

**PENGARUH DIMENSI STRUKTUR BERTINGKAT
DISKONTINU *HONEYCOMB CORE* TERHADAP KEKAKUAN
BENDING MATERIAL KOMPOSIT SERAT KARBON
SANDWICH DAN ABS**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Abdullah Faqih

No. Mahasiswa : 19525148

NIRM : 1907310253

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

2025

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya bertanda tangan dibawah ini, Abdullah Faqih selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “PENGARUH DIMENSI STRUKTUR BERTINGKAT DISKONTINU *HONEYCOMB CORE* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING* MATERIAL KOMPOSIT SERAT KARBON *SANDWICH* DAN ABS” 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 hukuman dengan ketentuan yang berlaku.

Yogyakarta, 9 Mei 2025

A red and yellow rectangular stamp is placed over the signature. The stamp contains the text "METERAI TEMPEL" in red, and below it, the alphanumeric code "E30F3AMX231522001" in black. The signature is written in black ink over the stamp.

Abdullah Faqih

(19525148)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENGARUH DIMENSI STRUKTUR BERTINGKAT
DISKONTINU *HONEYCOMB CORE* TERHADAP KEKAKUAN
BENDING MATERIAL KOMPOSIT SERAT KARBON
SANDWICH DAN ABS**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Abdullah Faqih
No. Mahasiswa : 19525148
NIRM : 1907310253

Yogyakarta, 9 Mei 2025

Pembimbing I



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI
PENGARUH DIMENSI STRUKTUR BERTINGKAT
DISKONTINU *HONEYCOMB CORE* TERHADAP KEKAKUAN
***BENDING* MATERIAL KOMPOSIT SERAT KARBON**
***SANDWICH* DAN ABS**

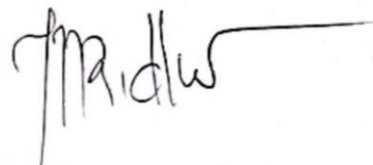
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Abdullah Faqih
No. Mahasiswa : 19525148
NIRM : 1907310253

Tim Penguji

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


Tanggal : 11/06/25

Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.
Anggota I


Tanggal : 10/6 25

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


Tanggal : 11/6 25

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin


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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

Ibu Tuti Juliati dan Bapak Tukiman sebagai orangtua yang selalu memberikan doa dan dukungan yang sangat tulus serta memberikan nasihat kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Ibu Laely Isnaniyati dan Paino Widodo selaku tante dan om saya ucapkan banyak terimakasih sudah memberikan support yang membantu terbukanya pikiran saya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Kakak saya Irfan Ma'ruf dan Adik perempuan saya Umu Nabilah sebagai pembakar semangat saya dalam mengerjakan tugas akhir ini.

HALAMAN MOTTO

“Tidak ada kata gagal, itu hanya keberhasilan yang tertunda”

-Abdullah Faqih

"Hidup ini terlalu singkat untuk disia-siakan dengan penyesalan"

-Oliver Sykes

**"Gantungkan cita-citamu setinggi langit! Jika engkau jatuh, engkau akan
jatuh di antara bintang-bintang."**

-Soekarno

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil‘alamin segala puji dan syukur atas ke hadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan inayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, serta pengikutnya hingga akhir zaman. Dalam kesempatan ini penulis banyak mendapat ilmu, bimbingan, saran, dorongan, bantuan serta semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala hari perkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Tukiman dan Ibu Tuti Juliati selaku orang tua yang selalu memberikan doa yang tulus, dukungan serta semangat yang tidak pernah putus.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin
3. Bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP selaku Dosen Pembimbing dalam melaksanakan tugas akhir ini yang senantiasa memberikan masukan dan nasihat dalam melaksanakan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen Teknik Mesin atas segala ilmu yang diberikan selama masa perkuliahan
5. Rekan-rekan kost Amanah Putra Abdulbidin, Bolo-bolo , Patah Welder, Congor Netflix, Dontol Ayam.
6. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Angkatan 2019 Muhammad Yasykur Raif, Asriadi Anwar, Asty Astuti, Dymas Ari, Fachrozy Aprizal, Muhammad Ilham, serta seluruh rekan-rekan Teknik Mesin UII 2019 yang berjuang bersama menjalani masa perkuliahan di kampus.
7. Seluruh pihak yang tidak dapat dituliskan satu persatu.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penyusunan laporan berikutnya dan semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat *bagi* penulis dan untuk orang yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

ABSTRACT

This study investigates the effect of dimensional variations in ABS-based discontinuous honeycomb core structures on the bending stiffness of sandwich composites reinforced with carbon prepreg skins. The specimens were fabricated using 3D printing technology with 100% infill and laminated via the vacuum bagging method, followed by curing at 80°C for 8 hours. Three core structure configurations were evaluated: Specimen A, consisting of two layers with each layer composed of 1 mm separators and 2 mm honeycomb ribs; Specimen B, featuring three layers with the same configuration as A and an additional top separator; and Specimen C, comprising three layers with 1 mm separators and 1 mm honeycomb on the first and third layers, and 4 mm honeycomb in the second layer, capped by a 1 mm separator. Bending tests were conducted in accordance with ASTM C393 to determine bending stress, bending stiffness, and specific bending stiffness. The results indicate that Specimen C achieved the highest bending stiffness and specific bending stiffness, with values of 18,444,842.17 N·mm² and 267,316.55 N·mm²/g, respectively. Failure modes observed include ribs tearing, debonding, and core crushing, highlighting the influence of structural configuration on failure behavior. The use of carbon prepreg significantly improved the structural performance under bending loads however, bonding integrity between the core and skin remains a critical factor in preventing debonding failures.

Keywords: Honeycomb Core, Sandwich Composite, ABS, Bending, 3D Printing.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi dimensi struktur *honeycomb core* berbahan dasar ABS terhadap kekakuan bending pada material komposit *sandwich* dengan *skin* dari karbon prepreg. Pembuatan spesimen dilakukan menggunakan teknologi 3D *printing* dengan *infill* 100% dan proses pelapisan dilakukan menggunakan metode *vacuum bagging* serta *curing* pada suhu 80°C selama 8 jam. Terdapat tiga variasi struktur *honeycomb* diskontinu yang diuji, yakni spesimen A dengan 2 lantai dimana setiap lantai terdiri dari 1 mm tebal sekat dan 2 mm tebal *honeycomb*, spesimen B dengan 3 lantai dimana setiap lantai terdiri dari 1 mm tebal sekat dan 2 mm tebal *honeycomb* dan ditutup sekat 1 mm, dan spesimen C dengan 3 lantai dimana susunan pertama dan ketiga menggunakan 1 mm untuk sekat dan *honeycomb*, lantai kedua menggunakan 1 mm untuk sekat dan 4 mm untuk *honeycomb*, dan ditutup sekat dengan tebal 1 mm. Uji bending dilakukan berdasarkan standar ASTM C393 untuk memperoleh nilai tegangan bending, kekakuan bending, dan kekakuan bending spesifik. Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa struktur dengan kode C menghasilkan nilai kekakuan bending dan kekakuan bending spesifik tertinggi, yaitu masing-masing sebesar 18.444.842,17 N.mm² dan 267.316,55 N.mm²/gr. Modus kegagalan yang diamati pada spesimen meliputi *ribs tearing*, *debonding*, dan *core crush*, yang menunjukkan hubungan erat antara desain struktur dan perilaku kegagalan spesimen. Penambahan karbon prepreg sebagai *skin* terbukti meningkatkan kekuatan struktural terhadap beban bending, namun kekuatan ikatan antara *skin* dan *core* menjadi aspek penting dalam mencegah kegagalan *debonding*.

Kata Kunci: *Honeycomb Core, Komposit Sandwich, ABS, Bending, 3D Printing.*

DAFTAR ISI

Lembar Pernyataan Keaslian	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstract.....	viii
Abstrak	ix
Daftar isi	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Notasi.....	xv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan.....	2
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 3D <i>Print</i>	6
2.2.2 Komposit	6
2.2.3 Komposit <i>Sandwich</i>	6
2.2.4 Karbon Prepreg.....	7
2.2.5 <i>Vacuum Bagging</i>	8
2.2.6 Pengujian <i>Bending</i>	9
2.2.7 Jenis Tegangan Yang Terjadi Akibat Beban <i>Bending</i>	10

2.2.8	Modus Kegagalan Pengujian <i>Bending</i> Komposit <i>Sandwich</i>	11
Bab 3	Metode Penelitian	13
3.1	Alur Penelitian.....	13
3.2	Peralatan dan Bahan	14
3.3	Perancangan.....	20
3.3.1	Dimensi Spesimen	20
3.3.2	Susunan Lapisan Komposit <i>Sandwich</i>	22
3.3.3	Pembuatan <i>Core</i> menggunakan 3D <i>Printing</i>	23
3.3.4	Proses <i>Vacuum</i>	24
3.3.5	Proses <i>Curing</i>	26
3.4	Pengujian <i>Bending</i>	27
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	29
4.1	Hasil Pengerjaan	29
4.2	Hasil Pengujian.....	30
4.3	Analisis dan Perhitungan Hasil Pengujian.....	31
4.4	Analisis Kegagalan Spesimen	33
4.5	Pembahasan	37
4.5.1	Tegangan <i>Bending</i>	38
4.5.2	Kekakuan <i>Bending</i>	39
4.5.3	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik.....	40
Bab 5	Penutup.....	41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	42
Daftar Pustaka		43

