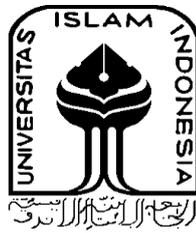


**PENGARUH STRUKTUR ZIG-ZAG *HONEYCOMB RIBS* TERHADAP
KEKUATAN *BENDING* SPESIMEN KOMPOSIT POLYLACTIC ACID
(PLA) - *CARBON FIBER***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh:

Nama : Asriadi Anwar
No. Mahasiswa : 19525040
NIRM : 1904150067

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya bertanda tangan dibawah ini, Asriadi Anwar selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “PENGARUH STRUKTUR ZIG-ZAG *HONEYCOMB RIBS* TERHADAP KEKUATAN *BENDING* SPESIMEN KOMPOSIT *POLYLACTIC ACID (PLA)-CARBON FIBER*” menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri dan bukan dari plagiasi karya tulis orang lain. Seluruh kutipan atau gambar yang ada pada karya tulis ini telah saya sertakan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak cipta atau yang saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya siap menerima sanksi dan hukum dengan ketentuan yang berlaku.

Yogyakarta, 30 Mei 2024



Asriadi Anwar

(19525040)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENGARUH STRUKTUR ZIG-ZAG *HONEYCOMB RIBS* TERHADAP KEKUATAN *BENDING* SPESIMEN KOMPOSIT POLYLACTIC ACID (PLA) - *CARBON FIBER*

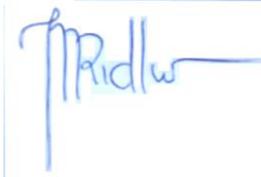
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Asriadi Anwar
No. Mahasiswa : 19525040
NIRM : 1904150067

Yogyakarta, 30 Mei 2024

Pembimbing I



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGARUH STRUKTUR ZIG-ZAG *HONEYCOMB RIBS* TERHADAP KEKUATAN *BENDING* SPESIMEN KOMPOSIT POLYLACTIC ACID (PLA) - *CARBON FIBER*

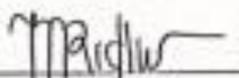
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

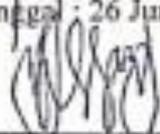
Nama : Asriadi Anwar
No. Mahasiswa : 19525040
NIRM : 1904150067

Tim Penguji

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


Tanggal : 26 Juni 2024

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


Tanggal : 26 Juni 2024

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


Tanggal : 26 Juni 2024

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam dan atas ijinNya, laporan tugas akhir ini penulis persembahkan dan ucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua saya bapak Nur Amin dan ibu Muliati yang selalu berperan besar dalam setiap langkah dikehidupan saya dalam bentuk dukungan, arahan, serta do'a yang senantiasa mereka panjatkan tanpa henti agar pelaksanaan tugas akhir ini terlaksana sesuai kehendak Allah Swt.
2. Kakek, Nenek dan seluruh keluarga saya yang selalu memberikan dukungan do'a dan mengajarkan saya dari kecil hingga saya dewasa bagaimana cara dunia bekerja.
3. Bapak Dosen Pembimbing Ir. Muhammad Ridlwan S.T., M.T., IPP yang selalu memberikan arahan dan saran dalam mengerjakan Penelitian Tugas Akhir ini hingga dapat berjalan dengan lancar. Serta seluruh dosen Teknik Mesin UII yang memberikan dukungan, membantu, dan memberikan ilmunya selama penulis berproses dibangku kuliah Teknik mesin FTI UII.

HALAMAN MOTTO

“Dan barang siapa yang bertakwa kepada Allah, niscaya Allah menjadikan baginya kemudahan dalam urusannya”

(Q.S At-Talaq: 4)

“Orang berilmu dan beradab tidak diam beristirahat dikampung halaman. Tinggalkan negrimu dan hiduplah seperti orang asing di negri orang”

(Imam Syafi’i)

"Jika kamu tidak tahan dengan lelahnya belajar maka kamu harus sanggup menanggung perihnya kebodohan”

(Imam Syafi’i)

“Dan bersabarlah kamu sesungguhnya janji Allah adalah benar”

(Q.S Ar Rum: 60)

“Sesungguhnya disetiap kesulitan ada kemudahan”

(Q.S Al Insyirah: 5)

“Keberuntungan bukanlah suatu hal yang datang begitu saja, melainkan itu adalah hasil dari usaha diri sendiri”

(Presiden Republik Angkasa)

“Jika Allah bersamamu, Maka tidak ada yang bisa mengalahkanmu”

(Khabib Nurmagomedov)

“Jangan pernah mengubur mimpi karena sekeras apapun kamu memukulnya, dia hanya akan pingsan lalu bangkit dihari tua dalam bentuk penyesalan”

(Asriadi Anwar)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur saya panjatkan pada tuhan semesta alam Allah Swt. Yang Maha pengasih lagi Maha penyayang, yang telah memberikan rahmat serta hidayahnya sehingga penelitian yang berjudul “PENGARUH STRUKTUR ZIG-ZAG *HONEYCOMB RIBS* TERHADAP KEKUATAN *BENDING* SPESIMEN KOMPOSIT *POLYLACTIC ACID (PLA)-CARBON FIBER*” ini dapat terselesaikan atas kehendaknya. Tidak lupa solawat serta salam dihaturkan kepada baginda Rasul Muhammad SAW sebagai tauladan yang baik bagi kita agar selamat didunia dan akhirat.

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

Tentu saja dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan serta do’a dari berbagai pihak hingga penulisan dapat diselesaikan. Oleh sebab itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ungkapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah Swt, tuhan yang Maha pengasih lagi Maha Penyayang. Atas rahmat dan hidayahNya penulis diberikan kesehatan dan kelancaran rezeki hingga dapat menyelesaikan proses penelitian ini.
2. Keluarga tercinta, Nur Amin, Muliati, Ayah, Ibu, Arif Anwar, Haeruddin, Masniati, Kakek, Nenek, Ipul bolong, Irma, Almarhum Dandi. Saudara Nurianti Anwar, Sriwahyuni Anwar, Al-ikhshan, Kiki, Lepak, Fauzan, Faisal. Yang senantiasa memberikan do’a, Motifasi, dan membimbing penulis dalam setiap langkah.
3. Bapak Dr.Ir. Muhammad Khafid, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin UII serta selaku Dosen Pembimbing Akademik Penulis yang selalu memberikan arahan dalam perkuliahan.
4. Bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP selaku dosen Pembimbing

Tugas Akhir yang senantiasa memberikan dukungan serta masukan saran agar penulis dapat menyelesaikan Penelitian Tugas Akhir dengan baik.

5. Sahabat Arieffattah, Nuraeni, Fidiel Mario Pamuso, Syahrul ramadhan, Hadyan, Robby firdauzy, humam karim adabi, Bayduri, Abbas, Dwi agus raharjo, Arya bayu, Ilham dirit, Dian maulana, Olla anatomiko, Awang, Lamtur, Husein Citax, Faqih Abdulla, Muhammad Yasqur, Abdurahman farizi, Boleg, Boge, Nurmala sari, Ayu soka, Bayu saputra, Opang, Emon, Atdnin, Nizam royhan, Ali rahmatullah, Fahan Prasetio, Agik, Partner TA Zein zaki, dan teman-teman Teknik Mesin UII 2019. Yang selalu menjadi teman diskusi serta selalu mengingatkan untuk selalu berjalan pada tujuan utama hingga bertemu diatas puncak.
6. Rizky Aprilia yang telah memberikan masukan do'a dan dukungan serta harapan yang memotivasi penulis.

Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan do'a dan dukungannya.

Penulis juga sepenuhnya menyadari bahwa 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 akan sangat diharapkan oleh penulis. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan untuk orang yang membutuhkan. Akhir kata saya ucapkan banyak terimakasih, semoga Allah Swt selalu melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya serta memberkati seluruh perjalanan hidup kita semua. Berdo'a tidak akan pernah selesai Amin Ya Robbal a'lamin.

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 30 Mei
2024

Asriadi Anwar
19525040

ABSTRACT

The presence of 3D printing in the world of manufacturing has brought big changes to the world. This technology, which is also known as Additive Layer Manufacturing, has actually been around since the 1980s. This breakthrough is very popular throughout the world, especially among academics and industry. Making composite specimens with PLA filament material using a 3D printing machine to make cores and uniting the cores with carbon fiber using hand lay up and vacuum bagging methods to unite the two materials. Three different types of structural arrangements, namely, code A specimens with a 2 mm ground floor structure as the core and 8 mm honeycomb as ribs (2.8), compared to a zig-zag honeycomb structure with a 2 mm ground floor as the core and a zig-zag honeycomb stack. 4 mm each as ribs (2.4.4) is given code B, 1mm ground floor as core and 4 mm honeycom as ribs then 1mm floor layer and 4 mm zig-zag honeycom as ribs (1.4.1.4) are given code C. Next Bending testing is carried out to obtain data from the test specimen. Then the results obtained were that the highest bending stress value was found in the specimen with code C at 18,30 Mpa, the highest bending stiffness value was found in the code C specimen with an average bending stiffness value of 9,560,185 N.mm², and a specific bending stiffness value The highest was found in specimen code C, namely 153,377 N.mm²/gr, higher than specimen A at 93,610 N.mm²/gram and specimen C at 81,437 N.mm²/gr.

Keywords: Bending Test, Honeycomb Zig-zag Structure, Composite, Vacuum Bagging, Carbon Fiber

ABSTRAK

Hadirnya 3D print dalam dunia manufaktur membawa perubahan besar pada dunia. Teknologi yang juga dikenal dengan sebutan *Additive Layer Manufacturing* ini sebenarnya sudah ada sejak tahun 1980-an. Terobosan ini sangat populer diseluruh belahan dunia terutama dikalangan akademisi dan industri. Pembuatan spesimen komposit dengan material *filament* PLA menggunakan mesin 3D *printing* untuk membuat *core* dan menyatukan *core* dengan serat karbon menggunakan metode *hand lay up* dan *vacuum bagging* untuk menyatukan kedua material tersebut. Tiga jenis susunan struktur yang berbeda yaitu, spesimen kode A dengan struktur lantai dasar 2 mm sebagai *core* dan *honeycomb* 8 mm sebagai *ribs* (2.8), dibandingkan dengan susunan struktur *honeycomb* zig-zag dengan lantai dasar 2 mm sebagai *core* dan tumpukan *honeycomb* zig-zag masing-masing 4 mm sebagai *ribs* (2.4.4) diberi kode B, lantai dasar 1mm sebagai *core* dan *honeycom* 4 mm sebagai *ribs* kemudian lapisan lantai 1mm dan *honeycom* 4 mm zig-zag sebagai *ribs* (1.4.1.4) diberi kode C. selanjutnya dilakukan pengujian *bending* untuk mendapatkan data dari spesimen uji. Kemudian didapatkan hasil yaitu nilai tegangan *bending* tertinggi terdapat pada spesimen dengan kode C sebesar 18,30 Mpa, nilai kekakuan *bending* tertinggi terdapat pada spesimen kode C dengan nilai rata-rata kekakuan *bending* 9.560.185 N.mm², dan nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi terdapat pada spesimen kode C yaitu sebesar 153.377 N.mm²/gr lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen A sebesar 93.610 N.mm²/gram dan spesimen C sebesar 81.437 N.mm²/gr.

Kata kunci: Uji *Bending*, Struktur *Honeycomb* Zig-zag, Komposit, *Vacuum Baging*, Karbon Fiber

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
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	1
1.3 Batasan Masalah	1
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
Bab 2 Tinjauan Pustaka	3
2.1 Kajian Pustaka	3
2.2 Dasar Teori	5
2.2.1 Komposit	5
2.2.2 <i>3D Print</i>	7
2.2.3 Struktur <i>Honeycomb</i>	8
2.2.4 <i>Vacuum Bagging</i>	8
2.2.5 Pengujian <i>Bending</i>	9
2.2.6 ASTM C393	11
2.2.7 Modus Kegagalan Pengujian <i>Bending</i> Komposit	11
Bab 3 Metode Penelitian	14
3.1 Alur Penelitian	14

3.2	Peralatan dan Bahan.....	15
3.3	Perancangan	23
3.3.1	Susunan Lapisan Komposit	25
3.3.2	Pembuatan <i>Ribs</i> dengan 3D <i>Printing</i>	26
3.3.3	Skema Lapisan <i>Vacuum</i>	27
3.3.4	Proses <i>Vacuum</i>	27
3.4	Langkah Pengujian <i>Bending</i>	29
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	30
4.1	Hasil Pengerjaan	30
4.2	Pengujian <i>Bending</i>	31
4.3	Hasil Pengujian	32
4.4	Analisis dan Perhitungan	33
4.5	Perhitungan	33
4.6	Pembahasan	34
4.6.1	Tegangan <i>Bending</i>	34
4.6.2	Kekakuan <i>Bending</i>	35
4.6.3	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik.....	36
4.6.4	Grafik Uji antara Gaya Tekan vs <i>Defleksi</i>	36
4.6.5	Analisis Kegagalan Spesimen	37
Bab 5	Penutup.....	43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	44
	Daftar pustaka.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 3- 1 Parameter Proses Pembuatan Pesimen.....	26
Tabel 4- 1 Hasil pengerjaan.....	30
Tabel 4- 2 Hasil Perhitungan	32
Tabel 4- 3 Hasil Perhitungan Spesimen	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 Jenis Kegagalan <i>Ribs</i> (Rokhman, 2023).....	4
Gambar 2- 2 Pola Susunan Batu Bata zig-zag (<i>running bond</i>)	4
Gambar 2- 3 <i>Honeycomb Sandwich</i>	6
Gambar 2- 4 Serat Carbon	7
Gambar 2- 5 Struktur Honeycomb	8
Gambar 2- 6 Metode <i>vacuum bagging</i>	9
Gambar 2- 7 Pengujian <i>bending</i>	9
Gambar 2- 8 Pembebanan uji <i>bending</i>	11
Gambar 2- 9 Jenis kegagalan <i>Skin</i> (Rokhman, 2023).....	12
Gambar 2- 10 Jenis Kegagalan pada <i>core</i> (Rokhman, 2023).....	13
Gambar 3- 1 Alur Penelitian.....	14
Gambar 3- 2 Mesin <i>3D Print</i> Seri Ender 6.....	15
Gambar 3- 3 Filamen PLA+	15
Gambar 3- 4 <i>Vacuum Pump</i>	16
Gambar 3- 5 <i>Reservoir Pot</i>	16
Gambar 3- 6 Timbangan.....	17
Gambar 3- 7 Valve	17
Gambar 3- 8 <i>Vacuum Bag</i>	18
Gambar 3- 9 <i>Pell Ply</i>	18
Gambar 3- 10 <i>Breathe Bleeder Fabric</i>	19
Gambar 3- 11 Selang	19
Gambar 3- 12 <i>Sealant Tape</i>	20
Gambar 3- 13 Serat Karbon.....	20
Gambar 3- 14 Lem ALF	21
Gambar 3- 15 <i>Resin Epoxy</i>	21
Gambar 3- 16 Jangka Sorong	21
Gambar 3- 17 Kuas.....	22
Gambar 3- 18 Gunting.....	22
Gambar 3- 19 Gelas Plastik.....	23

