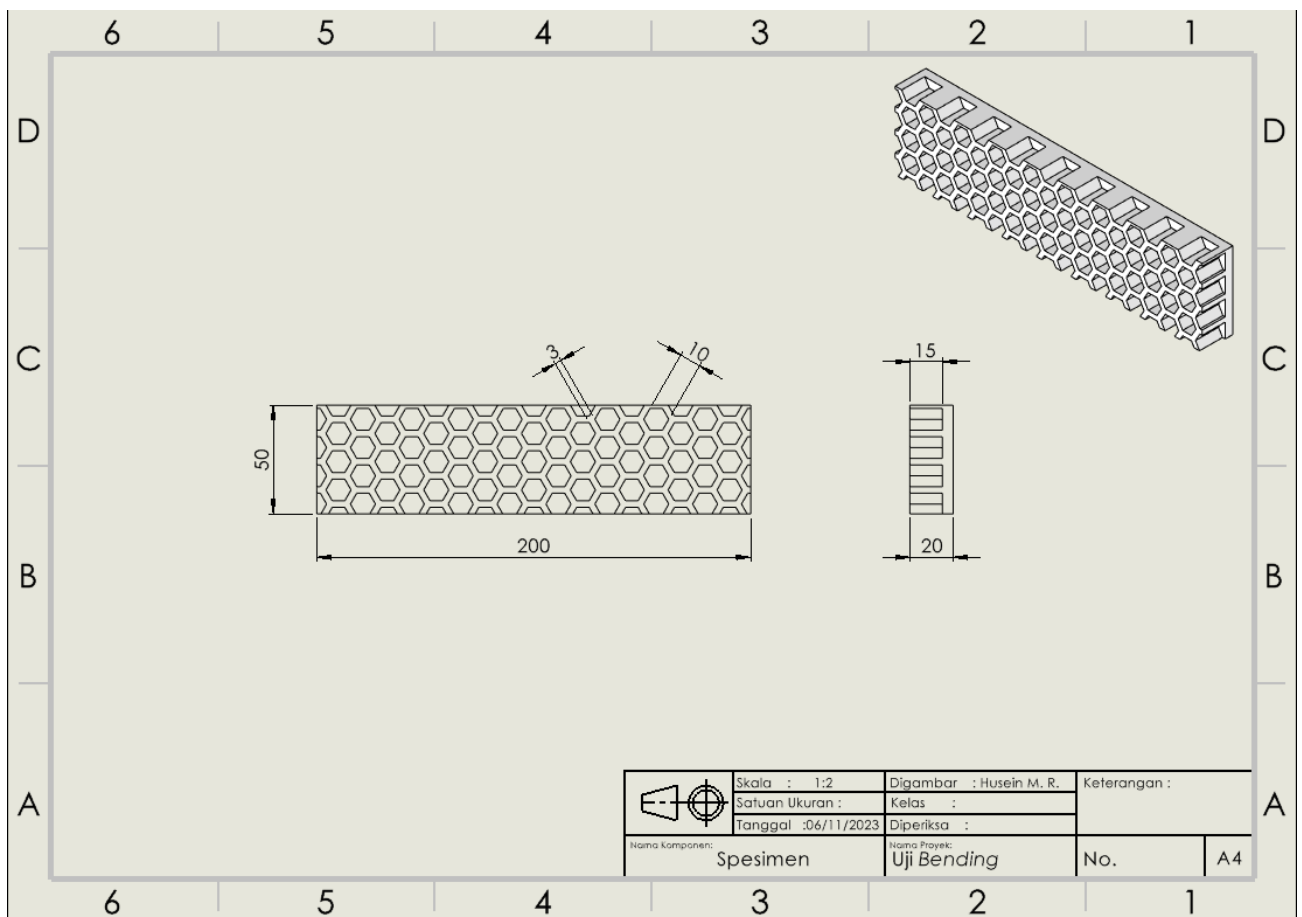
Yogyakarta, 5 Agustus 2023
Staf Laboratorium Bahan Teknik


Penjajal & Analisis Material
Laboratorium Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T.
NIP. 197703312002121002

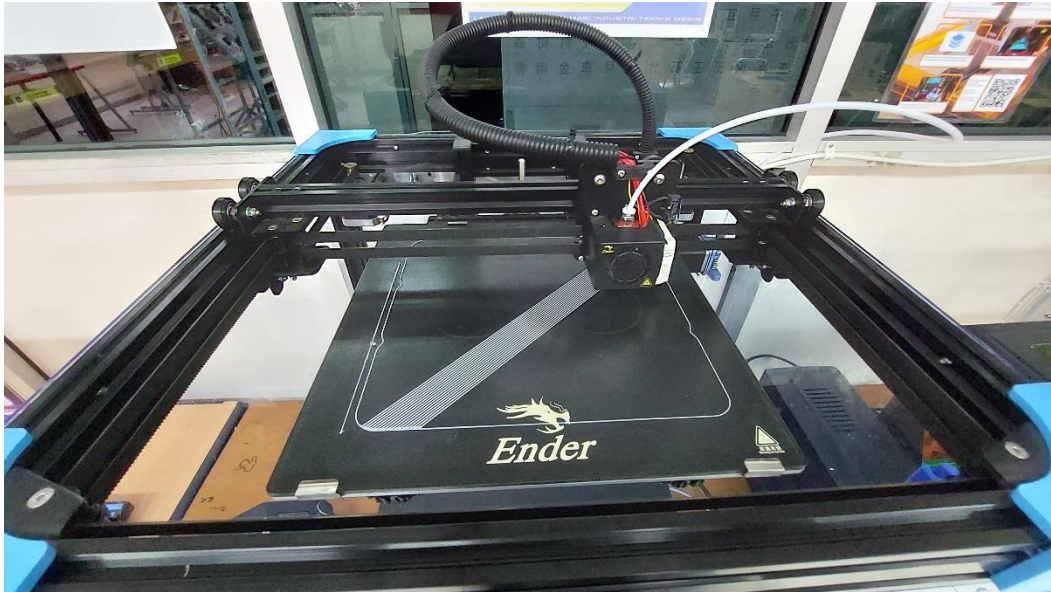
Lembar asli, tidak untuk digandakan



Proses Pembuatan *G-Code*



Gambar Teknik Dimensi Spesimen



Proses Pencetakan Spesimen



Skema Alternatif Proses *Vacuum Infusion*