DAFTAR TABEL

Tabel 3- 1 Parameter Pencetakan 3D <i>Print</i>	23
Tabel 4- 1 Hasil Pengukuran Spesimen.....	29
Tabel 4- 2 Hasil Pengujian Langsung.....	30
Tabel 4- 3 Hasil Pengujian CAE	31
Tabel 4- 4 Hasil Perhitungan Spesimen	32
Tabel 4- 5 Lanjutan Hasil perhitungan.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Struktur komposit <i>sandwich</i>	7
Gambar 2-2 Karbon prepreg.....	8
Gambar 2-`3 <i>Vacuum bagging</i>	8
Gambar 2-4 Pengujian <i>bending</i>	9
Gambar 2-5 Modus kegagalan <i>skin</i>	12
Gambar 2-6 Modus kegagalan <i>core</i>	12
Gambar 3-1 Alur Penelitian.....	13
Gambar 3- 2 Mesin 3D <i>Print</i> Flashforge Creator Pro	14
Gambar 3- 3 Filamen ABS	14
Gambar 3-4 <i>Vacuum Pump</i>	15
Gambar 3-5 <i>Reservoir pot</i>	15
Gambar 3- 6 <i>Vacuum Bag</i>	16
Gambar 3-7 Selang	16
Gambar 3-8 <i>Valve</i>	17
Gambar 3-9 <i>Sealant tape</i>	17
Gambar 3-10 Karbon Prepreg	18
Gambar 3-11 Timbangan.....	18
Gambar 3- 12 Jangka Sorong	19
Gambar 3-13 Gunting Baja.....	19
Gambar 3- 14 <i>Microwave</i>	20
Gambar 3- 15 Mistar	20
Gambar 3- 16 Spesimen A.....	21
Gambar 3- 17 Spesimen B.....	21
Gambar 3- 18 Spesimen C.....	22
Gambar 3-19 Susunan Lapisan Komposit <i>Sandwich</i>	22
Gambar 3- 20 Proses 3D <i>Print</i>	23
Gambar 3-21 Susunan Lapisan Komposit.....	24
Gambar 3-22 Alat dan Bahan <i>vacuum bagging</i>	24
Gambar 3-23 Pemotongan Plastik <i>Bagging</i>	25
Gambar 3-24 Penempelan <i>Sealant Tape</i>	25

Gambar 3-25 Penempelan Karbon	25
Gambar 3-26 Pemasangan Spesimen Pada <i>Vacuum Bag</i>	26
Gambar 3-27 Proses <i>vacuum</i>	26
Gambar 3- 28 Proses <i>Curing</i>	27
Gambar 3-29 Proses Pengujian <i>Bending</i>	28
Gambar 4-1 Hasil Pengerjaan.....	29
Gambar 4-2 Modus Kegagalan Spesimen A1	33
Gambar 4-3 Modus Kegagalan Spesimen A2	33
Gambar 4-4 Modus Kegagalan Spesimen A3	34
Gambar 4-5 Modus Kegagalan Spesimen B1.....	34
Gambar 4-6 Modus Kegagalan Spesimen B2.....	35
Gambar 4-7 Modus Kegagalan Spesimen B3.....	35
Gambar 4-8 Modus Kegagalan Spesimen C1.....	36
Gambar 4-9 Modus Kegagalan Spesimen C2.....	36
Gambar 4-10 Modus Kegagalan Spesimen C3	37
Gambar 4-11 Grafik Tegangan <i>Bending</i>	38
Gambar 4-12 Grafik Kekakuan <i>Bending</i>	39
Gambar 4-13 Grafik Kekakuan <i>Bending</i> spesifik.....	40

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 antar titik tumpu (mm)

D = Kekauan *bending* (Nmm^2)

I = Momen inersia (kgm)

δ = Defleksi (mm)

σ = Tegangan *bending* (Mpa)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi pada era ini sangat pesat dan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap industri manufaktur. Salah satu teknologi yang diharapkan dapat mengikuti perkembangan tersebut adalah pencetakan 3D, atau sering dikenal sebagai *3D Printing*. *3D printing* yang awalnya hanya digunakan sebagai *prototyping* dalam manufaktur, saat ini sudah banyak digunakan untuk membuat *part* seperti mainan dan *furnitur* rumah. *3D printing* memiliki keunggulan dalam mencetak geometri yang sulit dilakukan oleh pencetakan lain seperti membuat pola di dalam sebuah struktur yang tertutup.

Proses manufaktur dari *3D print* memang sangat mudah dan relatif cepat. Namun, material yang dihasilkan dari *3D print* mempunyai sifat mekanik yang kurang *bagus* dalam hal kekuatan. Beberapa komponen atau *part* membutuhkan sifat mekanik yang kuat, ringan, dan kaku. Maka dari itu untuk mendapatkan sifat mekanik yang sesuai perlu menggabungkan beberapa material yang berbeda atau biasa disebut dengan komposit.

Komposit merupakan gabungan antara dua atau lebih material pembentuk yang memiliki sifat yang berbeda. Struktur dari komposit meliputi bahan matriks dan pengikat sebagai penguat dengan berbagai macam kombinasi (Saputra, Putra, & Setiawan, 2023). Komposit memiliki banyak jenis, namun salah satu yang sering dan akan digunakan pada penelitian ini adalah komposit *sandwich*. Komposit *sandwich* merupakan struktur komposit yang tersusun dari tiga atau lebih lapisan yang terdiri dari plat sebagai kulit (*skin*) serta material inti (*core*) di bagian tengahnya (Prayoga, Eryawanto, & Hadi, 2018).

Penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang meneliti tentang spesimen komposit *non sandwich* dengan *ribs* berbentuk *honeycomb* dan menggunakan bahan dasar PLA untuk dilakukan pengujian *bending*. Spesimen tersebut mempunyai dimensi 200 mm x 50 mm x 10 mm. Pada penelitian ini, spesimen menggunakan dimensi yang sama namun, spesimen menggunakan

komposit *sandwich* dengan bahan dasar ABS yang masing-masing skin dilapisi dengan karbon prepreg. Spesimen dicetak menggunakan 3D *printing* dengan mesin *Flash Forge Creator Pro* untuk dilakukan pengujian *bending*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka rumusan masalah merujuk pada beberapa poin penting sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi dimensi struktur *core* yang berbeda pada spesimen dengan material ABS terhadap tegangan *bending* dan kekakuan *bending*?
2. Bagaimana kegagalan yang terjadi pada spesimen?
3. Bagaimana nilai kekakuan *bending* pada masing-masing *spesimen*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi hal sebagai berikut.

1. Pengujian *bending* yang dilakukan menggunakan standar ASTM C393 dengan mesin *three point bending*.
2. *Core* dari spesimen menggunakan material ABS dengan *skin* karbon prepreg dengan metode penempelan menggunakan *vacuum bagging* dan *curing*.
3. Spesimen dibuat menggunakan mesin 3D *print Flashforge Creator Pro*.
4. *Ribs* berbentuk *honeycomb*.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Penelitian ini dibuat dengan tujuan sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui pengaruh dimensi *core* yang berbeda pada struktur dengan material ABS terhadap tegangan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik.
2. Untuk mengetahui Jenis kegagalan yang terjadi pada spesimen.
3. Untuk mengetahui nilai kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui bagaimana proses pengerjaan komposit pada spesimen *honeycomb core* dengan *skin* karbon prepreg menggunakan metode *vacuum bagging*.
2. Untuk mengetahui perilaku spesimen terhadap beban *bending*.
3. Untuk mengetahui pengaruh perbedaan dimensi *honeycomb* pada struktur bertingkat diskontinu *honeycomb core sandwich* terhadap kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian atau perancangan, manfaat penelitian atau perancangan, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan tinjauan pustaka mengenai dasar teori yang melandasi pembuatan laporan tugas akhir.

BAB III Metode Penelitian

Bab ini berisikan diagram alur penelitian, alat dan bahan

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisikan proses pengerjaan, analisa data, hasil pengujian *bending*, dan grafik serta tabel hasil pengujian.

BAB V Penutup

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Sumber pertama yang menjadi landasan untuk penelitian ini adalah penelitian dari (Anwar , 2024) yang berjudul “ Pengaruh Struktur Zig-zag *Honeycomb Ribs* Terhadap Kekakuan *Bending* Spesimen Komposit *Polylactic Acid* (PLA) – *Carbon Fiber*”. Pada penelitian tersebut peneliti menulis spesimen dengan struktur *honeycomb ribs* zig-zag non *sandwich* menggunakan bahan dasar PLA dengan *infill* 100% dengan dimensi sesuai standar uji ASTM C393. Spesimen tersebut memiliki tebal 10mm dan dilapisi serat karbon dengan dua lapisan karbon pada setiap spesimen. Penelitian ini menggunakan tiga tipe susunan *honeycomb* yang berbeda yaitu, spesimen pertama menggunakan *core* lantai dasar dengan tebal 2 mm dan *honeycomb* sebagai *ribs* dengan tebal 8 mm, atau disebutkan dengan kode spesimen 2.8. untuk jenis yang kedua menggunakan *honeycomb* zig-zag dengan lantai yang memiliki tebal 2 mm sebagai *core* dan dua *honeycomb* zig-zag sebagai *ribs* dengan tebal masing-masing 4 mm, dengan kode 2.4.4. Lalu untuk susunan yang ke tiga lantai dasar atau *core* memiliki tebal 1 mm dan *honeycomb* sebagai *ribs* memiliki tebal 4 mm, lalu dilapisi lagi dengan lantai dengan tebal 1 mm dan kemudian diakhiri dengan *honeycomb* menggunakan susunan zig-zag dengan tebal 4 mm, atau bisa disebutkan dengan kode 1.4.1.4. Dari semua spesimen yang di teliti oleh penulis, spesimen 1.4.1.4 memiliki hasil paling baik dari segi nilai tegangan *bending*, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifiknya (Anwar , 2024).

Kajian pustaka kedua yang dijadikan landasan dalam penelitian yaitu penelitian dari (Saputra, Putra, & Setiawan, 2023) yang berjudul “Pengaruh Konfigurasi Struktur Terhadap Kekakuan *Bending* Dari Komposit *Sandwich* 3D *Printing*”. Pada penelitian tersebut, penulis meneliti pengaruh bentuk *core* dan pengaruh penambahan *skin* terhadap kekuatan *bending*. Pengujian ini memiliki 8 buah spesimen dengan variasi yang berbeda yaitu, 3 buah untuk variasi komposit *sandwich core honeycomb*, 3 buah komposit *sandwich* dengan variasi *rectangular*

dan 2 buah *core* tanpa *skin* dengan 2 variasi yaitu *honeycomb* dan *rectangular*. Pengujian spesimen menggunakan standar ASTM D790 dengan pengujian *bending* menggunakan metode *Three Point Bending*. Dari semua spesimen yang di uji mendapatkan hasil kegagalan yang sama yaitu *core failure* atau kegagalan yang terjadi pada komposit akibat *core* tidak kuat menahan beban *bending*. Spesimen *sandwich* dengan *core honeycomb* mendapatkan hasil akhir dengan kekuatan *bending* tertinggi sebesar 10,732 Mpa, spesimen *sandwich core rectangular* 10,456 Mpa, spesimen non *sandwich honeycomb* mendapatkan hasil 3,875 Mpa, dan spesimen non *sandwich rectangular* 5,301 Mpa. Dari hasil pengujian *bending* tersebut dapat disimpulkan bahwa bentuk variasi *core* sangat berpengaruh terhadap kekuatan *bending* maksimal yang dapat ditahan. Dengan ditambahkan *fiberglass* dan *matriks* resin epoxy sebagai bahan *skin* maka kekuatan spesimen terhadap beban *bending* akan meningkat dilihat dari data pengujian yang dilakukan (Saputra, Putra, & Setiawan, 2023).