Gambar 3- 20 Dimensi dan struktur Spesimen 2.8.....	24
Gambar 3- 21 Dimensi dan struktur spesimen 2.4.4	24
Gambar 3- 22 Dimensi dan struktur spesimen 1.4.1.4	25
Gambar 3- 23 Susunan Lapisan Komposit	25
Gambar 3- 24 Proses Pemesinan Spesimen <i>3D Print</i> PLA.....	26
Gambar 3- 25 Skema Lapisan <i>Vacuum</i>	27
Gambar 3- 26 Proses Penyatuan <i>Skin</i> dan Spesimen dengan Metode <i>Hand Lay Up</i>	27
Gambar 3- 27 pemberian resin sebelum di <i>vacuum</i>	28
Gambar 3- 28 Susunan komposit.....	28
Gambar 3- 29 Proses <i>Vacuum</i>	29
Gambar 4- 1 Hasil setelah <i>vacuum baging core</i> PLA	30
Gambar 4- 2 Pengujian <i>Bending</i>	31
Gambar 4- 3 Garafik Tegangan <i>Bending</i>	34
Gambar 4- 4 Grafik Kekakuan <i>Bending</i>	35
Gambar 4- 5 Grafik Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik	36
Gambar 4- 6 Grafik Gaya Tekan vs <i>Defleksi</i>	36
Gambar 4- 7 Modus Kegagalan Spesimen A1	37
Gambar 4- 8 Modus Kegagalan Spesimen A2	38
Gambar 4- 9 Modus Kegagalan Spesimen C3	38
Gambar 4- 10 Modus Kegagalan Spesimen B1	39
Gambar 4- 11 Titik Retak Spesimen B1.....	39
Gambar 4- 12 Modus kegagalan Spesimen B2	40
Gambar 4- 13 Titik Retak Spesimen B2.....	40
Gambar 4- 14 Modus Kegagalan Spesimen B3	40
Gambar 4- 15 Titik Retak Spesimen B3.....	41
Gambar 4- 16 Modus Kegagalan Spesimen C1	41
Gambar 4- 17 Modus Kegagalan Spesimen C2	42
Gambar 4- 18 Modus Kegagalan Spesimen C3	42

DAFTAR NOTASI

E = Modulus elastisitas *bending* (N/mm^2)

P = Beban yang diberikan (N)

h = Tebal Spesimen (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

W = Berat spesimen (*gram*)

L = Jarak point (mm)

σ = Tegangan *Bending* (*Mpa*)

δ = Defleksi (mm)

I = Momen inersia (mm^4)

D = Kekakuan *bending* (Nmm^2)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hadirnya 3D printing dalam dunia *manufacturing* membawa perubahan besar pada dunia. Teknologi yang juga dikenal dengan sebutan *Additive Layer Manufacturing* ini sebenarnya sudah ada sejak tahun 1980-an. 3D printing merupakan sebuah terobosan baru dalam dunia teknologi. Terobosan ini sangatlah populer diseluruh belahan dunia terutama di kalangan akademisi dan industri. Rapid prototyping pada komponen mekanik dengan teknik-teknik dengan volume produksi yang rendah dalam memproduksi prototype dengan cepat (Pristiansyah, Hasdiansah, & Sugiyarto, 2019). Teknologi 3D print yang terkenal dengan biaya yang murah salah satunya adalah FFF (*Fused Filament Fabrication*) teknologi ini juga dikenal dengan *Fused Deposition Modelling* (FDM). Prinsip kerja FDM adalah dengan cara *ekstrusi thermoplastic* melalui *nozzle* yang panas pada melting temperature selanjutnya produk dibuat lapis per lapis. Ada dua jenis material yang sering digunakan yaitu *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dan *Polylactic Acid* (PLA) sehingga sangat penting mengetahui akurasi dimensi produk.

Pada penelitian sebelumnya, pengujian *bending* dengan menggunakan struktur *honeycomb* sebagai *ribs* menggunakan material PLA dengan *infill* 100% *gyroid* dan dilapisi dengan komposit karbon, dimensi spesimen sesuai dengan standar uji ASTM C-393. Pada penelitian sebelumnya juga menyatakan bahwa setiap spesimen memiliki kegagalan pada *ribs*. Yaitu terjadi kerusakan pada *ribs* akibat beban tekan pada bagian atas, menyebabkan bagian bawah terjadi patahan akibat tegangan tarik. Kemudian untuk titik retakan berada pada bagian tengah spesimen (Rokhman, 2023).

Pada penelitian sebelumnya juga menyatakan bahwa pemberian *skin* hanya pada 1 permukaan tidak menambah kekuatan terhadap tegangan tarik, hal ini terbukti dengan menurunnya nilai tegangan *bending* dan nilai kekakuan *bending spesifik* pada spesimen dengan 3 *layer skin*. nilai kekakuan *bending* tertinggi terdapat pada spesimen dengan 3 *layer skin* karbon fiber sebesar 24,293,828 Nmm^2 ,

beda tipis dengan spesimen *2 layer skin* carbon fiber sebesar $24,145,095 \text{ Nmm}^2$, nilai kekakuan *bending spesifik* tertinggi terdapat pada spesimen dengan *2 layer skin* serat karbon sebesar $165,377 \text{ Nmm}^2$. (R.)

Oleh karena itu pada penelitian ini akan mencoba untuk memvariasikan bentuk struktur *ribs honeycomb* untuk melihat nilai kekuatan *bending* dan jenis kegagalan yang terjadi terhadap spesimen komposit menggunakan standar ASTM C393 dengan *2 layer skin* karbon fiber.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka perlu dirumuskan masalah-masalah apa saja yang dipecahkan/diselesaikan pada penelitian/perancangan ini. Kalimat rumusan masalah umumnya berbentuk kalimat tanya yang diturunkan dari pertanyaan penelitian.

1. Bagaimana pengaruh susunan struktur spesimen komposit PLA karbon fiber terhadap pengujian *bending*?
2. Jenis kegagalan apa yang terjadi terhadap spesimen?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut;

1. Dalam pengujian mekanik dilakukan dengan menggunakan standar ASTM C393.
2. Jenis material core spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah PLA dengan *skin* serat karbon menggunakan metode hand lay up dan *vacuum bagging*.
3. Pembuatan core spesimen menggunakan mesin 3D print under 6 dengan infill 100% dan infill pattern *gyroid*
4. Tebal core PLA yang digunakan adalah 2 mm dan 8mm *ribs honeycomb* dengan struktur yang divariasi dan tambahan *skin* karbon.
5. Pada setiap spesimen dilapisi dua layer karbon dibagian bawah core.
6. Pengujian yang dilakukan hanya menggunakan pengujian *bending*.
7. Pengujian *bending* dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.

1.4 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan dilakukannya penelitian yaitu;

1. Melakukan pengujian kekuatan *bending* spesimen *honeycomb* sebagai *ribs* kemudian dibandingkan dengan variasi struktur *honeycomb* yang dizig-zag sebagai *ribs* yang dilapisi serat karbon fiber dua layer pada masing-masing spesimen.
2. menganalisis kegagalan yang terjadi pada spesimen setelah dilakukan pengujian *bending*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui sifat mekanik spesimen
2. Mengetahui pengaruh kekuatan terhadap bentuk susunan struktur pada produk
3. Mengetahui bagaimana proses pembuatan komposit carbon fiber dengan menggunakan metode hand lay up dan *vacuum* bagging
4. Memberikan efisiensi dalam menggunakan material dan pengurangan biaya produksi
5. Berpotensi digunakan pada produk yang tertutup dimana hanya menggunakan satu sisi sebagai lapisan penguat carbon fiber.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

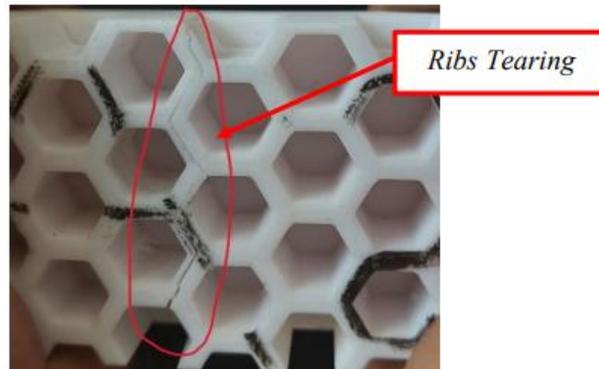
2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka yang digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini membandingkan antara spesimen yang digunakan dengan membedakan struktur susunan di amasing-masing spesimen. Namun sebelum masuk terlalu jauh sebagai bahan kajian bagi penulis, penelitian terlebih dahulu yang berkaitan dengan permasalahan yang diteliti sangat penting untuk diketahui. Hal ini, untuk menghindari terjadinya plagiarisme dan dapat diketahui bahwa penelitian yang dilakukan mempunyai arti penting seperti memberikan kontribusi penelitian terhadap ilmu pengetahuan dan hubungan antara penelitian sebelumnya dengan saat ini.

Kajian pustaka pertama (Olivianides, 2022) yaitu, melakukan pengujian bending terhadap spesimen komposit *sandwich* dengan memvariasikan jumlah *layer skin* yaitu non *skin*, 2, 3 dan 4 *layer* dengan menggunakan *core* 3D printing. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai kekakuan dari masing-masing lapisan terhadap pengujian *bending* yang mengacu pada standar pengujian *bending* ASTM D790. berdasarkan hasil pengujian yang didapatkan nilai kekakuan tertinggi yaitu pada variasi *skin 2 layer* dengan nilai 4.131.398,63 $KNmm^2$. Lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen 3 *layer* 2.675,6 $KNmm^2$ dan 4 *layer* 1.725,32 $KNmm^2$. sementara itu untuk non *layer* sebesar 394,18 $KNmm^2$

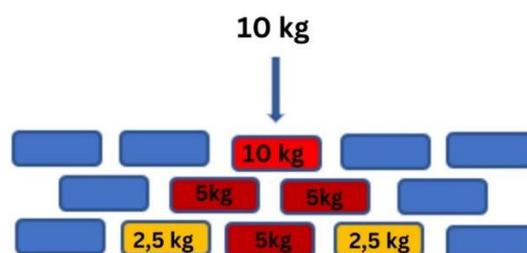
Kajian pustaka kedua adalah (Rokhman, 2023) pada penelitian ini, dilakukan pengujian *bending* menggunakan standar pengujian ASTM C393 terhadap spesimen komposit yaitu, penggabungan antara *core* 3D print berbahan PLA dengan karbon fiber. Panjang dari spesimen 200 *mm* dengan lebar 50 *mm* dan tebal keseluruhan 20 *mm*. selain itu, untuk tebal *ribs* sebesar 15 *mm* berbentuk heksagonal atau *haneycomb* dengan diameter 10 *mm* dan jarak antar *haneycomb* sebesar 3 *mm*. Jumlah spesimen sebanyak 6 spesimen yang terdiri

dari 3 spesimen tanpa *skin* serat karbon dan 3 dengan *skin* serat karbon untuk dijadikan pembandingan, dari hasil pengujian didapatkan jenis kegagalan yang terjadi yaitu terjadi kegagalan *ribs tearing* di setiap spesimen atau kerusakan pada *ribs* akibat beban tekan pada bagian atas, menyebabkan bagian bawah terjadi patahan akibat tegangan tarik. Kemudian untuk titik retakan berada pada bagian tengah atau jarak antar *haneycomb*-nya dapat dilihat pada gambar 2-1.



Gambar 2- 1 Jenis Kegagalan *Ribs* (Rokhman, 2023)

Kajian pustaka ketiga adalah (Lalu & Fauzy, 2019) kombinasi dari penerapan arsitektur modern dan lokal bangunan casablanca ditemukan pada dinding bangunan, yakni menggunakan material yang terbuat dari batu bata serta diproduksi secara lokal. Teknik susunan material batu bata berpola zig-zag sejajar, pada bagian dalam diletakkan beton untuk memperkuat strukturnya. Penerapan pola susunannya dan jenis bahan batu bata mempunyai dampak yang sangat baik yakni susunan zig-zag (*running bond*) memungkinkan beban satu batu bata di bagian atas dapat didistribusikan kepada dua batu bata tumpuannya secara merata dan juga secara langsung mengurangi suhu panas yang ada di dalam bangunan.



Gambar 2- 2 Pola Susunan Batu Bata zig-zag (*running bond*)

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

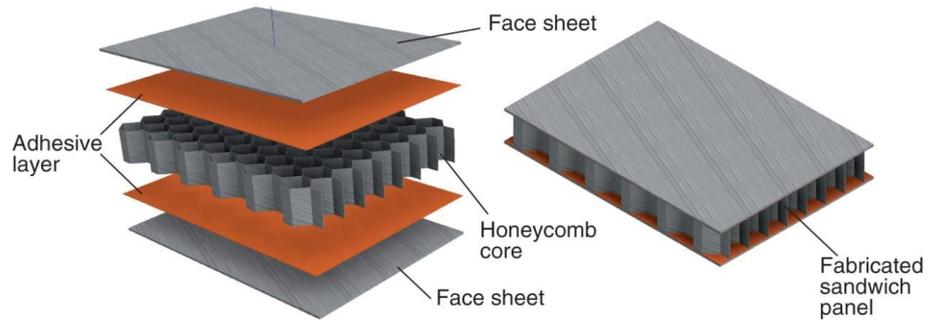
Komposit adalah kombinasi makroskopik dari dua material atau lebih yang memiliki sifat yang berbeda dari material penyusunnya kemudian dijadikan satu (Alamer & Aljawad, n.d.). Komposit berpenguat serat menunjukkan tingkat kekuatan yang lebih unggul daripada komposit yang mengandalkan partikel sebagai penguatnya. Komposit yang berpenguat serat, dasarnya terdiri dari serat-serat seperti matriks polimer, seperti resin sebagai bahan pengikatnya. Selain sebagai pengikat matriks ini juga berperan sebagai pengisi volume dan berfungsi untuk melindungi serat-serat tersebut.