Kajian pustaka selanjutnya yang menjadi landasan penelitian ini berasal dari penelitian (Ikhsanto & Zainuddin, 2020) yang berjudul “Analisa kekuatan *bending* filamen ABS dan PLA pada hasil *3D printer* dengan variasi suhu *nozzle*” (Ikhsanto & Zainuddin, 2020). Penelitian ini menggunakan dua macam filamen sebagai bahan pembuatan spesimen menggunakan *3D printer* yaitu, PLA dan ABS. Pembuatan spesimen pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D955. Spesimen dibuat menggunakan variasi suhu yang berbeda-beda pada *nozzle* yaitu, 230°C, 237°C dan 244°C. Spesimen dilakukan uji *bending* untuk mengetahui tingkat kekuatan spesimen terhadap suatu beban. Pada pengujian *bending* yang dilakukan menggunakan parameter *displacement* 3 mm, sehingga pada setiap spesimen akan diberikan beban hingga mencapai *displacement* 3 mm, kemudian didapat gaya yang berkerja pada masing-masing spesimen. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa filamen ABS lebih kuat menahan beban dibandingkan filamen PLA, tetapi filamen PLA lebih lentur dibandingkan dengan filamen ABS. Selainitu berdasarkan pengujian *bending* yang dilakukab menunjukkan bahwa, hasil *3D printing* dengan suhu *nozzle* yang semakin tinggi maka beban yang ditahan semakin besar (Ikhsanto & Zainuddin, 2020).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 3D Print

3D *printing* atau juga dikenal dengan *additive layer manufacturing* merupakan suatu cara yang unik dalam membentuk suatu dimensi nyata dari sebuah desain struktur 3D yang telah dibuat menggunakan program *Computer Aided Design* (CAD) melalui pencetakan dari substansi cair maupun padat yang diproses lapis demi lapis. Proses awal dalam pengoperasian 3D *print* adalah mendesain model objek 3D melalui *software* CAD seperti *Autodesk*, *Solidworks*, *Delcam*, dll. lalu hasil desain 3D disimpan dengan format STL (Mislán & Mulyono, 2022).

2.2.2 Komposit

Komposit adalah campuran antara dua atau lebih material yang menghasilkan sebuah material baru dengan sifat ataupun karakteristiknya yang masih didominasi oleh sifat material pembentuknya. Komposit terdiri dari 2 unsur, yaitu serat (*fiber*) sebagai bahan pengikat dan pengisi atau juga bisa disebut matriks. Unsur utama dari komposit adalah serat, serta bahan pengikatnya menggunakan bahan polimer yang mudah dibentuk dan mempunyai daya ikat yang tinggi. Penggunaan serat berfungsi untuk menentukan kekakuan serta sifat-sifat mekanik lainnya (Yani & Suroso, 2019).

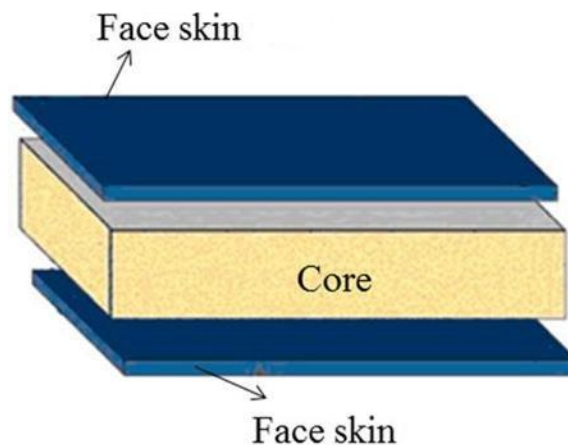
2.2.3 Komposit Sandwich

Prinsip dasar komposit *sandwich* adalah ada dua *bagian* yang terdiri dari *bagian* luar yaitu *bagian* atas dan bawah yang disebut *skin* dan *bagian* dalam atau tengahnya yang disebut *core*. Komposit dengan penguat serat memiliki kekuatan yang lebih unggul dibandingkan dengan komposit yang menggunakan *partikel* sebagai penguatnya. Komposit berpenguat serat juga terdiri dari tambahan yang disebut matriks polimer seperti resin yang berfungsi sebagai pengikat. Matriks ini tidak hanya berfungsi untuk mengikat saja, melainkan juga berfungsi sebagai

pengisi volume serta pelindung terhadap serat-serat yang ada (Hidayat, Hartono, & Parlindungan, 2016).

Skin pada komposit *sandwich* berfungsi sebagai pelapis *core* pada saat pembuatannya. Metode ini dilakukan dengan cara melekatkan *skin* secara rapat dengan *core* menggunakan resin dan katalis untuk merekatkannya. *Skin* juga berfungsi sebagai penahan *tensile* dan *compressive stress* (Prayoga, Eryawanto, & Hadi, 2018).

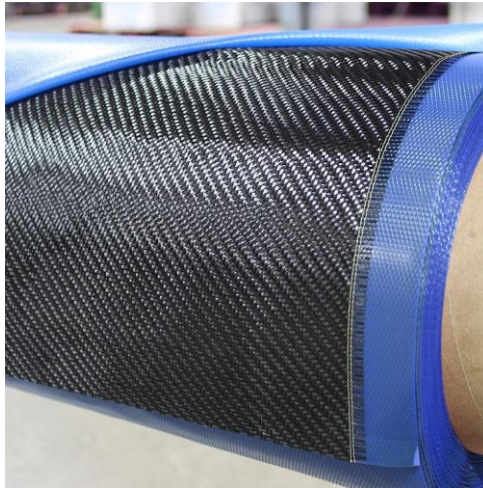
Core merupakan bagian inti dari komposit *sandwich*, yang dimana pada bagian ini harus kaku supaya jarak antara permukaan tetap terjaga. Dengan kekakuan *core* diharapkan mampu menahan geseran agar tidak terjadi *slide* antara permukaan (Hidayat, Hartono, & Parlindungan, 2016).



Gambar 2-1 Struktur komposit *sandwich*

2.2.4 Karbon Prepreg

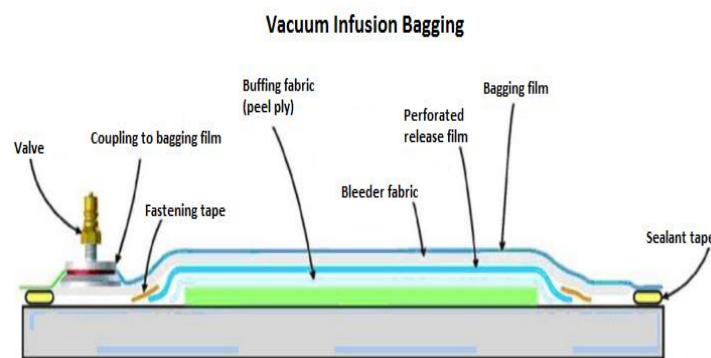
Karbon prepreg adalah bahan komposit yang terdiri dari serat karbon yang sudah diserapi dengan resin *thermosetting* atau *thermoplastic*. Proses peresapan pada karbon prepreg memastikan resin meresap dengan merata, sehingga menghasilkan kekuatan mekanik yang tinggi dan stabilitas termal yang baik. Jenis resin yang biasa digunakan pada karbon prepreg yaitu *epoxy*, *poliester*, dan *fenolik*. Material ini sering digunakan pada industri penerbangan, otomotif, dan olahraga karena memiliki bobot yang ringan dan kuat (Lengsfeld, Felipe, & Kramer, 2016).



Gambar 2-2 Karbon prepreg

2.2.5 *Vacuum Bagging*

Vacuum bagging adalah salah satu model penyempurnaan dari proses hand layup. Metode ini menggunakan *vacuum* untuk membuang sisa resin dan udara yang terperangkap sehingga meminimalisir adanya rongga yang terjadi akibat adanya endapan udara. *Vacuum bagging* menggunakan konsep tekanan atmosfer sebagai penjepit untuk menekan lapisan laminasi secara bersamaan dan tekanan yang sama rata. Laminasi disegel di dalam sebuah kantong kedap udara kemudian pompa *vacuum* menyedot udara dan sisa resin yang berlebih (Erlangga, Setiawan, & Sehonon, 2022).



Gambar 2-3 *Vacuum bagging*

2.2.6 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan lengkung pada suatu bahan atau material. Pengujian *bending* dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada *bagian* tengah material yang diberikan dua tumpuan dengan ukuran tertentu hingga material mengalami kegagalan atau mencapai batas maksimal kelengkungan. Terdapat dua jenis gaya yang terjadi pada material yaitu, gaya tekan yang terjadi pada *bagian* atas dan gaya tarik yang terjadi pada *bagian* bawah material (Arifadhillah, 2022).



Gambar 2-4 Pengujian *bending*

Hasil dari pengujian akan berupa nilai tegangan *bending*, defleksi (perpindahan relatif pada ujung spesimen yang di tekuk) dan nilai beban maksimum. Dari data yang didapatkan kemudian diolah menggunakan perhitungan untuk mencari nilai kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik, dengan persamaan rumus berikut :

- Tegangan maksimal

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

- Kekakuan *bending*

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

- Kekakuan *bending* spesifik

$$D.\text{spesifik} = \frac{D}{W} \quad (2.3)$$

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 antar titik tumpu (mm)

D = Kekakuan *bending* (Nmm²)

I = Momen inersia (kgm)

δ = Defleksi (mm)

σ = Tegangan *bending* (Mpa)

2.2.7 Jenis Tegangan Yang Terjadi Akibat Beban *Bending*

Beban bending (lentur) merupakan kondisi pembebanan yang umum terjadi pada struktur seperti balok, plat, dan komponen lainnya yang mengalami gaya transversal terhadap panjangnya. Ketika suatu material dikenai beban bending, maka akan muncul beberapa jenis tegangan yang mempengaruhi perilaku mekanis material tersebut. Adapun tegangan-tegangan tersebut antara lain:

- Tegangan Normal (*Normal Stress*)

Tegangan normal terjadi sebagai akibat langsung dari momen lentur. Pada kondisi ini, serat-serat material di bagian atas penampang akan mengalami tegangan tekan, sedangkan serat di bagian bawah mengalami tegangan tarik. Tegangan ini terdistribusi secara linier sepanjang tinggi penampang dengan titik nol berada di sumbu netral. (Iskandar, Putra, & Lubis, 2021)

- Tegangan Geser (*Shear Stress*)

Tegangan geser terjadi akibat gaya lintang yang bekerja sejajar dengan permukaan penampang material. Tegangan ini memiliki distribusi maksimum di sekitar sumbu netral dan mengecil ke arah serat luar. Tegangan geser penting

diperhitungkan terutama pada elemen-elemen pendek dan tebal, di mana gaya geser signifikan. (Iskandar, Putra, & Lubis, 2021)

- Tegangan Sisa (*Residual Stress*)

Tegangan sisa adalah tegangan internal yang tersisa dalam material setelah proses pembebanan atau deformasi, seperti pembengkokan. Tegangan ini dapat mempengaruhi kekuatan dan kestabilan material dalam jangka panjang. (Setiawan, Putra, & Fahriani, 2020)

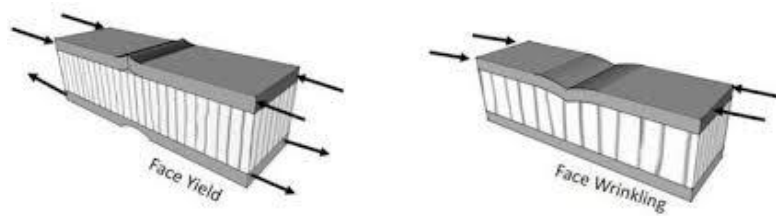
- Tegangan Setara (*Equivalent Stress*)

Tegangan Setara digunakan untuk mengevaluasi kondisi kegagalan material di bawah kombinasi tegangan. Analisis ini penting dalam desain struktural untuk memastikan bahwa material tidak mengalami kegagalan saat digunakan. Dalam analisis tegangan pada proses pembentukan logam lembaran, digunakan metode elemen hingga untuk mengevaluasi tegangan maksimum dan tegangan setara pada berbagai material. (Darsan & Zulfadli, 2016)

2.2.8 Modus Kegagalan Pengujian *Bending* Komposit *Sandwich*

Menurut (Petras & Achilles, 1998) terdapat beberapa mekanisme kegagalan yang berkaitan dengan struktur *honeycomb sandwich* komposit yaitu kegagalan yang terjadi pada *skin* dan *core*. Dimana kegagalan pada *skin* antara lain:

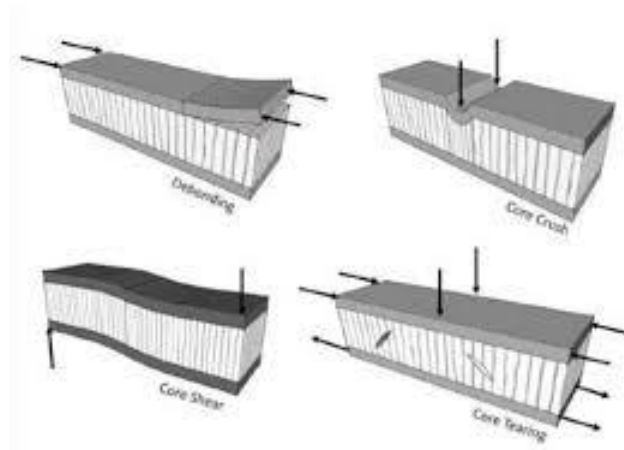
1. *Face yield* terjadi ketika tegangan normal memiliki nilai yang lebih besar dari tegangan luluh dan apabila material dari *skin* memiliki sifat getas. Kegagalan *face yield* dapat terjadi dibagian atas yang disebabkan bagian atas lebih rentan terhadap tegangan tekan.
2. *Face wrinkling* merupakan kegagalan pada *skin* yang akan dapat terjadi akibat adanya lekukan pada *skin* bagian atas akibat regangan tekan dan kurangnya dukungan dari *core* yang memiliki dimensi struktur atau densitas yang rendah. Lekukan pada *skin* dapat terjadi kearah inti maupun keluar tergantung dengan kekakuan inti dalam kompresi dan kekuatan perekat.



Gambar 2-5 Modus kegagalan *skin*

Selanjutnya, untuk modus kegagalan yang terjadi pada *core* terdapat 4 jenis diantaranya :

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

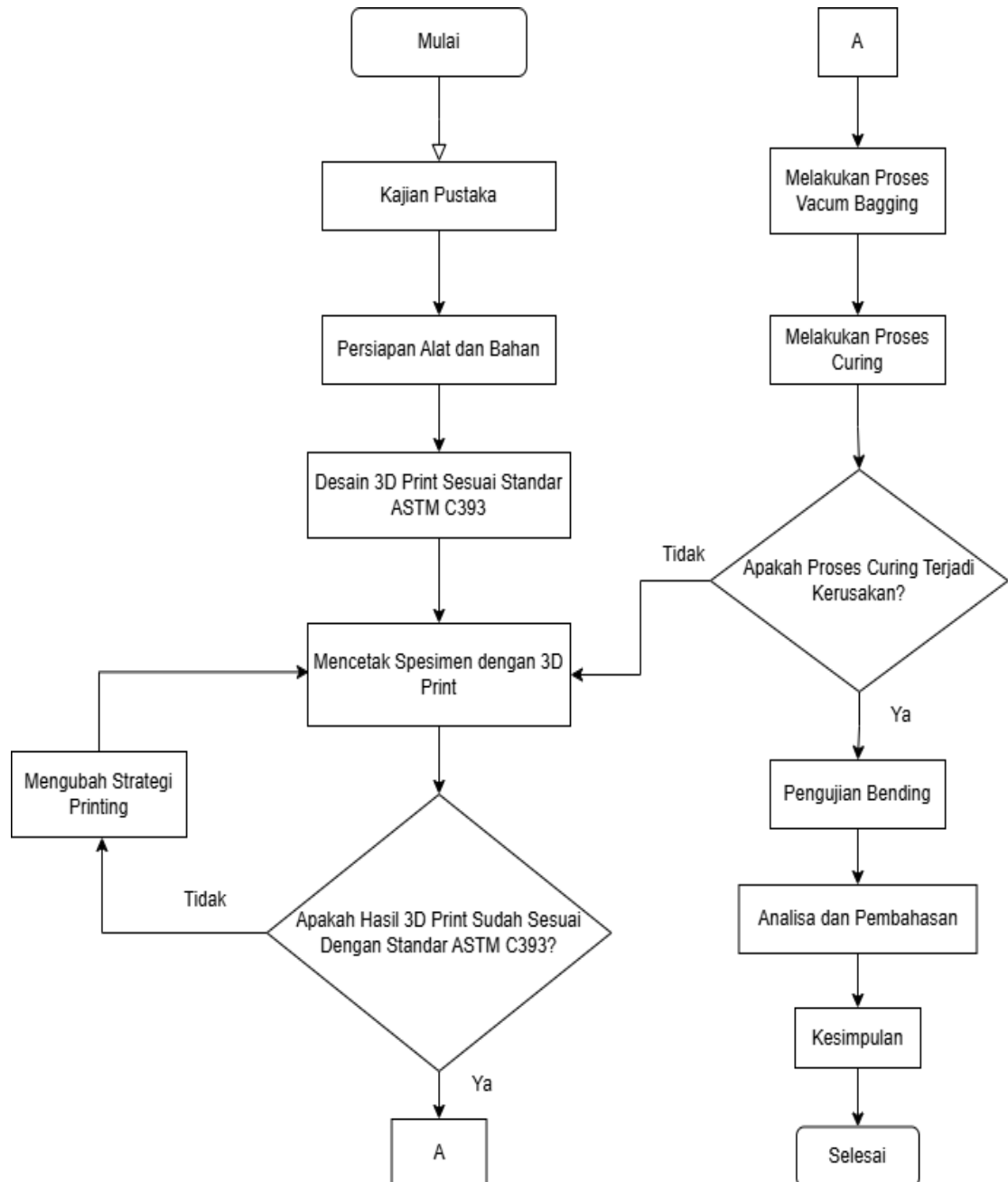


Gambar 2-6 Modus kegagalan *core*

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

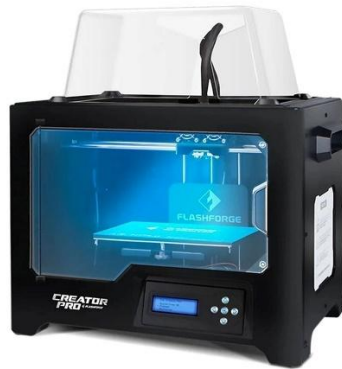


Gambar 3-1 Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

1. 3D Printing

Alat pertama yang digunakan adalah mesin 3D *printing* sebagai pencetak spesimen menggunakan mesin berjenis *Flashforge Creator Pro* seperti pada gambar 3-2.



Gambar 3- 2 Mesin 3D *Print* Flashforge Creator Pro

2. Filamen ABS

Bahan yang digunakan untuk membuat spesimen menggunakan material berjenis *Acrylonitrile Butadine Styrene* (ABS), seperti pada gambar 3-3.



Gambar 3- 3 Filamen ABS

3. *Vacuum Pump*

Vacuum pump adalah alat yang digunakan untuk mengeluarkan udara dari dalam plastik *vacuum* dengan tujuan supaya plastik *vacuum* menyusut dan mengepres sesuai bentuk spesimen, seperti terlihat pada gambar 3-4.



Gambar 3-4 *Vacuum Pump*

4. *Reservoir pot*

Alat ini berfungsi sebagai penghubung antara *vacuum bag* dengan *vacuum pump* dan juga berfungsi untuk mengukur tekanan udara yang terjadi didalam *vacuum bag*, seperti terlihat pada gambar 3-5.



Gambar 3-5 *Reservoir pot*

5. *Vacuum Bag*

Vacuum bag berfungsi sebagai wadah untuk meletakkan spesimen yang akan di *vacuum*. *Vacuum bag* berbahan dasar plastik dengan ketahanan panas yang cukup tinggi serta mampu menahan tekanan udara yang diberikan oleh *vacuum pump*, seperti terlihat pada gambar 3-6.



Gambar 3- 6 *Vacuum Bag*

6. Selang

Selang berfungsi sebagai perantara udara dari *vacuum pump* menuju *reservoir pot* dan *vacuum bag* untuk menghisap udara yang ada dalam *vacuum bag*, seperti terlihat pada gambar 3-7.



Gambar 3-7 Selang

7. *Valve*

Valve atau keran berfungsi untuk membuka dan menutup aliran udara, selain itu *valve* juga berfungsi untuk menjaga *vacuum bag* tetap pada posisi tetap menyusut mengikuti bentuk spesimen. Seperti terlihat pada gambar 3-8.