Jenis-jenis komposit berdasarkan penguatnya dibagi menjadi 3 yaitu;

1. Komposit serat merupakan komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang fabrikasi, misalnya serat dan resin sebagai penguat.
2. Komposit terlapis merupakan komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus seperti *polywood*, *laminated glass* yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya.
3. Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriks. Partikel seharusnya berukuran kecil dan terdistribusi merata agar dapat menghasilkan kekuatan lebih seragam (SHIDA, 2019).

2.2.1.1 Komposit Sandwich

Menurut (Dadang Setiyawan, Respati, & Dzulfikar, 2020) komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal tetapi memiliki kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Banyak variasi dan definisi dari komposit *sandwich* akan tetapi faktor utama dari material tersebut adalah *core* yang ringan sehingga memperkecil berat material serta lapisan skin yang memberikan kekuatan terhadap komposit *sandwich*.



Gambar 2- 3 *Honeycomb Sandwich*

1. *Core*

Core adalah bagian yang penting dari *komposit sandwich*, dimana bagian ini harus cukup kaku agar jarak antara permukaan terjaga. Kekakuan *core* harus mampu menahan gesekan agar tidak terjadi *slide* antara permukaan. Bahan dengan tingkat kekakuan yang rendah tidak baik untuk *core*, karena kekakuan pada lapisan *sandwichnya* akan berkurang (Hidayat, Yudo, & Manik, 2016).

2. *Skin*

Skin adalah komponen yang sangat krusial dalam struktur *komposit sandwich*, berada pada lapisan yang melapisi *core*. Ada beberapa fungsi *skin*, termasuk untuk menahan tegangan tarik (*tensile stress*) dan tegangan tekan (*compressive stress*) dalam struktur tersebut. Akan tetapi *skin* seringkali memiliki tingkat kekuatan yang relatif lebih rendah dibanding dengan komponen lainnya (Hidayat, Yudo, & Manik, 2016).



Gambar 2- 4 Serat Carbon

3. *Matriks*

Matriks berfungsi sebagai pengikat *reinforcement* dan jika matriks mampu mengikat *reinforcement* dengan baik maka serat yang berfungsi sebagai pengikat sehingga tidak akan terjadi fenomena serat yang terlepas dari matriks (*fiber pull out*). Pada komposit *matriks* memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai berikut:

1. Memberikan tegangan pada serat.
2. Memberikan perlindungan bagi serat dari kerusakan yang diakibatkan oleh kondisi lingkungan.
3. Menjaga agar tetap stabil pada saat proses manufaktur berlangsung.
4. Membentuk ikatan terhubung dengan baik (Mokoagow, 2022).

2.2.2 3D Print

3D printing adalah proses pembuatan benda padat tiga dimensi dari suatu desain digital hingga menjadi produk hasil yang bervolume. Dengan adanya 3D printer memungkinkan pembuatan prototipe yang sangat cepat atau bisa disebut *rapid prototyping* (RP). RP mengacu pada fabrikasi layer by layer pada model fisik tiga dimensi langsung dari *Computer Aided Design* (CAD) (Wirawan & Sandy, 2023).

2.2.2.1 Polylactic Acid (PLA/PLA+)

Berbagai material cetak 3D telah tersedia di pasaran, salah satunya adalah jenis plastic yaitu *polylactic acid* (PLA). PLA adalah polimer thermoplastic yang terbuat dari sumber daya terbarukan. Ini membuat ramah lingkungan daripada *filament* lain yang dibuat melalui cara yang tidak dapat diperbarui (Syafa'at, Setyawan, & Mujiarto, 2022).

2.2.3 Struktur Honeycomb

Sarang yang dibangun lebah memiliki struktur heksagonal (segi enam), salah satu struktur material yang menarik untuk dikaji dan dianalisis. Pada satu unit sarang lebah terdapat susunan yang berbentuk prisma segienam dan posisi bawah yang terhubung dengan unit sel dibelakangnya memiliki bentuk limas segienam. Para ahli menyebutkan, penggunaan dinding berbentuk heksagonal meminimalkan jumlah bahan bangunan agar lebah memiliki kapasitas ruang yang maksimal. Karena dalam kapasitas yang sama memiliki keliling paling kecil (Meiwandari & Sriyanti, 2019).

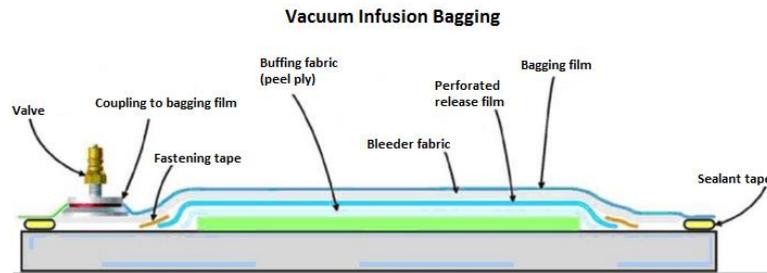


Gambar 2- 5 Struktur Honeycomb

2.2.4 Vacuum Bagging

Vacuum bagging adalah suatu metode pembuatan spesimen komposit dengan cara melakukan pengepresan dengan menggunakan kantong kedap udara untuk menekan suatu laminasi dari *gelcoat*, fiber dan lapisan lainnya pada

cetakan sampai lapisan menyatu sebagai suatu bahan komposit struktural (Bani, Mangesa, & Bale, 2017).



Gambar 2- 6 Metode *vacuum bagging*

2.2.5 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* (*Bending Test*) adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan dan perilaku lentur suatu benda uji atau material ketika dikenakan gaya lentur. Proses ini berguna untuk memahami bagaimana suatu bahan atau struktur akan merespon tekanan atau beban yang diberikan.



Gambar 2- 7 Pengujian *bending*

Bending memiliki beberapa bagian utama, seperti:

1. Rangka, sebagai penahan gaya balik yang terjadi pada saat melakukan uji *bending*. Rangka harus memiliki kekuatan lebih besar dari kekuatan alat tekan, agar tidak terjadi kerusakan pada rangka saat proses pengujian.

2. Alat tekan, merupakan alat yang memberikan gaya tekanan pada benda uji saat melakukan proses pengujian. Alat tekan harus lebih kuat dari spesimen pada saat ditekan.
3. Titik tekuk sebagai tumpuan benda uji dan penerus gaya tekan yang dilepaskan oleh tekanan. Panjang penopang titik lengkung yang pendek akan mempengaruhi hasil pengujian.
4. Alat ukur adalah alat yang mewakili besarnya kuat tekan yang ada pada benda yang diuji.

Pengujian lentur adalah suatu metode pengujian bahan dengan cara tekan untuk mendapatkan hasil berupa data kekuatan lentur bahan uji (ARIFADHILLAH, 2022).

Dari hasil yang didapatkan dari pengujian *bending* biasanya berupa data beban maksimal, defleksi (perpindahan relatif pada ujung spesimen yang ditebuk), dan tegangan *bending*. Dari data tersebut akan dilakukan perhitungan untuk mencari kekakuan *bending Flexural Rigidity* dan kekakuan *bending spesifik*, dengan rumus sebagai berikut:

- **Tegangan Max**

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

- **Kekuatan *Bending Flexural Rigidity***

$$D = E \cdot I = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \delta} \quad (Nmm^2) \quad (2.2)$$

- **Kekuatan *Bending Rigidity Spesifik***

$$D \cdot Spesifik = D/W \quad (Nmm^2/gr) \quad (2.3)$$

Keterangan:

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

P = Beban yang diberikan (N)

h = Tebal Spesimen (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

W = Berat spesimen ($gram$)

L = Jarak point (mm)

σ = Tegangan *Bending* (Mpa)

δ = Defleksi (mm)

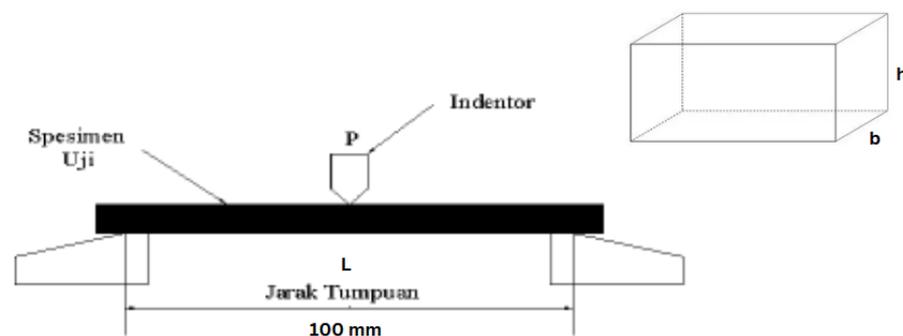
I = Momen inersia (mm^4)

D = Kekakuan *bending* (Nmm^2)

D Spesifik = Kekakuan Bending Spesifik (Nmm^2/gr)

2.2.6 ASTM C393

Pengujian *bending* ASTM C 393 yaitu metode standar pengujian yang digunakan untuk mengukur sifat mekanik dari komposit struktural yang diperkuat serat, pengujian ini berguna dalam menentukan kekuatan dan kekakuan bahan yang diuji. Pengujian *bending* dilakukan dengan pembebanan pada satu titik dengan memberikan jarak antara tumpuan sebesar 100 mm.



Gambar 2- 8 Pembebanan uji *bending*

2.2.7 Modus Kegagalan Pengujian *Bending* Komposit

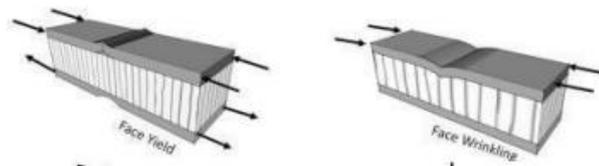
Dalam pengujian komposit akan mengalami berbagai macam beban diantaranya beban tarik, tekan, geser, lentur, dan puntir. Dan setiap struktur memiliki batas beban, akibatnya pemberian beban secara berlebihan akan

mengakibatkan kegagalan pada material. Modus kegagalan yang terjadi pada spesimen *honeycomb sandwich* adalah terlepasnya ikatan antara inti (*core*) dan kulit (*skin*). Kemudian terjadi juga kegagalan *wrinkling* dan *buckling* pada dinding sel inti (*core cell*). (Marsono, Anggraeni, & Faisal, 2021)

Ada dua kegagalan pada skin komposit sandwich yaitu;

kegagalan *face yield*, pada umumnya kegagalan ini terjadi pada bagian *skin* komposit *sandwich* yang relatif tipis dibandingkan dengan bagian *core*. kegagalan ini terjadi akibat tegangan normal nilainya lebih besar dari tegangan luluh material dan apabila material memiliki sifat getas maka kegagalan *face yield* kemungkinan besar terjadi pada bagian atas disebabkan bagian atas lebih rentan terhadap tegangan tekan.

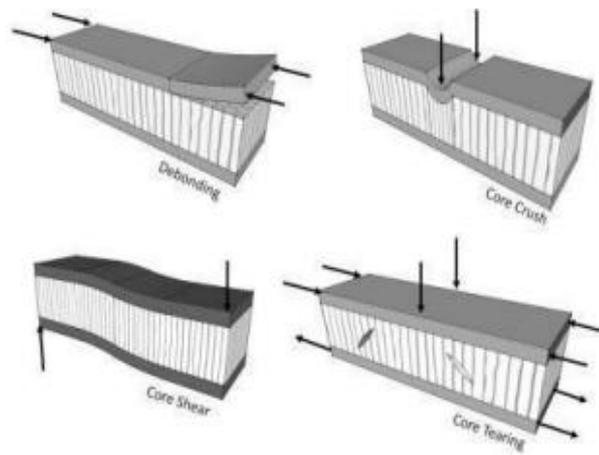
Kegagalan *face wrinkling*, kegagalan ini terjadi akibat fenomena buckling pada bagian skin atas akibat tegangan tekan dan kurangnya dukungan dari *core* karena dimensi struktur atau karena densitas yang rendah.



Gambar 2- 9 Jenis kegagalan *Skin* (Rokhman, 2023)

Selanjutnya adalah modus kegagalan yang terjadi pada *core* ada 4 jenis yaitu;

1. *Debonding*, merupakan kegagalan yang terjadi ketika terlepasnya bagian *skin* dengan *core*.
2. *Core crush*, yaitu salah satu kegagalan yang terjadi pada *core* diakibatkan oleh deformasi pada bagian tengah *core* akibat tekanan dari pembebanan. Kegagalan ini ditandai dengan bentuk spesimen pada bagian *core* berubah bentuk menjadi melengkung di daerah yang diberikan tegangan normal
3. *Core shear*, adalah bentuk kegagalan pada *core* yang terjadi deformasi kearah vertikal disebabkan beban geser.
4. *Core tearing*, kegagalan *core* pada komposit sandwich ketika *core* patah akibat gabungan tegangan normal dan tegangan geser.

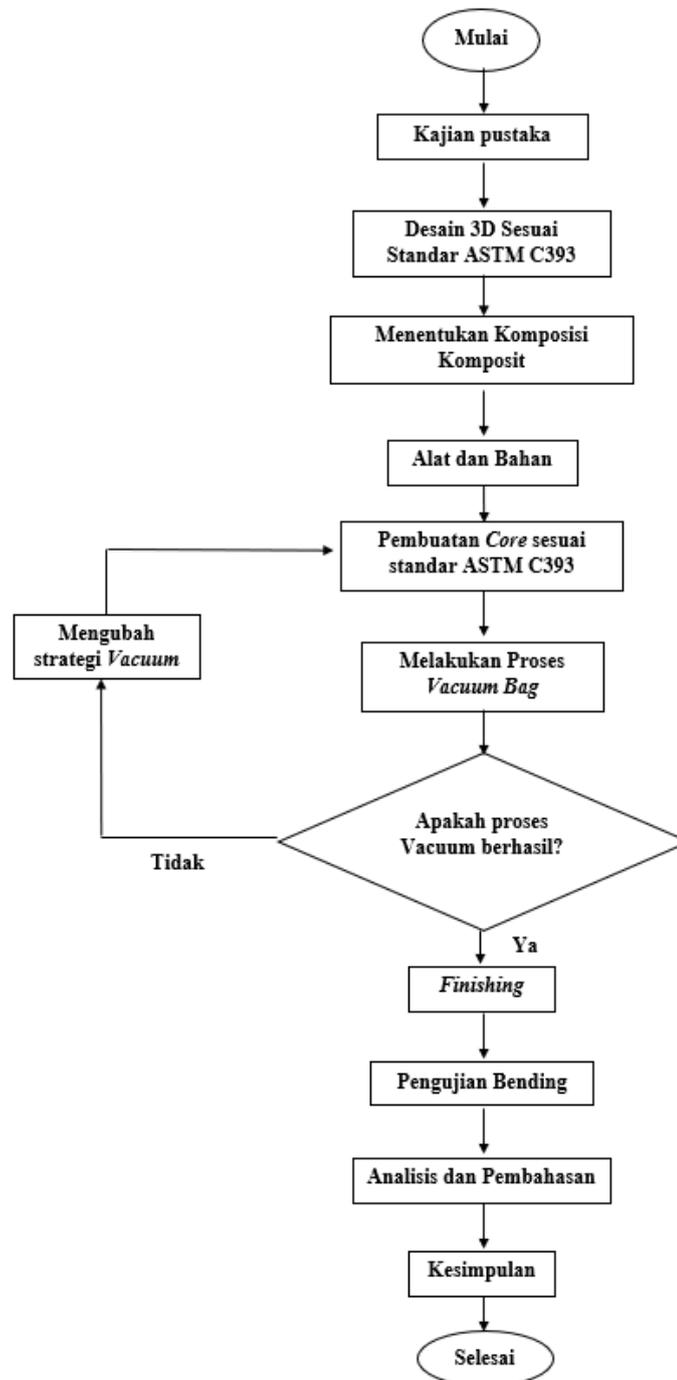


Gambar 2- 10 Jenis Kegagalan pada *core* (Rokhman, 2023)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3- 1 Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

1. 3D printing

Untuk mencetak atau membuat spesimen menggunakan *3D print* dengan merek Creality 3D dengan seri Ender 6 sesuai dengan yang ditunjukkan pada gambar 3-2.