Gambar 3-8 *Valve*

8. *Sealant tape*

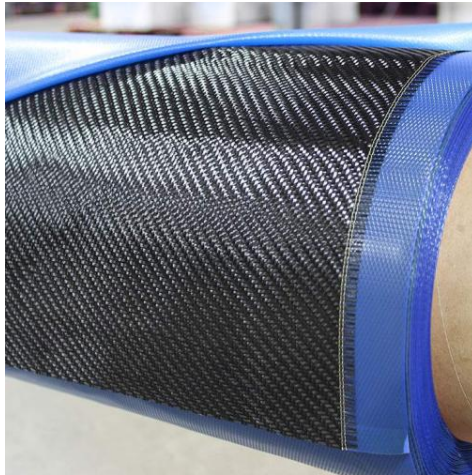
Sealant tape adalah perekat elastis kedap udara yang digunakan untuk menempelkan plastik *vacuum bag* supaya tidak bocor dan menyebabkan tekanan didalam plastik berkurang, dapat dilihat pada gambar 3-9.



Gambar 3-9 *Sealant tape*

9. Karbon Prepreg

Karbon prepreg pada dasarnya sama dengan serat karbon pada umumnya, hanya saja karbon prepreg sudah mengandung resin didalamnya, dapat dilihat pada gambar 3-10.



Gambar 3-10 Karbon Prepreg

10. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat spesimen sebelum dan sesudah pemasangan karbon, seperti terlihat pada gambar 3-11.



Gambar 3-11 Timbangan

11. Jangka Sorong

Vernier caliper atau jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi spesimen dari sebelum dan sesudah pemasangan karbon. Dapat dilihat pada gambar 3-12.



Gambar 3- 12 Jangka Sorong

12. Gunting Baja

Gunting baja digunakan untuk memotong plastik *vacuum*, selang, *sealant tape*, dan serat karbon prepreg sesuai dengan ukuran spesimen.



Gambar 3-13 Gunting Baja

13. Microwave

Microwave digunakan untuk memanaskan karbon prepreg supaya resin mengeras dan menempel pada spesimen dengan sempurna, atau bisa disebut juga dengan proses *curing*, dapat dilihat pada gambar 3-14.



Gambar 3- 14 *Microwave*

14. Mistar

Mistar atau penggaris seperti pada gambar 3-15 berfungsi untuk mengukur dimensi panjang spesimen apabila jangka sorong tidak mencapai dimensi panjang spesimen sebelum dan sesudah pelapisan serat karbon.



Gambar 3- 15 Mistar

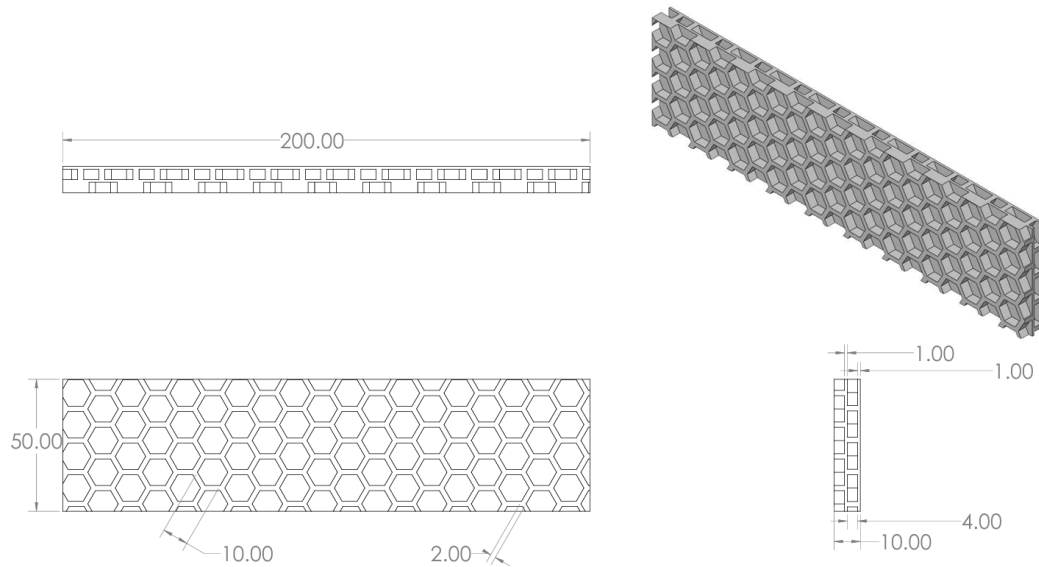
3.3 Perancangan

Pembuatan spesimen pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM C393 dengan spesimen komposit *sandwich* menggunakan *core* ABS dengan *infill* 100% *gyroid fill pattern*. Desain dibuat menggunakan aplikasi *Solidworks*.

3.3.1 Dimensi Spesimen

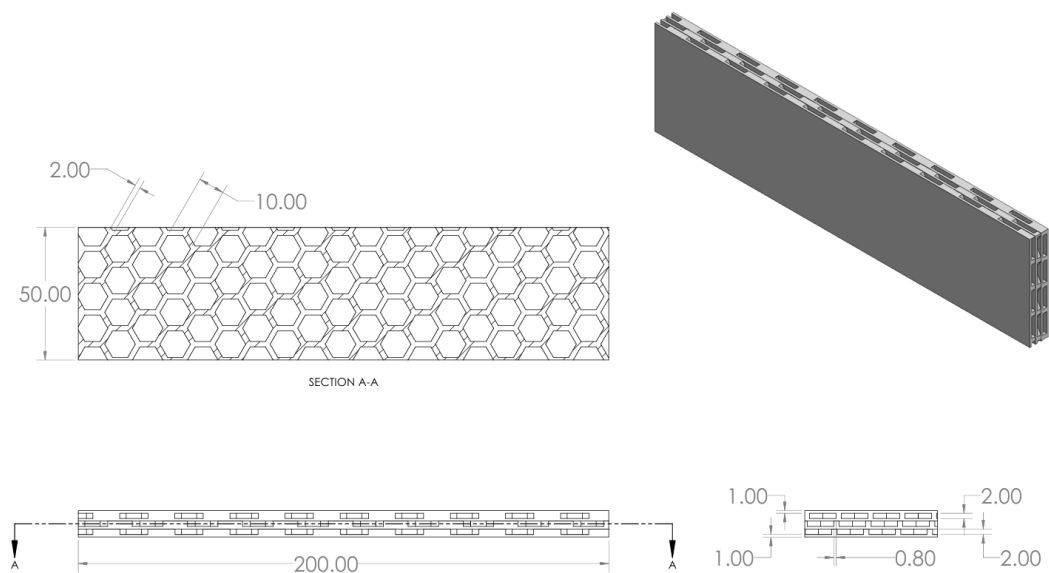
Spesimen memiliki panjang 200 mm dengan lebar 50 mm dan tebal keseluruhan 10 mm. Ada tiga variasi struktur zig-zag *honeycomb* dengan dimensi

yang sama sebagai perbandingan yaitu; variasi A dengan struktur zig-zag non *sandwich* dengan susunan lantai dasar 1 mm sebagai *core* dan *honeycomb* 4 mm, kemudian lapisan lantai 1 mm dan *honeycomb* 4 mm zig-zag sebagai *core* (1.4.1.4).



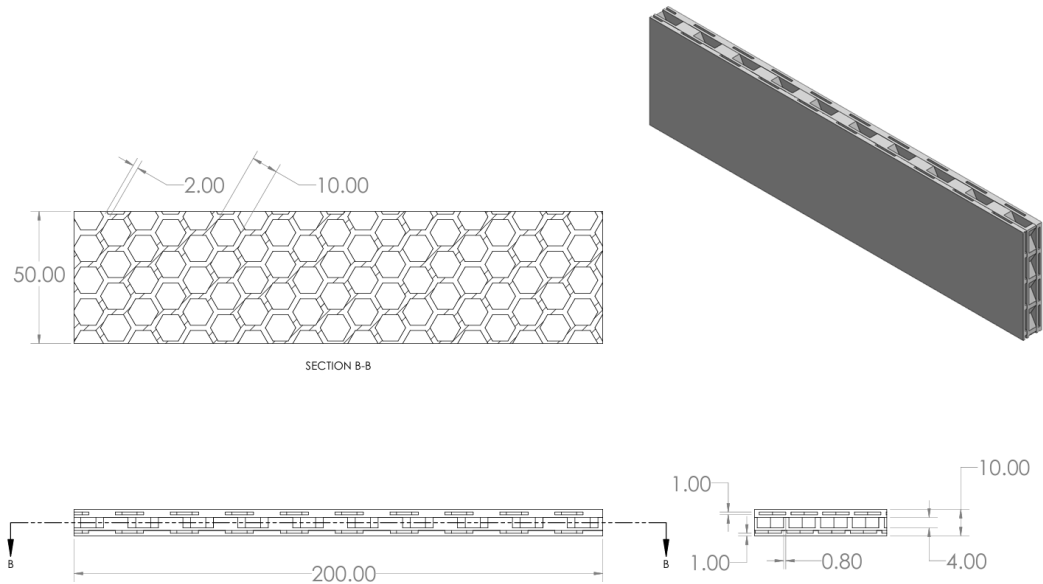
Gambar 3- 16 Spesimen A

Kemudian untuk variasi B memiliki susunan *honeycomb sandwich* dengan ketebalan lantai dasar 1 mm dan *honeycomb* 2 mm, lalu lantai 1 mm dan *honeycomb* 2 mm, susunan terakhir dengan lantai 1 mm, *honeycomb* 2 mm dan ditutup dengan lantai 1 mm yang tersusun secara zig-zag diskontinu (1.2.1.2.1.2.1).



Gambar 3- 17 Spesimen B

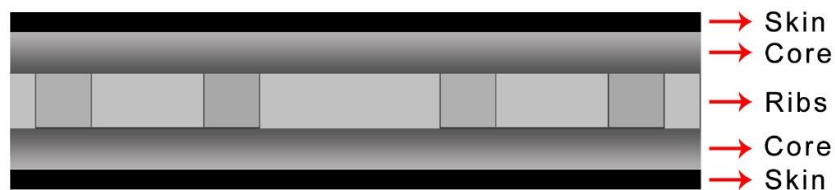
Lalu untuk variasi C menggunakan lantai dasar 1 mm, *honeycomb* 1 mm, lantai 1 mm, *honeycomb* 4 mm, lantai 1 mm, *honeycomb* 1 mm, dan lantai penutup 1 mm yang tersusun secara zig-zag diskontinu (1.1.1.4.1.1.1). Gambar ketiga variasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3- 18 Spesimen C

3.3.2 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

Susunan untuk lapisan komposit terdiri dari tiga *bagian* yaitu *skin* yang menggunakan serat karbon prepeg menempel pada *bagian core* yang terletak pada lapisan kedua kemudian dilanjutkan oleh *ribs* dengan bentuk *honeycomb* dan ditutup oleh *core* yang dilapisi lagi dengan serat karbon prepeg. dalam hal ini *core* dan *ribs* menjadi satu kesatuan. *Core* dan *ribs* dibuat menggunakan 3D *print* berbahan dasar ABS.