Gambar 3- 2 Mesin 3D Print Seri Ender 6

2. Filamen PLA+

Bahan yang digunakan untuk membuat bagian core pada spesimen menggunakan material *Polylactic acid* (PLA+), lihat pada gambar 3-3.



Gambar 3- 3 Filamen PLA+

3. Vacuum Pump

vacuum pump adalah alat yang digunakan untuk menyedot udara dari dalam plastik *vacuum* yang bertujuan agar plastik menyusut dan mengepres mengikuti bentuk spesimen, lihat pada gambar 3-4



Gambar 3- 4 *Vacuum Pump*

4. *Reservoir Pot*

Terdapat barometer pada alat ini yang berfungsi sebagai pengukur tekanan yang terjadi dalam *vacuum bag*, selain itu alat ini juga berfungsi untuk menampung sisa resin yang berlebihan dari cetakan agar tidak langsung tersedot oleh pompa yang bisa mengakibatkan kerusakan pada pompa, lihat pada gambar 3-5



Gambar 3- 5 *Reservoir Pot*

5. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat dari spesimen sebelum dan sesudah pelapisan serat karbon juga berfungsi sebagai alat pengukur perbandingan takaran dari resin dan hardener, lihat pada gambar 3-6



Gambar 3- 6 Timbangan

6. *Valve*

Valve atau keran digunakan untuk membuka dan menutup jalur aliran udara dan resin, selain itu juga digunakan untuk menjaga *vacuum bag* agar tetap menyusut mengikuti bentuk spesimen, lihat pada gambar 3-7



Gambar 3- 7 Valve

7. *Vacuum Bag*

Vacuum bag memiliki fungsi sebagai wadah untuk meletakkan spesimen komposit yang kemudian dilakukan proses *vacuum*. Alat ini berbahan plastik tahan panas yang cukup kuat untuk menahan tekanan yang diberikan pompa dan menahan panas yang diberikan oleh resin, lihat pada gambar 3-8



Gambar 3- 8 Vacuum Bag

8. *Pell ply* (kain Nylon)

Pell ply adalah bahan yang digunakan sebagai lapisan pembatas antara serat karbon dengan *breathe bleeder fabric* atau paranet, ini bertujuan untuk memudahkan proses pelepasan *breathe bleeder fabric* dari spesimen. Lihat pada gambar 3-9.



Gambar 3- 9 Pell Ply

9. *Breathe Bleeder Fabric*

Bahan ini berfungsi untuk menyerap resin yang berlebihan dari komposit yang sedang dibuat agar tidak tersebar ke area spesimen yang tidak diinginkan. Lihat pada gambar 3-10



Gambar 3- 10 *Breathe Bleeder Fabric*

10. Selang

Selang berfungsi sebagai saluran *vacuum* dari plastik *vacuum* ke reservoir untuk menghisap udara yang ada di dalam *vacuum* bag.



Gambar 3- 11 Selang

11. *Sealant Tape*

Sealant tape merupakan perekat yang digunakan sebagai perekat *vacuum* bag agar tidak terjadi kebocoran udara yang menyebabkan tekanan didalam plastik *vacuum* berkurang, lihat pada gambar 3-11



Gambar 3- 12 *Sealant Tape*

12. Serat karbon

Serat karbon yang digunakan pada penelitian ini menggunakan serat karbon kevlar fiber fabric 3k 2x2 200 gsm plain & twill *grate* A/200/100/0.5 lihat pada gambar 3-12.



Gambar 3- 13 Serat Karbon

13. Lem ALF

Lem ALF digunakan sebagai perekat untuk menempelkan skin berbahan serat karbon dengan *core* berbahan PLA digunakan lem ALF berbasis resin epoxy agar antara skin dengan *core* dapat merekat kuat. Lem ini digunakan sebelum proses *vacuum* agar skin tidak mudah bergeser, Gambar 3-17 menunjukkan bentuk dari lem ALF. Lihat pada gambar 3-13



Gambar 3- 14 Lem ALF

14. Resin Epoxy

Resin Epoxy merupakan senyawa kimiawi yang didapatkan dari proses polimerisasi epoksida. Epoxy berfungsi sebagai perekat antara core 3D printing dan serat karbon kemudian hardener adalah senyawa kimia yang berfungsi untuk membantu mempercepat proses pengerasan pada epoksi.



Gambar 3- 15 Resin Epoxy

15. Jangka sorong

Berfungsi sebagai alat untuk mengukur ketebalan, lebar dan panjang *skin* sebelum dan sesudah dilapisi *skin*.



Gambar 3- 16 Jangka Sorong

16. Kuas

Berfungsi untuk pemberian dan meratakan lem dan resin pada saat proses *skinning*.



Gambar 3- 17 Kuas

17. Gunting

Gunting berfungsi untuk memotong serat karbon, membuka plastik *vacuum*, memotong lakban, dan memotong serat karbon yang berlebih setelah melakukan proses *vacuum*.



Gambar 3- 18 Gunting

18. Gelas plastik

Gelas plastik berfungsi sebagai wadah untuk mencampurkan *Resin Epoxy* dengan *hardener*.

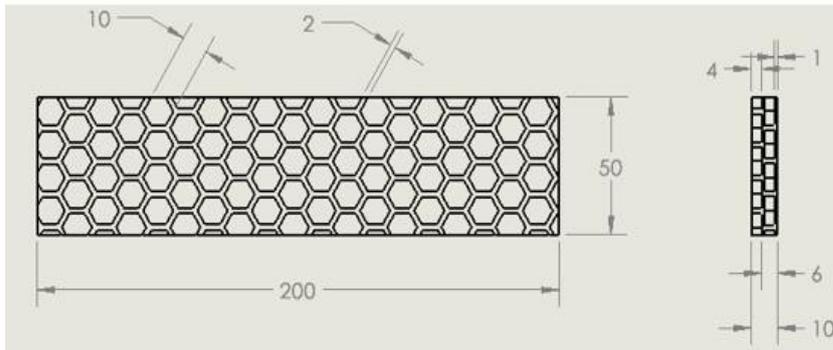
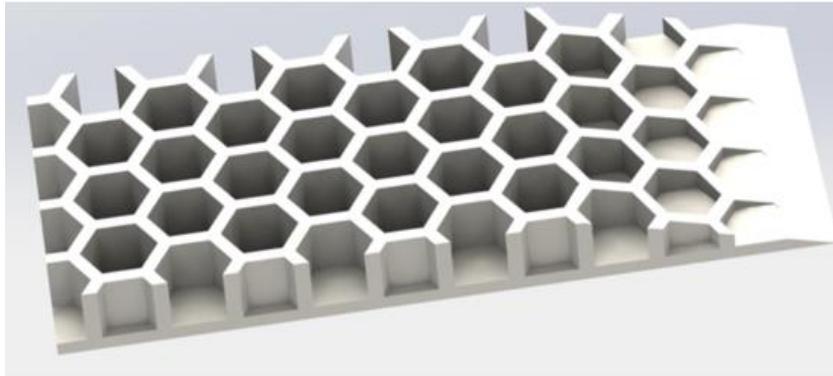


Gambar 3- 19 Gelas Plastik

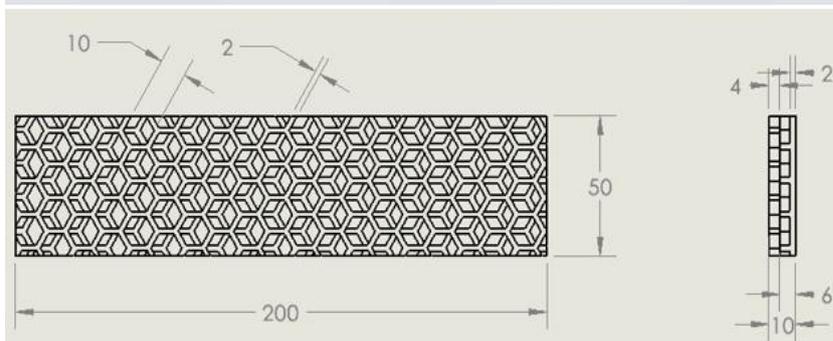
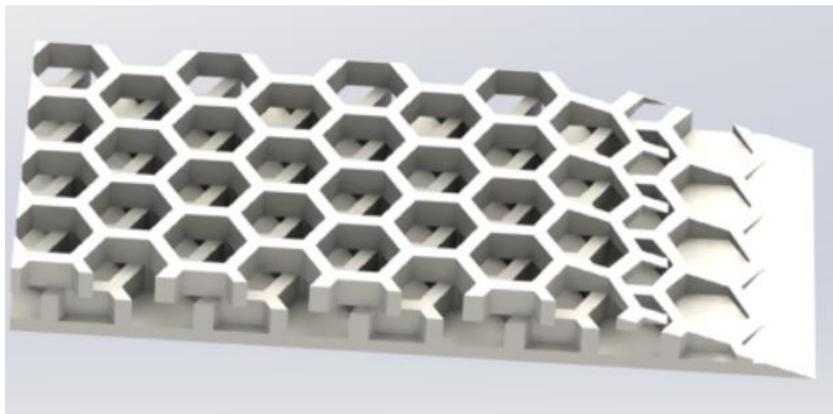
3.3 Perancangan

Pengujian *bending* dilakukan menggunakan standar ASTM C393 dengan spesimen komposit menggunakan core PLA+ dengan *infill* 100% dengan *fill pattern gyroid*.

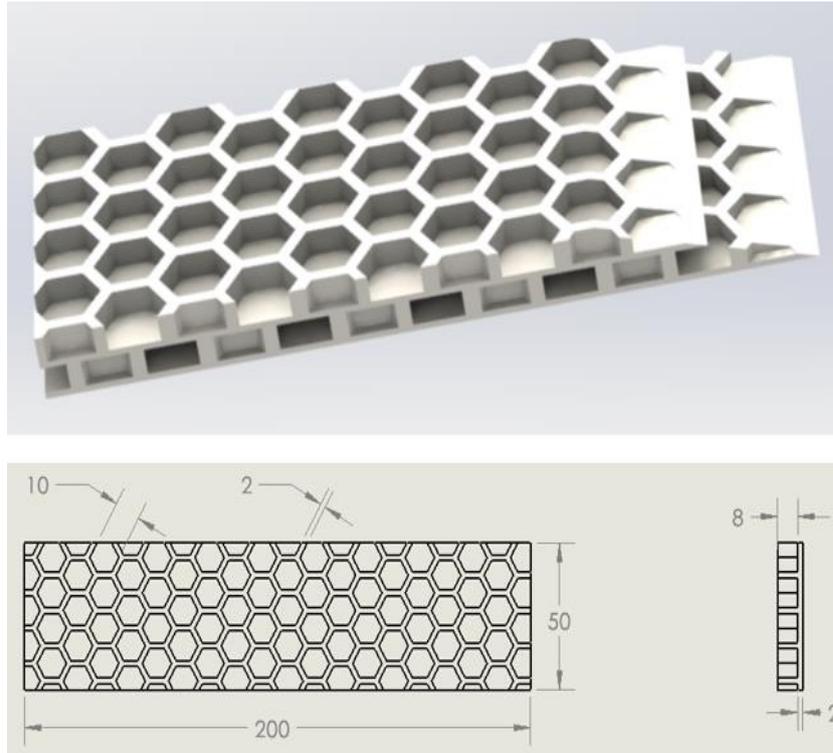
Gambar gambar 3-21 menunjukkan dimensi spesimen yang akan dibuat pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM C393. Pada penelitian ini dibuat dengan core berbahan Polylactic (PLA) Acid dengan ketebalan 10mm, panjang 200mm, dan lebar 50mm. Dengan tiga variasi struktur zig-zag honeycomb sebagai pembanding yaitu; lantai dasar 2 mm sebagai *core* dan *honeycomb* 8 mm sebagai *ribs* (2.8), yang dibandingkan dengan susunan struktur *honeycomb* zig-zag yaitu lantai dasar 2 mm sebagai *core* dan tumpukan *honeycomb* zig-zag masing-masing 4 mm sebagai *ribs* (2.4.4), dan struktur dengan lantai dasar 1mm sebagai *core* dan *honeycomb* 4 mm kemudian lapisan lantai 1mm dan *honeycomb* 4 mm zig-zag sebagai *ribs* (1.4.1.4). Dimensi dan struktur spesimen uji *bending* variasi struktur zig-zag pada honeycomb.



Gambar 3- 20 Dimensi dan struktur Spesimen 2.8

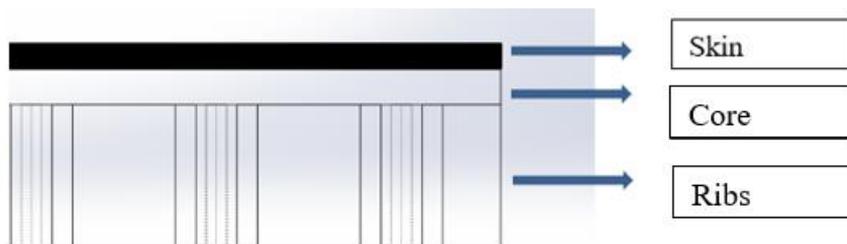


Gambar 3- 21 Dimensi dan struktur spesimen 2.4.4



Gambar 3- 22 Dimensi dan struktur spesimen 1.4.1.4

3.3.1 Susunan Lapisan Komposit



Gambar 3- 23 Susunan Lapisan Komposit

Susunan dari setiap lapisan komposit terdiri dari tiga bagian yaitu *skin* yang menggunakan serat karbon menempel pada bagian *core* yang terletak pada bagian lapisan kedua kemudian yang terakhir adalah *ribs* yang memiliki bentuk *honeycomb* atau sarang lebah yang mempunyai enam sisi dalam bentuk *ribs* nya, dalam hal ini *ribs* dapat disebut juga dengan *core* karena menjadi satu kesatuan. *Core* dan *ribs* dibuat menggunakan material berbahan PLA dan dibentuk menggunakan *3D print*.

3.3.2 Pembuatan *Ribs* dengan 3D Printing



Gambar 3- 24 Proses Pemesinan Spesimen 3D Print PLA

Gambar 3-24 menunjukkan proses pembuatan spesimen menggunakan 3D print dengan filamen PLA yang dimensinya mengikuti standar ASTM C393 dengan variasi struktur susunan *honeycomb* yaitu; lantai dasar 2 mm sebagai *core* dan *honeycomb* 8 mm sebagai *ribs* (2.8), yang dibandingkan dengan susunan struktur *honeycomb* zig-zag yaitu lantai lantai dasar 2 mm sebagai *core* dan tumpukan *honeycomb* zig-zag masing-masing 4 mm sebagai *ribs* (2.4.4), dan struktur dengan lantai dasar 1mm sebagai *core* dan *honeycomb* 4 mm kemudian lapisan lantai 1mm dan *honeycom* 4 mm zig-zag sebagai *ribs* sebagai *ribs* (1.4.1.4).

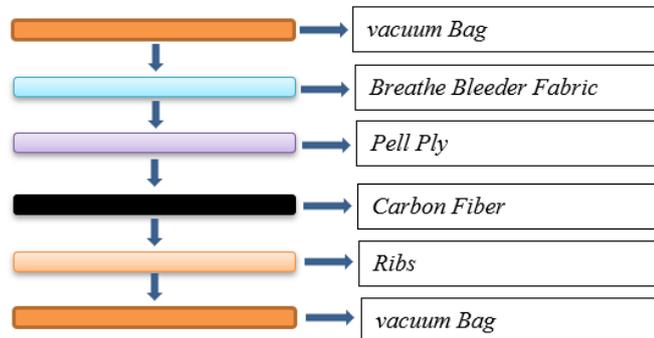
Tabel 3- 1 Parameter Proses Pembuatan Pesimen

Bahan	PLA
<i>Infil</i>	100%
Suhu <i>bed</i>	60°C
Suhu nozzle	220°C
<i>Speed</i>	100mm/s
<i>Layer thickness</i>	0.06mm
<i>Fill pattern</i>	<i>gyroid</i>

Pada tabel 3-1 menunjukkan parameter yang digunakan dalam proses pemesinan 3D menggunakan filamen jenis PLA, dengan *infil* 100%,

suhu *bed* 60°C, suhu *nozzel* 220°C, *speed* 100 mm/s dengan menggunakan *fill pattern gyroid*.

3.3.3 Skema Lapisan *Vacuum*



Gambar 3- 25 Skema Lapisan *Vacuum*

Gambar 3-25 menunjukkan urutan lapisan yang digunakan dalam proses *vacuum bagging* dimana lapisan terluar dibungkus dengan plastik *vacuum* (*vacuum bag*) kemudian *Breathe Bleeder Fabric* lalu *pell ply* kemudian lapisan *skin* berupa dua *layer* serat karbon yang sebelumnya sudah ditempelkan pada *ribs* menggunakan lem ALF dengan metode *hand lay up*.

3.3.4 Proses *Vacuum*

1. Proses komposit penyatuan serat karbon dan spesimen dengan cara *hand lay up*



Gambar 3- 26 Proses Penyatuan *Skin* dan Spesimen dengan Metode *Hand Lay Up*

Gambar 3-26 memperlihatkan proses penyatuan karbon dan spesimen menggunakan metode *hand lay up*. proses komposit ini menggunakan 2 lapis karbon dibagian bawah spesimen dengan lem ALF.

2. Proses *vacuum* menggunakan *Reshin Epoxi* dengan metode *hand lay up*



Gambar 3- 27 pemberian resin sebelum di *vacuum*

Gambar 3-27 memperlihatkan proses pemberian *reshin epoxi* dengan takaran 2:1 dan kemudian dilapisi dengan *peel ply* sebelum ke proses *vacuum*.

3. Menyusun spesimen komposit, plastik *vacuum*, *butyl tape*, *peel ply* dan pemasangan selang.



Gambar 3- 28 Susunan komposit

Proses penyusunan spesimen kedalam vacum bag yang bertujuan agar proses penyatuan serat karbon menempel lebih kuat.

4. Proses *vacuum*



Gambar 3- 29 Proses *Vacuum*

Setelah proses penyusunan selanjutnya adalah proses *vacuum* yang dilakukan sampai spesimen mengepres dengan sempurna dan kemudian di diamkan selama 24 jam.

3.4 Langkah Pengujian *Bending*

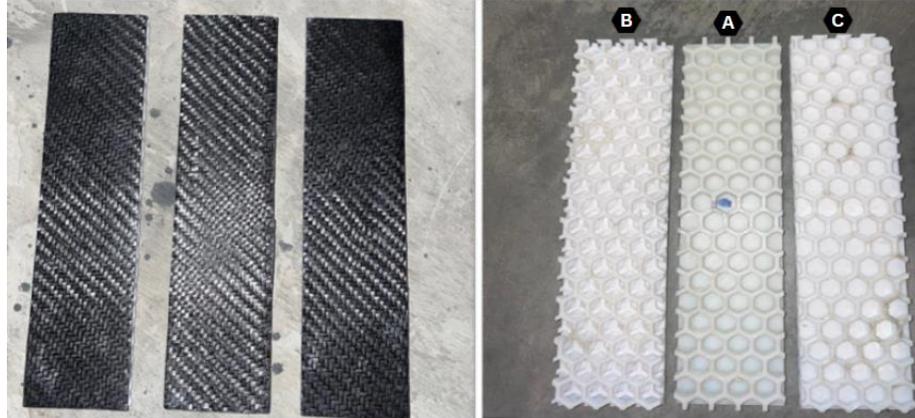
Pengujian *bending* dilakukan menggunakan mesin uji *bending* menggunakan standa ASTM C393, berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan proses pengujian *bending*;

1. Menyiapkan spesimen dengan mengukur ulang dimensi panjang, lebar, dan tebal spesimen menggunakan jangka sorong.
2. Menyiapkan mesin uji *bending* dengan mengatur jarak antar tumpuan sebesar 100 mm dan mengatur pengambilan grafik.
3. Meletakkan spesimen uji pada tumpuan tepat pada titik tengah serta sesuai dengan jarak antara 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.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengerjaan



Gambar 4- 1 Hasil setelah *vacuum baking core PLA*

Gambar 3-30 diatas adalah hasil spesimen yang telah ditambahkan skin karbon dan telah melawati proses vacum dan tahap finishing. Kode A adalah spesimen yang memiliki susunan struktur lantai dasar 2 mm dan tumpukan honeycomb 8 mm (2.8), susunan struktur *honeycomb zig-zag* dengan lantai dasar 2 mm sebagai *core* dan tumpukan *honeycomb zig-zag* masing-masing 4 mm sebagai *ribs* (2.4.4) yang diberi kode spesimen B, lantai dasar 1mm sebagai *core* dan honeycom 4 mm sebagai *ribs* kemudian lapisan lantai 1mm dan *honeycom* 4 mm zig-zag sebagai *ribs* (1.4.1.4) yang diberi kode spesimen C.

Tabel 4- 1 Hasil pengerjaan

No	Kode Spesimen	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Lebar Awal (mm)	Lebar Akhir (mm)	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Tebal Skin
1	A1 (1.8)	54	62,8	50,2	50,2	10,6	10,9	0,3
2	A2 (1.8)	51	60	50,6	50,6	10,3	10,8	0,5
3	A3 (1.8)	50	63	50,7	50,7	10,3	11	0,7
4	B1(2.4.4)	55	63,8	50,1	50,1	10,7	10,9	0,2
5	B2 (2.4.4)	52	60,4	50,6	50,6	10,4	10,9	0,5

6	B3 (2.4.4)	53	63,2	50,5	50,5	10,3	11,2	0,9
7	C1 (1.4.1.4)	55	63,8	50,2	50,2	10,7	10,8	0,1
8	C2 (1.4.1.4)	53	60	50,3	50,3	10,3	11,1	0,8
9	C3 (1.4.1.4)	52	63	50,9	50,9	10,4	10,9	0,5

4.2 Pengujian *Bending*

Pengujian yang dilakukan terhadap spesimen uji adalah pengujian *bending* untuk mendapatkan nilai kekakuan *bending* dari total 9 spesimen yang dibagi menjadi 3 jenis susunan struktur yang berbeda yaitu, spesimen dengan struktur lantai dasar 2 mm sebagai *core* dan *honeycomb* 8 mm sebagai *ribs* (2.8) yang diberi kode spesimen A, dibandingkan dengan susunan struktur *honeycomb* zig-zag dengan lantai dasar 2 mm sebagai *core* dan tumpukan *honeycomb* zig-zag masing-masing 4 mm sebagai *ribs* (2.4.4) yang diberi kode spesimen B, lantai dasar 1mm sebagai *core* dan *honeycom* 4 mm sebagai *ribs* kemudian lapisan lantai 1mm dan *honeycom* 4 mm zig-zag sebagai *ribs* (1.4.1.4) yang diberi kode spesimen C.

Pengujian dilaksanakan di laboratorium Bahan Teknik UGM dengan menggunakan standar ASTM C393. Menggunakan *threepoint bending* pada mesin *Universal Testing Machine* yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4- 2 Pengujian *Bending*

4.3 Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian *bending* terhadap spesimen *skin* karbon dua *layer* yang dilakukan didapatkan hasil data berupa nilai tekanan atau beban maksimal, nilai defleksi, dan tegangan *bending* serta grafik beban berbanding defleksi dari setiap spesimen seperti pada tabel berikut.

Tabel 4- 2 Hasil Perhitungan

No	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	P Max (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan <i>Bending</i> (Mpa)
1	A1 (2.8)	10,90	50,20	0,52	9,11	13,08
2	A2 (2.8)	10,80	50,58	0,60	6,10	15,26
3	A3 (2.8)	11,00	50,70	0,71	5,20	17,36
4	B1 (2.4.4)	10,90	50,12	0,50	7,56	12,59
5	B2 (2.4.4)	10,98	50,60	0,56	6,75	13,77
6	B3 (2.4.4)	11,20	50,48	0,66	6,51	15,63
7	C1 (1.4.1.4)	10,85	50,24	0,66	6,56	16,74
8	C2 (1.4.1.4)	11,10	50,32	0,83	4,31	20,08
9	C3 (1.4.1.4)	10,98	50,96	0,74	3,71	18,07

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa rata-rata beban maksimal dan tegangan *bending* tertinggi terletak pada spesimen dengan kode C yaitu spesimen dengan lantai dasar 1 mm sebagai *core* dan *honeycom* 4 mm sebagai *ribs* kemudian lapisan lantai 1 mm dan *honeycom* 4 mm sebagai *ribs* di zig-zag (1.4.1.4). Nilai beban maksimal tertinggi yang dapat ditahan oleh material komposit ada pada material dengan kode spesimen C2 sebesar 0,83 KN yang juga memiliki nilai tegangan *bending* terbesar yaitu sebesar 16,06 Mpa. Sedangkan nilai beban terendah ada pada spesimen dengan kode B1 yaitu sebesar 0,50 KN yang juga memiliki nilai tegangan *bending* terendah yaitu sebesar 10,08 Mpa.

4.4 Analisis dan Perhitungan

Dari proses pengujian yang telah dilakukan menyebabkan kegagalan atau kerusakan pada spesimen terhadap pemberian 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 *ribs* terjadi kegagalan *ribs tearing*.

4.5 Perhitungan

Dari data yang telah didapatkan dari hasil pengujian *bending* dilakukan pengolahan data untuk mencari nilai kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik dari setiap spesimen menggunakan persamaan 2.1, 2.2 dan 2.3 yang ada pada bab 2.

Tabel 4- 3 Hasil Perhitungan Spesimen

Kode Spesimen	Defleksi (mm)	Berat (gram)	Tegangan Max (Mpa)	Kekakuan <i>Bending</i> (N.mm ²)	Rerata Kekakuan <i>Bending</i> (N.mm ²)	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik (N.mm ² /gr)	Rerata Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik (N.mm ² /gr)
A1 (2.8)	9,11	62,80	13,08	4.791.667	5.798.611	76.300	93.610
A2 (2.8)	6,10	60,00	15,26	5.625.000		93.750	
A3 (2.8)	5,20	63,00	17,36	6.979.167		110.780	
B1 (2.4.4)	7,56	63,80	12,59	4.791.667	5.106.481	75.104	81.437
B2 (2.4.4)	6,75	60,40	13,77	3.583.333		59.327	
B3 (2.4.4)	6,51	63,20	15,63	6.944.444		109.880	
C1 (1.4.1.4)	6,56	63,80	16,74	9.791.667	9.560.185	153.474	153.377
C2 (1.4.1.4)	4,31	60,00	20,08	8.611.111		143.519	
C3 (1.4.1.4)	3,71	63,00	18,07	10.277.778		163.139	

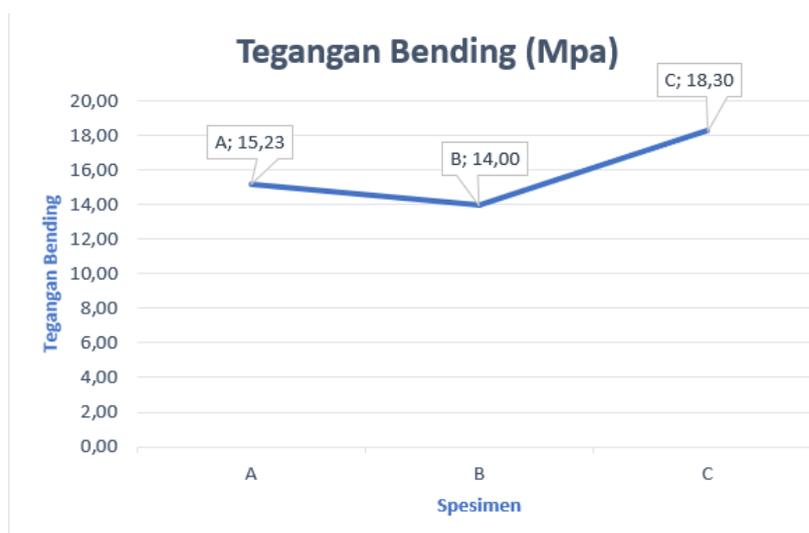
Hasil perhitungan yang telah dioalah disajikan dalam bentuk tabel 4-2 diatas dan didapatkan bahwa nilai rata-rata kekakuan *bending* pada spesimen dengan kode A yaitu 5.798.611 N.mm² dan spesimen B mempunyai nilai kekakuan *bending* 5.106.481 N.mm² kemudian untuk spesimen C mempunyai nilai sebesar 9.560.185 N.mm². Kemudian untuk rata-rata nilai kekakuan *bending* spesifik pada spesimen A sebesar 93.610 N.mm²/gram dan spesimen B sebesar 81.437

$N.mm^2/gram$ kemudian nilai rata-rata kekakuan *bending* spesifik spesimen C sebesar $153.377 N.mm^2/gram$.