Gambar 3-19 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

3.3.3 Pembuatan *Core* menggunakan 3D *Printing*



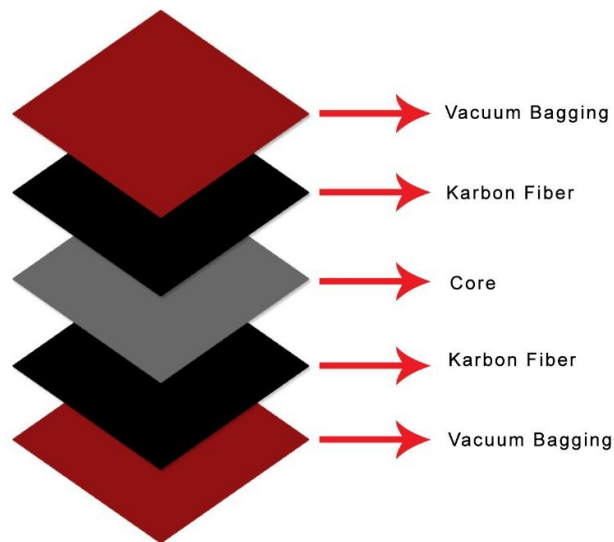
Gambar 3- 20 Proses 3D *Print*

Pembuatan spesimen dilakukan menggunakan mesin 3D *print* dengan material ABS. Spesimen dibuat dengan dimensi sesuai standar ASTM C393. Tabel 3-1 adalah parameter proses 3D *printing* dimana material yang digunakan adalah jenis *fillamen* ABS menggunakan *infill* 100% dengan suhu *nozzle* 240°, suhu *bed* 80°, dan kecepatan *print* (*print speed*) 100 mm/s. Pencetakan dilakukan satu per satu dengan orientasi horizontal.

Tabel 3- 1 Parameter Pencetakan 3D *Print*

Bahan	ABS
Presentase <i>Infill</i>	100%
Suhu <i>bed</i>	80°
Suhu <i>nozzle</i>	240°
<i>Print speed</i>	100 mm/s

3.3.4 Proses *Vacuum*



Gambar 3-21 Susunan Lapisan Komposit

Gambar 3-17 diatas adalah skema lapisan *vacuum bagging* yang digunakan pada penelitian ini. Skema lapisan tersebut menunjukkan urutan lapisan-lapisan yang digunakan pada proses *vacuum*. Dimana plastik *vacuum bag* terletak pada lapisan terluar lalu dilanjutkan dengan lapisan *skin* serat dari karbon prepreg sebanyak satu lapis yang menempel pada *core*. *Vacuum bagging* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan dipergunakan untuk *vacuum bagging*.



Gambar 3-22 Alat dan Bahan *vacuum bagging*

2. Memotong plastik *bagging* sesuai ukuran spesimen. Plastik *bagging* dipotong mengikuti dimensi spesimen dan ditambahkan ukurannya untuk penempelan

sealant tape. Ukuran lebar dari plastik *bagging* ini setara dengan empat jajar spesimen atau dengan kata lain ada empat spesimen dalam satu kali proses *vacuum*.



Gambar 3-23 Pemotongan Plastik *Bagging*

3. Menempelkan *sealant tape* pada tepian plastik. *Sealant tape* ditempelkan merata mengikuti bentuk potongan plastik dan harus dipastikan tidak ada kebocoran.



Gambar 3-24 Penempelan *Sealant Tape*

4. Menempelkan karbon prepreg pada spesimen



Gambar 3-25 Penempelan Karbon

5. Memasang spesimen dan karbon pada plastik *bagging*



Gambar 3-26 Pemasangan Spesimen Pada *Vacuum Bag*

6. Proses *vacuum* atau mengeluarkan udara dari dalam plastik. Pastikan tidak ada udara yang tersisa didalam plastik.



Gambar 3-27 Proses *vacuum*

3.3.5 Proses *Curing*

Proses *curing* dilakukan menggunakan suhu 80°C dengan waktu 8 jam. Waktu dan suhu *curing* ditentukan dengan membandingkan antara titik leleh material ABS dan suhu optimal *curing* untuk karbon prepeg. Titik leleh untuk material ABS yang digunakan adalah 90°C sampai 120°C, sedangkan suhu optimal *curing* karbon prepeg adalah 130°C dengan waktu 1 sampai 2 jam. Maka diputuskan sebagai percobaan menggunakan suhu 80°C dengan penambahan waktu yaitu 8 jam *curing*.



Gambar 3- 28 Proses *Curing*

3.4 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* dilakukan sesuai dengan standar ASTM C393 menggunakan mesin uji *bending*. Adapun langkah-langkah dalam melakukan proses pengujian *bending*, sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen yang akan di uji.
2. Mengukur kembali dimensi panjang, lebar, dan tebal dari setiap spesimen menggunakan jangka sorong.
3. Menyiapkan mesin uji *bending* dengan mengatur jarak antar titik tumpuan berjarak 100 mm dan mengatur pengambilan grafik.
4. Meletakkan spesimen uji pada tumpuan tepat pada titik tengah serta sesuai dengan jarak antara titik tumpuan.
5. Memulai pengujian *bending* dengan memberikan beban maksimal pada *bagian* tengah spesimen secara perlahan hingga spesimen mengalami kegagalan.
6. Mesin akan mencatat hasil nilai beban maksimal yang diberikan dan membuat grafik beban terhadap defleksi yang terjadi.



Gambar 3-29 Proses Pengujian *Bending*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengerjaan



Gambar 4-1 Hasil Pengerjaan

Tabel 4- 1 Hasil Pengukuran Spesimen

No	Variasi spesimen (Struktur)	Tebal awal	Tebal akhir	Lebar awal	Lebar akhir	Berat awal	Berat akhir
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(gram)	(gram)
1	A1(1.4.1.4)	10,16	10,18	50,40	50,80	58	50
2	A2(1.4.1.4)	10,04	10,07	50,44	50,58	58	50
3	A3(1.4.1.4)	10,20	10,26	50,56	50,52	58	50
4	B1(1.2.1.2.1.2.1)	10,14	10,53	50,40	51,54	62	69
5	B2(1.2.1.2.1.2.1)	10,00	10,55	50,80	51,02	62	69
6	B3(1.2.1.2.1.2.1)	10,10	10,61	50,50	51,76	62	69
7	C1(1.1.1.4.1.1.1)	10,04	10,23	50,70	51,36	62	69
8	C2(1.1.1.4.1.1.1)	10,12	10,48	50,17	52,81	62	69
9	C3(1.1.1.4.1.1.1)	10,34	10,51	50,38	51,11	62	69

Gambar 4-1 diatas adalah hasil pengerjaan spesimen setelah dilapisi karbon prepeg dan sudah melewati proses *curing* selama 8 jam. Setelah itu spesimen diukur dimensinya menggunakan jangka sorong dan ditimbang untuk

mendapatkan data berat dari spesimen. Data yang didapatkan akan digunakan untuk mencari nilai kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik. Dapat dilihat pada tabel 4-1.

4.2 Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada spesimen ini adalah pengujian *bending* menggunakan standar ASTM C393. Pengujian *bending* dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan *bending*, beban maksimum, dan defleksi dari total 9 spesimen uji yang dibagi menjadi 3 jenis susunan struktur yang berbeda. Data yang ada didapatkan berdasarkan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik UGM dengan menggunakan mesin *three point bending* pada mesin *Universal Testing Machine*. Dapat dilihat pada tabel 4-2 dibawah ini.

Tabel 4- 2 Hasil Pengujian Langsung

No.	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Pmax	Defleksi	Tegangan
		(mm)	(mm)	(KN)	(mm)	<i>Bending</i> (MPa)
1	A1	10,18	50,80	0,80	5,86	22,79
2	A2	10,07	50,58	0,83	5,27	24,27
3	A3	10,26	50,52	0,79	5,51	22,28
4	B1	10,53	51,54	1,70	2,31	44,62
5	B2	10,55	51,02	2,18	7,96	57,58
6	B3	10,61	51,76	1,79	6,30	46,08
7	C1	10,23	51,36	1,55	2,51	43,26
8	C2	10,48	52,81	2,30	8,56	59,48
9	C3	10,51	51,11	2,34	8,62	62,17

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa rata-rata beban maksimal dan tegangan *bending* tertinggi terjadi pada spesimen dengan kode C yaitu spesimen dengan struktur lantai 1 mm, *honeycomb* 1 mm, lantai 1 mm, *honeycomb* 4 mm, lantai 1 mm, *honeycomb* 1 mm, dan ditutup lantai 1 mm yang tersusun secara zig-zag diskontinu . Dari hasil tabel dapat dilihat bahwa nilai tegangan maksimum yang tertinggi terjadi pada spesimen dengan kode C3 sebesar 62,17 Mpa dengan beban maksimum sebesar 2,34 KN. sedangkan untuk tegangan terkecil terjadi pada spesimen dengan kode A3 yaitu sebesar 22,28 MPa dengan beban senilai 0,79 KN.

Tabel 4- 3 Hasil Pengujian CAE

Kode Spesimen	Berat (Gram)	Defleksi (mm)	Pmax (N)	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)	Kekakuan <i>Bending</i> (N.mm ²)	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik (N.mm ² /gram)
A	45,35	3,32	810	26,28	10.736.271,96	214.725,44
B	59,56	4,04	1.890	48,97	15.399.727,76	223.184,46
C	72,50	4,13	2.060	52,27	16.044.885,35	232.534,57

Dapat dilihat pada tabel 4-3 bahwa, hasil pengujian bending menggunakan CAE memiliki nilai tertinggi pada spesimen dengan kode C yaitu untuk tegangan *bending* sebesar 52,27 Mpa, untuk nilai kekakuan *bending* yaitu 16.044.885,35 N.mm², dan untuk nilai kekakuan *bending* spesifik yaitu 232.534,57 N.mm²/gram.