4.6 Pembahasan

Hasil dari data yang telah didapatkan dari pengujian *bending* terhadap spesimen komposit berbahan PLA dengan *infill* 100% sebagai *ribs* dan *skin* berupa 2 *layer* serat karbon yang sebelumnya sudah direkatkan pada *core* bagian atas berdasarkan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa pemberian serat karbon 2 *layer* mempunyai hasil yang lebih baik dibandingkan dengan spesimen yang mempunyai *skin* 3 *layer*, 4 *layer*, dan *non layer*. Selanjutnya mengamati jenis kegagalan atau pola kerusakan yang terjadi pada *ribs* spesimen, juga untuk mengetahui nilai kekuatan *bending* dari setiap spesimen untuk menjawab hasil penelitian sebelumnya, yang menyatakan bahwa jenis kegagalan yang terjadi yaitu; terjadi kegagalan *ribs tearing* disetiap spesimen atau kerusakan pada *ribs* akibat beban tekan yang diberikan dari bagian atas spesimen menyebabkan bagian bawah terjadi patahan akibat tegangan tarik yang menghasilkan retakan pada bagian tengah atau jarak antara *haneycomb*-nya.

4.6.1 Tegangan Bending

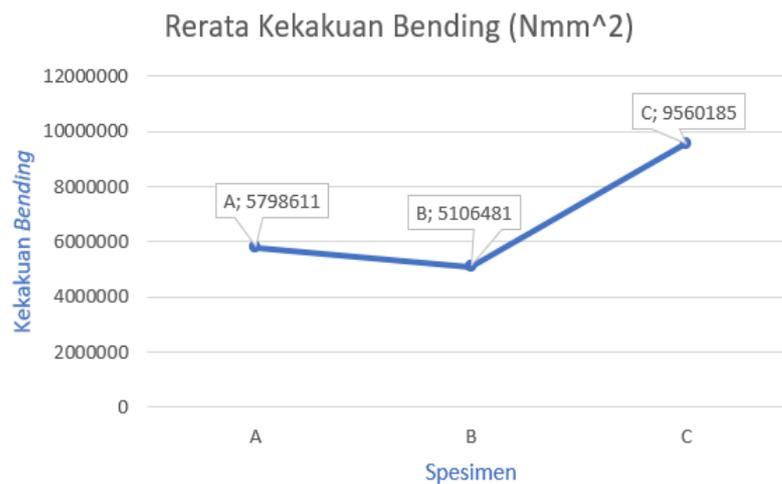


Gambar 4- 3 Garafik Tegangan *Bending*

Gambar diatas menunjukkan grafik rata-rata tegangan *bending*, dengan huruf yang mewakili masing-masing kode spesimen dari grafik dapat dilihat bahwa

tegangan *bending* yang paling tinggi adalah spesimen *honeycomb* 1.4.1.4 yaitu struktur dengan lantai dasar 1mm sebagai *core* dan *honeycom* 4 mm kemudian lapisan lantai 1mm dan *honeycom* 4 mm zig-zag sebagai *ribs* sebesar 18,30 Mpa dan tegangan *bending* yang paling rendah pada spesimen 2.4.4 yaitu struktur dengan susunan lantai dasar 2 mm sebagai *core* dan tumpukan *honeycomb* zig-zag masing-masing 4 mm sebagai *ribs* sebesar 14,00 Mpa.

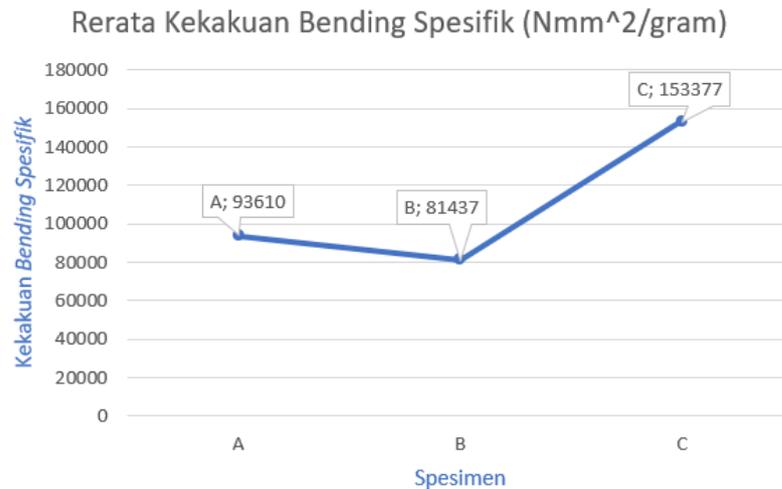
4.6.2 Kekakuan *Bending*



Gambar 4- 4 Grafik Kekakuan *Bending*

Gambar diatas adalah grafik kekakuan *bending* dapat dilihat bahwa spesimen yang mempunyai kode C dengan susunan struktur 1.4.1.4 yaitu struktur dengan lantai dasar 1mm sebagai *core* dan *honeycomb* 4 mm kemudian lapisan lantai 1mm dan *honeycom* 4 mm zig-zag sebagai *ribs* dengan nilai rata-rata kekakuan *bending* 9.560.185 N.mm² lebih tinggi dibanding spesimen dengan kode A yang mempunyai nilai rata-rata kekakuan *bending* 5.798.611 N.mm² dan spesimen B yang mempunyai nilai kekakuan *bending* 5.106.481 N.mm².

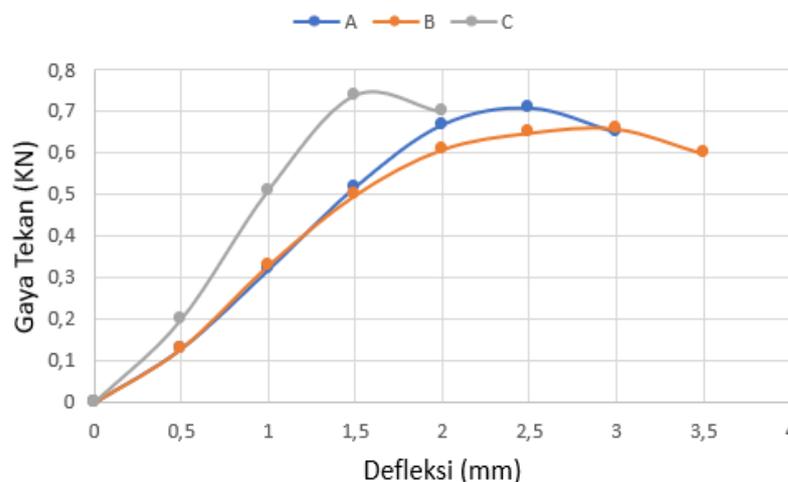
4.6.3 Kekakuan *Bending* Spesifik



Gambar 4- 5 Grafik Kekakuan *Bending* Spesifik

Sedangkan untuk rata-rata nilai kekuan *bending* spesifik dapat dilihat pada gambar diatas. Dari grafik dapat dibaca bahwa pada spesimen C memiliki nilai kekakuan *bending* spesifik sebesar $153.377 N.mm^2/gram$ lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen A sebesar $93.610 N.mm^2/gram$ dan spesmen C sebesar $81.437 N.mm^2/gram$.

4.6.4 Grafik Uji antara Gaya Tekan vs *Defleksi*



Gambar 4- 6 Grafik Gaya Tekan vs *Defleksi*

Gambar 4-6 memperlihatkan grafik gaya tekan vs *defleksi* yang diambil dari spesimen yang memiliki nilai gaya tekan tertinggi dengan nilai defleksi yang

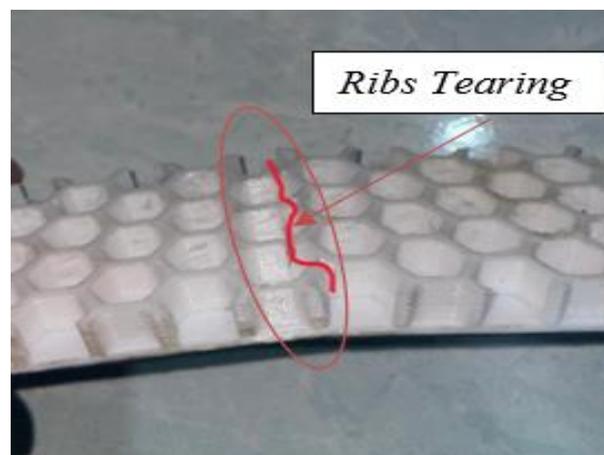
rendah dari masing-masing spesimen. Dari hasil grafik menyatakan bahwa spesimen A memiliki beban sebesar 670 N dengan defleksi 2 mm sebelum mengalami deformasi plastis, spesimen B memiliki beban sebesar 500 N dengan defleksi 1,5 mm sebelum mengalami deformasi plastis, dan spesimen C memiliki beban sebesar 740 N dengan defleksi sebesar 1,5 mm.

4.6.5 Analisis Kegagalan Spesimen

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

1. Spesimen A1

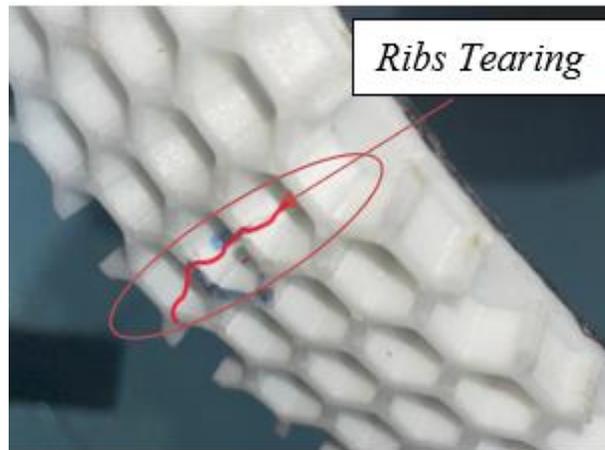
Hasil pengamatan yang didapatkan dari spesimen A1 adalah terjadi kegagalan *ribs Tearing* akibat beban tekan dari atas spesimen menyebabkan bagian bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada bagian bawah akibat beban yang melebihi kekuatan material.



Gambar 4- 7 Modus Kegagalan Spesimen A1

2. Spesimen A2

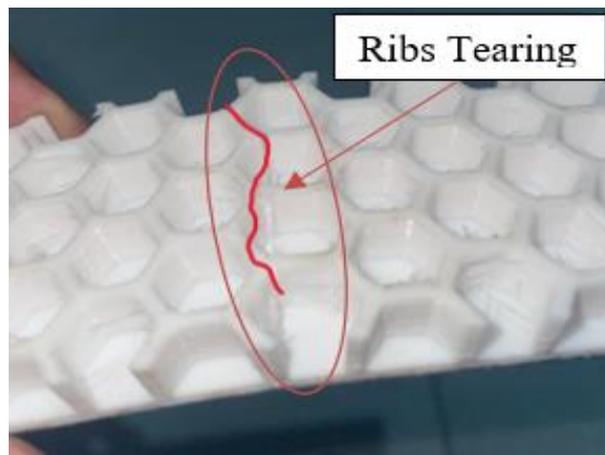
Hasil pengamatan yang didapatkan dari spesimen A2 terjadi kegagalan *ribs tearing* akibat beban tekan dari atas spesimen menyebabkan bagian bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada bagian bawah akibat beban yang melebihi kekuatan material.



Gambar 4- 8 Modus Kegagalan Spesimen A2

3. Spesimen A3

Hasil pengamatan yang didapatkan dari spesimen A3 terjadi kegagalan *ribs tearing* akibat beban tekan dari atas spesimen menyebabkan bagian bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada bagian bawah akibat beban yang melebihi kekuatan material.

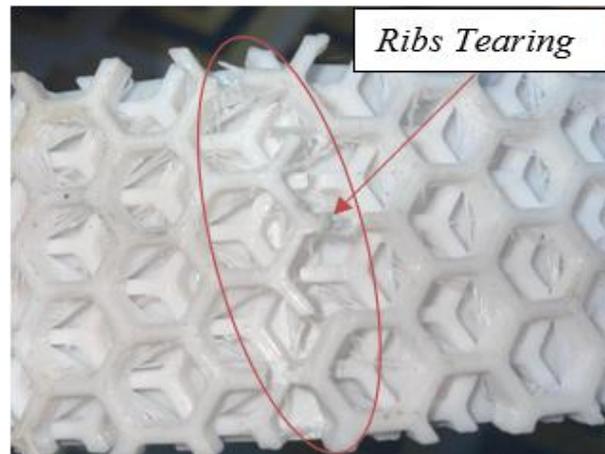


Gambar 4- 9 Modus Kegagalan Spesimen C3

4. Spesimen B1

Hasil pengamatan yang didapatkan dari spesimen B1 terjadi kegagalan *ribs tearing* akibat beban tekan dari atas spesimen menyebabkan bagian bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada bagian bawah dan lapisan kedua strukturnya akibat beban yang melebihi kekuatan material.

Patahan yang terjadi pada lapisan pertama dan lapisan kedua spesimen ini tidak sejajar.