4.3 Analisis dan Perhitungan Hasil Pengujian

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

Dari hasil perhitungan yang tertera pada tabel 4-4 dan 4-5 didapatkan nilai rata-rata kekakuan *bending* pada spesimen A yaitu 8.452.681,87 N.mm², spesimen B mempunyai nilai 15.283.361,03 N.mm², dan untuk spesimen C mempunyai nilai 18.444.842,17 N.mm². Kemudian untuk nilai rata-rata kekakuan *bending* spesifik pada spesimen A sebesar 169.053,64 N.mm²/gram, spesimen B sebesar 221.497,99 N.mm²/gram, dan untuk spesimen C memiliki nilai sebesar 267.316,55 N.mm²/gram.

Tabel 4- 4 Hasil Perhitungan Spesimen

Kode Spesimen	Berat (Gram)	Defleksi (mm)	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)	Kekakuan <i>Bending</i> (N.mm ²)
A1	50	5,86	22,79	8.440.170,94
A2	50	5,27	24,27	8.943.736,73
A3	50	5,51	22,28	7.974.137,93
B1	69	2,31	44,62	17.192.556,63
B2	69	7,96	57,58	17.397.836,54
B3	69	6,30	46,08	11.259.689,92
C1	69	2,51	43,26	23.637.218,05
C2	69	8,56	59,48	16.167.005,42
C3	69	8,62	62,17	15.530.303,03

Tabel 4- 5 Lanjutan Hasil perhitungan

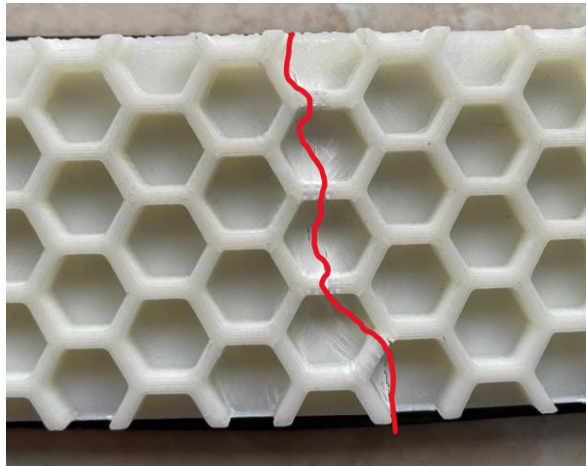
Kode Spesimen	Rerata Kekakuan <i>Bending</i>	Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik (N.mm ² /gram)	Rerata Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik (N.mm ² /gram)
A1	8.452.681,87	168.803,42	169.053,64
A2		178.874,73	
A3		159.482,76	
B1	15.283.361,03	249.167,49	221.497,99
B2		252.142,56	
B3		163.183,91	
C1	18.444.842,17	342.568,38	267.316,55
C2		234.304,43	
C3		225.076,86	

4.4 Analisis Kegagalan Spesimen

Berikut ini adalah analisis dan pengamatan yang terjadi pada setiap spesimen berdasarkan pengamatan langsung.

1. Spesimen A1

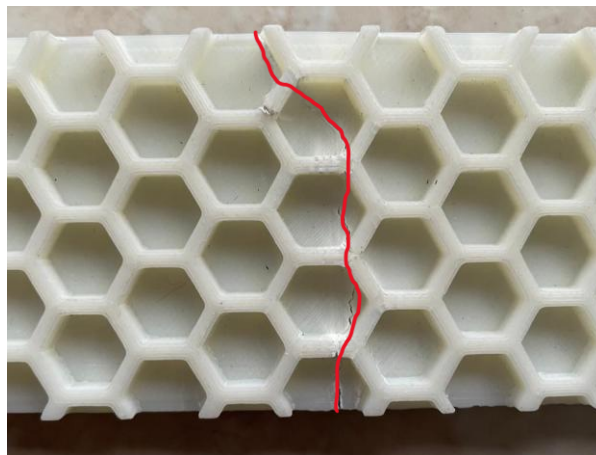
Hasil pengamatan yang sudah didapatkan pada spesimen A1 adalah terjadi kegagalan *ribs tearing* akibat beban tekan dari *bagian* atas spesimen yang menyebabkan *bagian* bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada *bagian* bawah karena beban yang melebihi batas kekuatan spesimen.



Gambar 4-2 Modus Kegagalan Spesimen A1

2. Spesimen A2

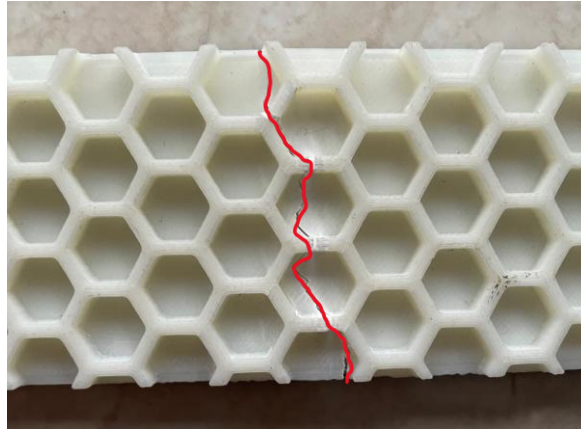
Hasil pengamatan yang sudah didapatkan pada spesimen A2 adalah terjadi kegagalan *ribs tearing* akibat beban tekan dari *bagian* atas spesimen yang menyebabkan *bagian* bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada *bagian* bawah karena beban yang melebihi batas kekuatan spesimen.



Gambar 4-3 Modus Kegagalan Spesimen A2

3. Spesimen A3

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



Gambar 4-4 Modus Kegagalan Spesimen A3

4. Spesimen B1

Hasil pengamatan yang sudah didapatkan pada spesimen B1 adalah terjadi kegagalan *debonding*. Kegagalan *debonding* adalah jenis kegagalan yang terjadi karena terkelupasnya *skin* dari *core/ribs*. Kegagalan *debonding* disebabkan karena kurangnya rekatan pada *skin* terhadap *core/ribs*, sehingga saat terjadi lengkungan *skin* terkelupas dari *core/ribs*.



Gambar 4-5 Modus Kegagalan Spesimen B1

5. Spesimen B2

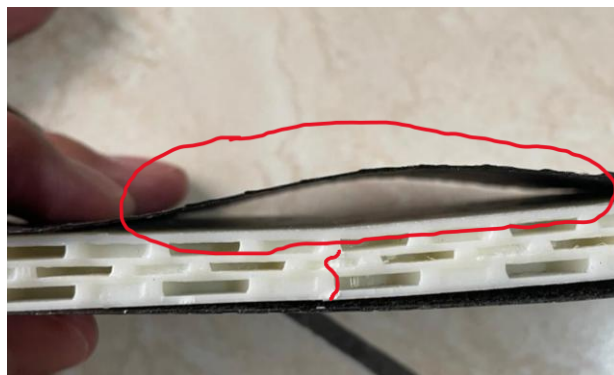
Hasil pengamatan yang sudah didapatkan pada spesimen B2 adalah terjadi kegagalan *ribs tearing* akibat beban tekan dari *bagian atas* spesimen yang menyebabkan *bagian bawah ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada *bagian bawah* karena beban yang melebihi batas kekuatan spesimen.



Gambar 4-6 Modus Kegagalan Spesimen B2

6. Spesimen B3

Hasil pengamatan yang sudah didapatkan pada spesimen B3 adalah terjadi kegagalan *ribs tearing* dan *debonding*. Kegagalan *ribs tearing* terjadi akibat beban tekan dari *bagian atas* spesimen yang menyebabkan *bagian bawah ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada *bagian bawah* karena beban yang melebihi batas kekuatan spesimen. Kegagalan *debonding* disebabkan karena kurangnya rekatan pada *skin* terhadap *core/ribs*, sehingga saat terjadi lengkungan *skin* terkelupas dari *core/ribs*.



Gambar 4-7 Modus Kegagalan Spesimen B3

7. Spesimen C1

Hasil pengamatan yang sudah didapatkan pada spesimen C1 adalah terjadi kegagalan *ribs tearing* dan *debonding*. Kegagalan *ribs tearing* terjadi akibat beban

tekan dari *bagian* atas spesimen yang menyebabkan *bagian* bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada *bagian* bawah karena beban yang melebihi batas kekuatan spesimen. Kegagalan *debonding* disebabkan karena kurangnya rekatan pada *skin* terhadap *core/ribs*, sehingga saat terjadi lengkungan *skin* terkelupas dari *core/ribs*.



Gambar 4-8 Modus Kegagalan Spesimen C1

8. Spesimen C2

Hasil pengamatan yang sudah didapatkan pada spesimen C2 adalah terjadi kegagalan *ribs tearing* dan *core crush*. Kegagalan *ribs tearing* terjadi akibat beban tekan dari *bagian* atas spesimen yang menyebabkan *bagian* bawah *ribs* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada *bagian* bawah karena beban yang melebihi batas kekuatan spesimen. Kegagalan *core crush* terjadi karena deformasi yang terjadi pada *bagian* tengah atau titik beban dari mesin uji terhadap *core/ribs* akibat tekanan dari pembebanan.



Gambar 4-9 Modus Kegagalan Spesimen C2

9. Spesimen C3

Hasil pengamatan yang sudah didapatkan pada spesimen C3 adalah terjadi kegagalan *ribs tearing* dan *debonding*. Kegagalan *ribs tearing* terjadi akibat beban tekan dari *bagian* atas spesimen yang menyebabkan *bagian* bawah *core* mengalami tegangan tarik hingga terjadi patahan pada *bagian* bawah karena beban yang melebihi batas kekuatan spesimen. Kegagalan *debonding* disebabkan karena kurangnya rekatan pada *skin* terhadap *core/ribs*, sehingga saat terjadi lengkungan *skin* terkelupas dari *core/ribs*.