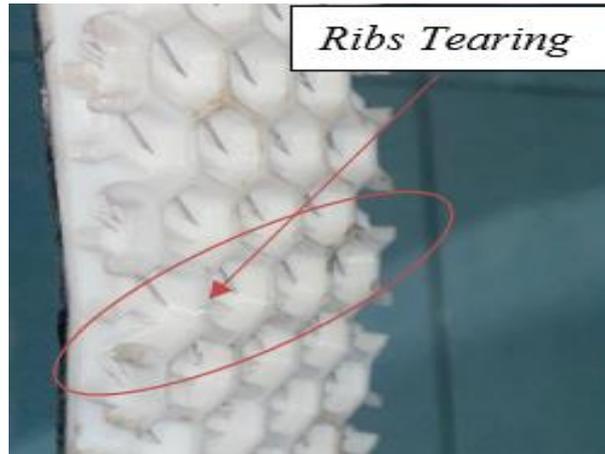
Gambar 4- 10 Modus Kegagalan Spesimen B1



Gambar 4- 11 Titik Retak Spesimen B1

5. Spesimen B2

Hasil pengamatan yang didapatkan dari spesimen B2 terjadi kegagalan *ribs tearing* akibat beban tekan dari atas spesimen menyebabkan bagian bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada bagian bawah dan lapisan kedua strukturnya akibat beban yang melebihi kekuatan material. Patahan yang terjadi pada lapisan pertama dan lapisan kedua spesimen ini tidak sejajar.



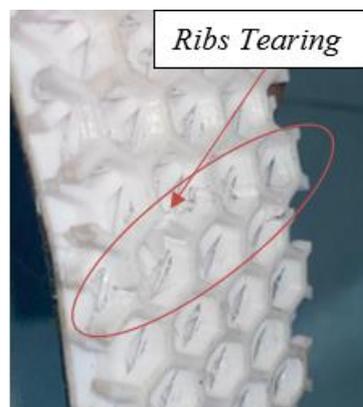
Gambar 4- 12 Modus kegagalan Spesimen B2



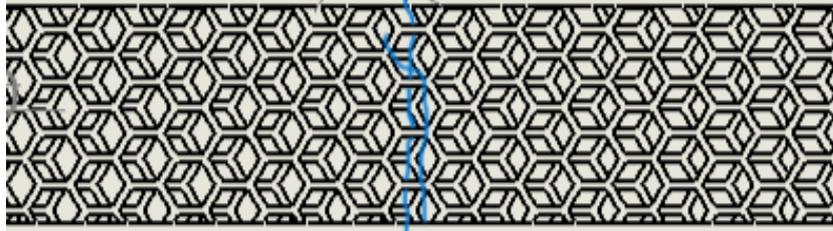
Gambar 4- 13 Titik Retak Spesimen B2

6. Spesimen B3

Hasil pengamatan yang didapatkan dari spesimen B3 terjadi kegagalan *ribs tearing* akibat beban tekan dari atas spesimen menyebabkan bagian bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada bagian bawah dan lapisan kedua strukturnya akibat beban yang melebihi kekuatan material. Patahan yang terjadi pada lapisan pertama dan lapisan kedua spesimen ini tidak sejajar.



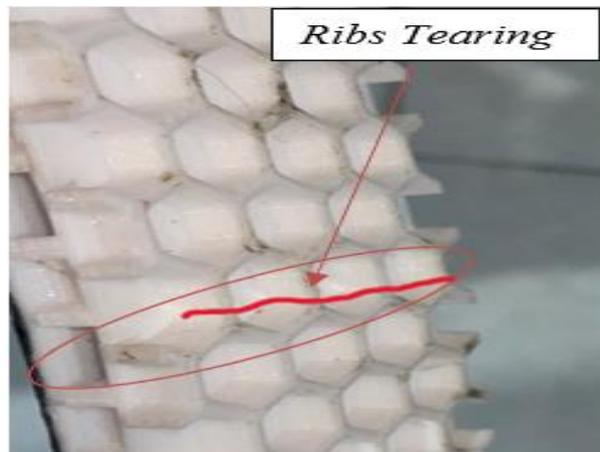
Gambar 4- 14 Modus Kegagalan Spesimen B3



Gambar 4- 15 Titik Retak Spesimen B3

7. Spesimen C1

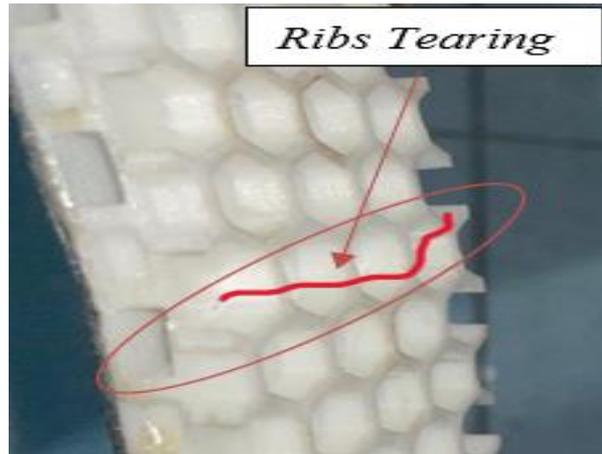
Hasil pengamatan yang didapatkan dari spesimen C1 terjadi kegagalan *ribs tearing* akibat beban tekan dari atas spesimen menyebabkan bagian bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada bagian bawah akibat beban yang melebihi kekuatan material.



Gambar 4- 16 Modus Kegagalan Spesimen C1

8. Spesimen C2

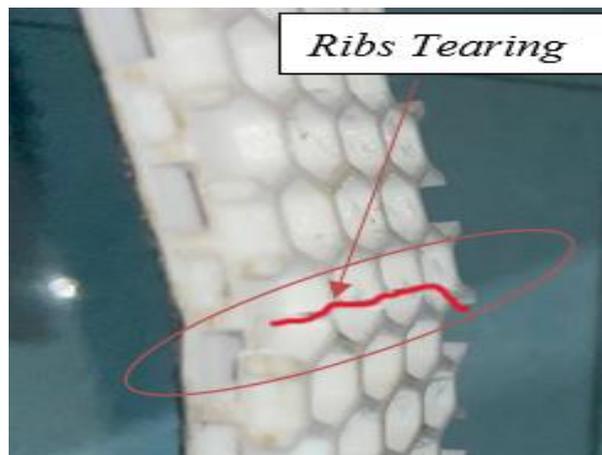
Hasil pengamatan yang didapatkan dari spesimen C2 terjadi kegagalan *ribs tearing* akibat beban tekan dari atas spesimen menyebabkan bagian bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada bagian bawah akibat beban yang melebihi kekuatan material



Gambar 4- 17 Modus Kegagalan Spesimen C2

9. Spesimen C3

Hasil pengamatan yang didapatkan dari spesimen C3 terjadi kegagalan *ribs tearing* akibat beban tekan dari atas spesimen menyebabkan bagian bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada bagian bawah akibat beban yang melebihi kekuatan material



Gambar 4- 18 Modus Kegagalan Spesimen C3

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengujian *bending* material komposit 3D print menggunakan susunan struktur *honeycomb* dan *honeycomb zig-zag* sebagai *ribs* dengan dua *layer skin carbon fiber* didapatkan kesimpulan bahwa: Spesimen dengan variasi susunan struktur *honeycomb* dengan kode A, yang dibandingkan dengan susunan struktur *honeycomb zig-zag* dengan kode B dan spesimen dengan kode C yang masing-masing diberikan 2 *layer skin* karbon fiber pada satu permukaan yang rata atau pada bagian *core*, spesimen menggunakan material PLA 3D *print* dengan parameter *infill* 100% *gyroid*.

1. Nilai tegangan *bending* tertinggi terdapat pada spesimen dengan kode C sebesar 18,30 *Mpa*, nilai kekakuan *bending* tertinggi terdapat pada spesimen kode C dengan nilai rata-rata kekakuan *bending* 9.560.185 *N.mm²*, dan nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi terdapat pada spesimen kode C yaitu sebesar 153.377 *N.mm²/gr* lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen A sebesar 93.610 *N.mm²/gr* dan spesimen C sebesar 81.437 *N.mm²/gr*.
2. Setiap spesimen mengalami kegagalan *ribs tearing* akibat beban tekan dari atas spesimen yang menyebabkan bagian bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan yang sejajar dengan tekanan dari atas spesimen akibat beban yang diberikan melebihi batas kekuatan material.
3. Melihat kegagalan yang terjadi pada masing-masing spesimen yang memiliki pola patahan dan nilai kekakuan *bending* yang berbeda secara signifikan, spesimen A, B dan C memiliki pola patahan yang berbeda yaitu; pada spesimen C antara lapisan pertama dan kedua *ribs* hasil patahannya tidak sejajar yang diakibatkan oleh perpindahan beban pada saat *ribs* teratas telah mengalami patah yang membuat nilai kekuatan *bending*nya lebih rendah dibandingkan dengan spesimen B yang memiliki lantai diantara *ribs* lapisan pertama dan kedua sehingga pembebanan tetap merata sampai

spesimen mengalami patah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa susunan struktur *honeycomb* yang di zig-zag kemudian menggunakan komposit dan karbon fiber berpengaruh terhadap nilai kekuatan *bending*.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Perlu dilakukan pengujian FEM menggunakan *software CAD*
2. Pembuatan produk menggunakan metode, material, dan susunan struktur yang sama.
3. Setiap proses pembuatan spesimen perlu memperhatikan prosedur keamanan dan penggunaan sesuai dengan K3

DAFTAR PUSTAKA

- ARIFADHILLAH, N. (2022). ANALISA PERLAKUAN ALKALI (NaOH) PADA SERAT TERHADAP KEKUATAN IMPACT DAN BENDING KOMPOSIT BERMATRIK EPOXY.
- Bani, Y. O., Mangesa, D. P., & Bale, J. S. (2017). Pembuatan Dan Pengujian Alat Fabrikasi Komposit Vacuum Bag Dengan Menggunakan Metode VDI 2221.
- Dadang Setiyawan, D., Respati, S. B., & Dzulfikar, M. (2020). ANALISA KEKUATAN KOMPOSIT SANDWICH KARBON FIBER DENGAN CORE STYROFOAM SEBAGAI MATERIAL PADA MODEL PESAWAT TANPA AWAK (UJI TARIK & UJI BENDING).
- Faizun, M. N. (2022). PENGARUH PENAMBAHAN SKIN CARBON TERHADAP KEKAKUAN BENDING 3D PRINTED ABS (ACRYLONITRILE BUTADINE STYRENE) HONEYCOMB RIBS.
- Hidayat, A., Yudo, H., & Manik, P. (2016). ANALISA TEKNIS KOMPOSIT SANDWICH BERPENGUAT SERAT DAUN NANAS DENGAN CORE SERBUK GERGAJI KAYU SENGON LAUT DITINJAU DARI KEKUATAN TEKUK DAN IMPAK.
- Lalu, E. D., & Fauzy, B. (2019). Dominasi ragam akulturasi lokal-moderen pada bangunan Casablancka residence, Bali. *ARTEKS JURNAL TEKNIK ARSITEKTUR*.
- Marsono, Anggraeni, N. D., & Faisal, F. A. (2021). Kaji Eksperimental Sifat Mekanik Honeycomb Sandwich Komposit Serat Karbon dengan Uji Bending.
- Meiwandari, M., & Sriyanti, I. (2019). ANALISIS STRUKTUR HEKSAGONAL TERHADAP BENTUK SARANG LEBAH. *JURNAL INOVASI DAN PEMBELAJARAN FISIKA*.
- Mokoagow, M. A. (2022). ANALISIS METODE PEMBUATAN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI PATAHAN HONEYCOMB SANDWICH KOMPOSIT SERAT KARBON UD 12K LAYER 2C2.

- Oliviandes, F. (2022). ANALISIS PENGARUH JUMLAH LAPISAN SKIN PADA KOMPOSIT SANDWICH TERHADAP UJI BENDING MENGGUNAKAN METODE VACUUM INFUSION.
- Pristiansyah, Hasdiansah, & Sugiyarto. (2019). Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*.
- R., A. N. (n.d.). PENGARUH VARIASI JUMLAH LAYER CARBON FIBER DAN PERLAKUAN CUIRING TERHADAPPENGUJIAN BENDING SPESIMEN PLA STRUKTUR HONEYCOMB RIBS.
- Rokhman, H. M. (2023). PENGARUH PENAMBAHAN SKIN SERAT KARBON DAN INFILL 100% MATERIAL HONEYCOMB RIBS 3D PRINT PLA TERHADAP KEKAKUAN BENDING.
- SHIDA, D. T. (2019). ANALISA PATAHAN KOMPOSIT POLYESTER BERPENGUAT SERAT KARBON DAN ANYAMAN KAWAT DENGAN METODE FTIR DAN STRUKTUR MICRO MACRO. *SKRIPSI*.
- Syafa'aat, I., Setyawan, P., & Mujiarto, I. (2022). ANALISIS PENGARUH BENTUK INFILL TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA SPESIMEN ASTM D638-14 MATERIAL POLYLATIC ACID PRODUK MESIN CETAK 3D.
- Wirawan, & Sandy, N. P. (2023). Analisis ketebalan layer dan kecepatan Nozzle Produk 3d Printing berbahan Acrylonitrile Butadiene Styrene (Abs) terhadap kekuatan tarik.

LAMPIRAN 1

PENJELASAN MENGENAI TEMPLATE LAPORAN TUGAS AKHIR



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Pmax	Defleksi	Tegangan
		(mm)	(mm)	(KN)	(mm)	Bending (MPa)
1	A 1	10.90	50.20	0.52	9.11	10.46
2	A 2	10.80	50.58	0.60	6.10	12.20
3	A 3	11.00	50.70	0.71	5.20	13.89
4	B 1	10.90	50.12	0.50	7.56	10.08
5	B 2	10.98	50.60	0.56	6.75	11.02
6	B 3	11.20	50.48	0.66	6.51	12.51
7	C 1	10.85	50.24	0.66	6.56	13.39
8	C 2	11.10	50.32	0.83	4.31	16.06
9	C 3	10.98	50.96	0.74	3.71	14.45

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 29 Desember 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Identitas Penguji :

Nama : Astiadi
 NPM : 19525040
 Institusi : Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 29 Desember 2023
 Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisa Material

L. B. S. Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

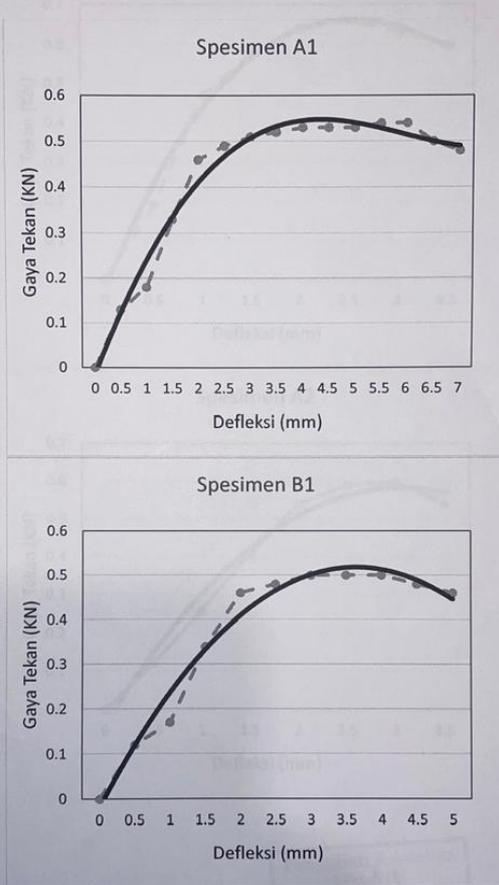
Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T.

NIP. 197703312002121002

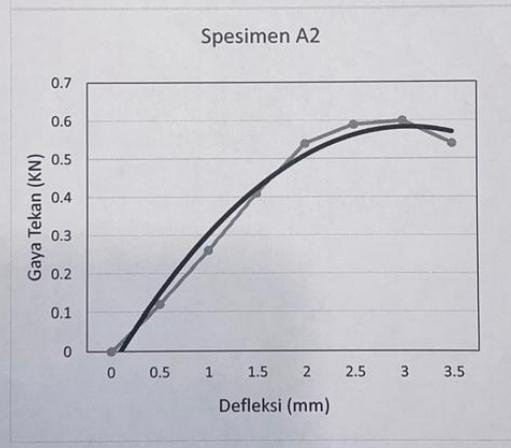
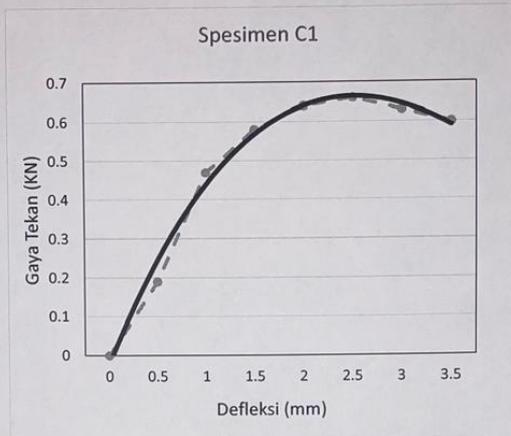
Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

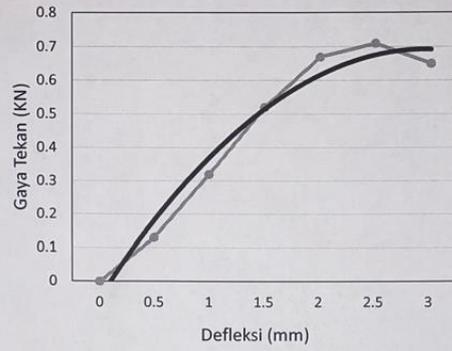
Grafik Uji antara Gaya Tekan vs Defleksi



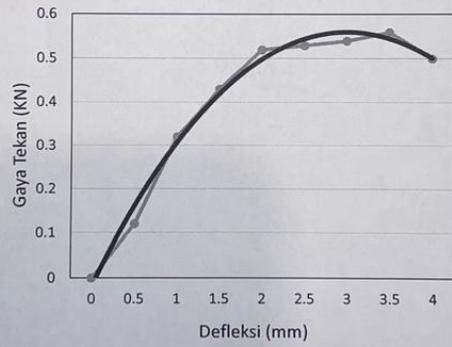
Pengujian & Analisa
Material
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

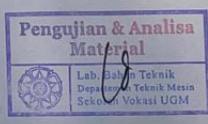
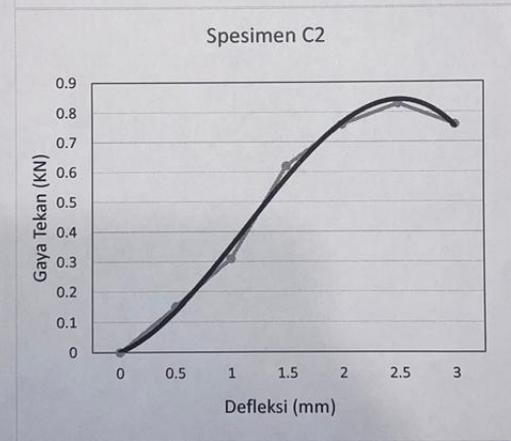
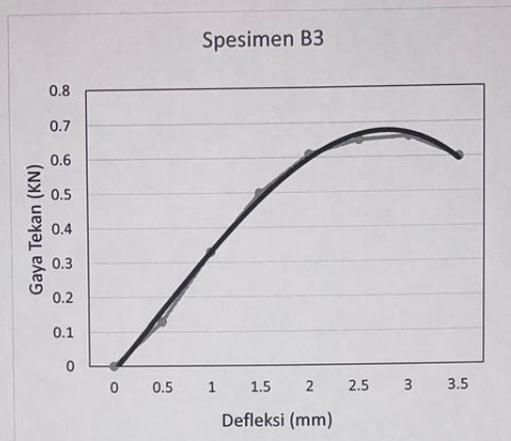


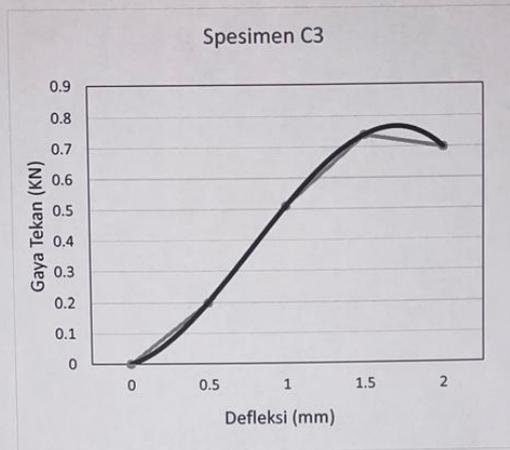
Spesimen A3

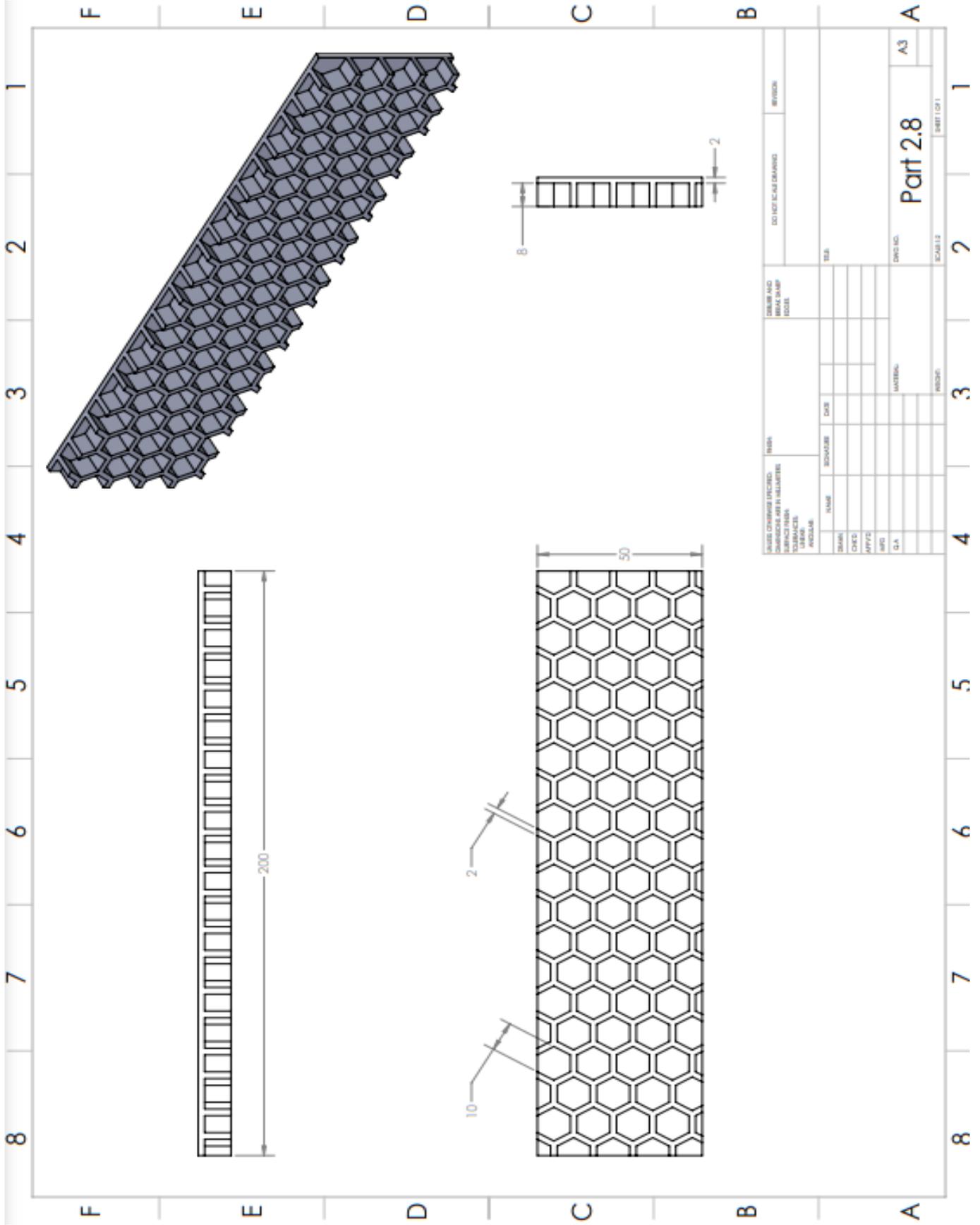


Spesimen B2





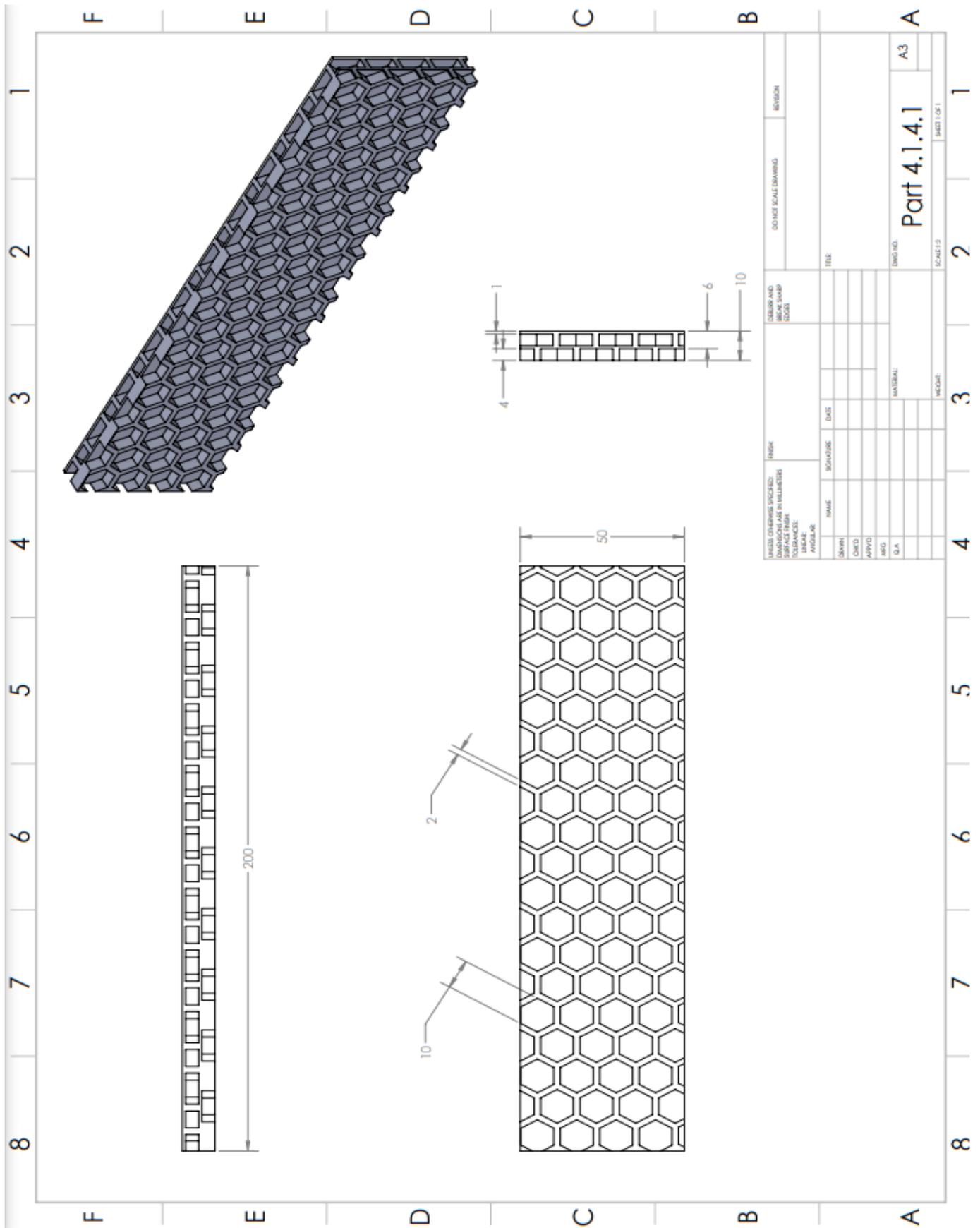




LAYER CONSTRUCTION FINISHES SURFACE FINISH COORDINATES FINISH MODULAR		FINISH SCHEDULE DATE		FORM AND BRICK AND ROOF		DO NOT SCALE DRAWING REVISION	
DRINK							
CHOC							
APPLY							
INFO							
D.A.							
				TEL:			
				DRAWING			
				SYSTEMS			
				DRAWING			
				SCALE 1:1			
				SHEET 1 OF 1			

Part 2.8

A3



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		RISK		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DIMENSIONS IN PARENTHESES		UNLESS AND UNLESS SHOWN		UNLESS AND UNLESS SHOWN		UNLESS AND UNLESS SHOWN	
TOLERANCES:		SURFACE FINISH:		SCALE:		SHEET LIST	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	
NAME	SCHWAB	DATE		TITLE			
DATE							
APPROV							
DATE							
MFG							
D.A.							
MATERIAL:				ENGINEER: Part 4.1.4.1 A3			
SCALE:				SHEET LIST			
SCALE:				SHEET LIST			