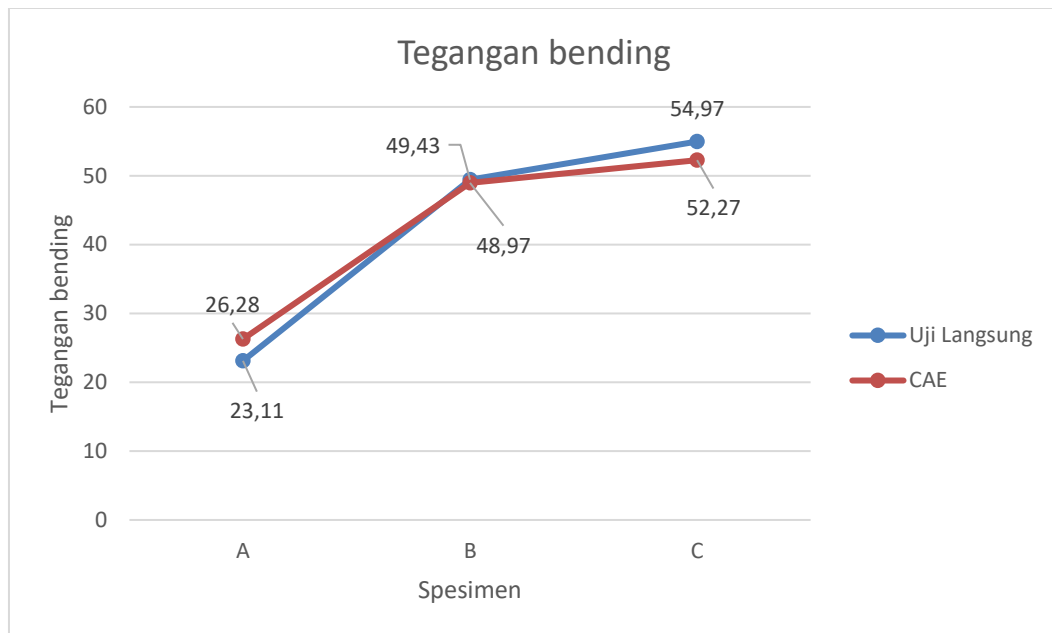


Gambar 4-10 Modus Kegagalan Spesimen C3

4.5 Pembahasan

Hasil dari data yang telah didapatkan dari pengujian *bending* terhadap spesimen komposit berbahan dasar ABS dengan *infill* 100% untuk *ribs* dan *skin* dengan tambahan 1 layer serat karbon untuk sisi atas dan bawah yang sudah direkatkan pada *core*. Ada tiga jenis variasi struktur *honeycomb* yang berbeda yaitu A (1414) non *sandwich*, B (1212121) *sandwich*, dan C (1114111) *sandwich*. Dari ketiga variasi tersebut spesimen dengan kode C (1114111) memiliki hasil yang paling baik diantara dua spesimen lainnya.

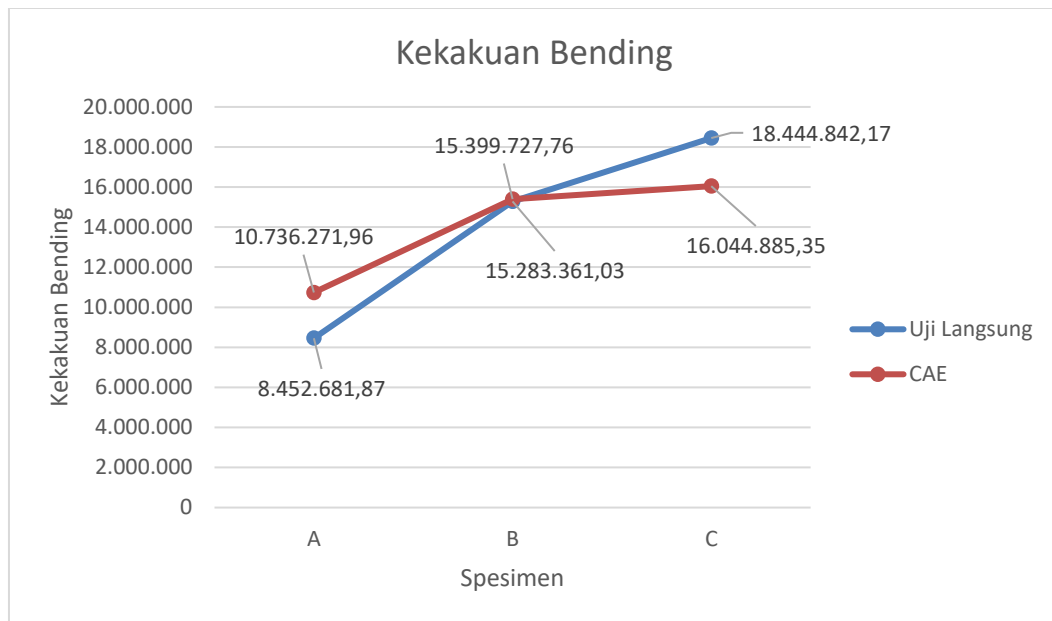
4.5.1 Tegangan *Bending*



Gambar 4-11 Grafik Tegangan *Bending*

Gambar diatas adalah grafik tegangan *bending* antara pengujian langsung dan CAE. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan kode C memiliki rata-rata nilai tegangan *bending* tertinggi baik pada pengujian CAE maupun pengujian langsung. Nilai yang didapatkan pada pengujian langsung yang ditunjukkan pada garis biru sebesar 54,97 MPa. Sedangkan pada pengujian CAE ditunjukkan pada garis merah dengan nilai kekakuan *bending* sebesar 52,27 MPa.

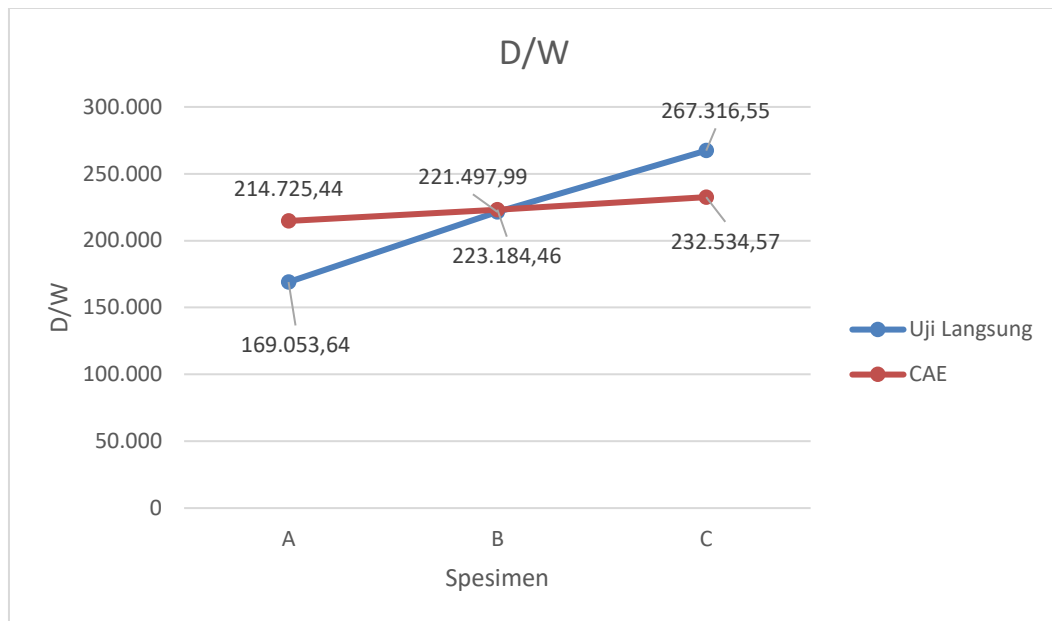
4.5.2 Kekakuan *Bending*



Gambar 4-12 Grafik Kekakuan *Bending*

Gambar diatas adalah grafik kekakuan *bending* antara pengujian langsung dan CAE. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan kode C memiliki rata-rata nilai kekakuan *bending* tertinggi baik pada pengujian CAE maupun pengujian langsung. Nilai yang didapatkan pada pengujian langsung yang ditunjukkan pada garis biru sebesar 18.444.842,17 N.mm². Sedangkan pada pengujian CAE ditunjukkan pada garis merah dengan nilai kekakuan *bending* sebesar 16.044.885,35 N.mm².

4.5.3 Kekakuan *Bending* Spesifik



Gambar 4-13 Grafik Kekakuan *Bending* spesifik

Gambar diatas adalah grafik kekakuan *bending* spesifik antara pengujian langsung dan CAE. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan kode C memiliki rata-rata nilai tegangan *bending* tertinggi baik pada pengujian CAE maupun pengujian langsung. Nilai yang didapatkan pada pengujian langsung yang ditunjukkan pada garis biru sebesar 267.316,55 N.mm²/gr. Sedangkan pada pengujian CAE ditunjukkan pada garis merah dengan nilai kekakuan *bending* sebesar 232.534,57 N.mm²/gr.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengujian *bending* material komposit 3D *print* menggunakan susunan struktur *honeycomb* zig-zag non *sandwich* dan *honeycomb* diskontinu *sandwich* sebagai *core* dengan *skin* karbon prepreg menggunakan material ABS 3D *print* dengan parameter *infill* 100%, didapatkan kesimpulan bahwa :

1. Variasi dimensi dan struktur *honeycomb* berpengaruh signifikan terhadap kekuatan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik. Nilai tegangan *bending* tertinggi terdapat pada spesimen dengan kode C sebesar 54,97 Mpa, nilai kekakuan *bending* tertinggi terdapat pada spesimen kode C dengan nilai rata-rata kekakuan *bending* 18.444.842,17 N.mm², dan nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi terdapat pada spesimen kode C yaitu sebesar 267.316,55 N.mm²/gr.
2. Modus kegagalan yang terjadi pada spesimen meliputi *ribs tearing*, *debonding*, dan *core crush*, tergantung pada variasi struktur spesimen. Spesimen dengan kekakuan lebih baik cenderung mengalami kegagalan kombinasi antara *ribs tearing* dan *core crush* . Modus kegagalan *ribs tearing* diakibatkan oleh 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 kekuatan *bending* yang berbeda secara signifikan, spesimen A, B dan C memiliki pola patahan yang berbeda yaitu; pada spesimen C antara lapisan pertama dan kedua *core* hasil patahannya tidak sejajar yang diakibatkan oleh perpindahan beban pada saat *core* teratas telah mengalami patah yang membuat nilai kekuatan *bending*nya lebih rendah dibandingkan

dengan spesimen B yang memiliki rantai 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*.

4. Penggunaan karbon prepreg sebagai *skin* dan metode *vacuum bagging* berhasil meningkatkan performa spesimen dalam menahan beban *bending*, namun kekuatan sambungan antara *skin* dan *core* menjadi faktor penting untuk mencegah kegagalan *debonding*.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Karbon prepreg harus tetap menggunakan lem ALF untuk perekatannya.
2. Proses pembuatan spesimen harus menggunakan prosedur K3.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar , A. (2024). *Pengaruh Struktur Zig-Zag Honeycomb Ribs Terhadap Kekuatan Bending Spesimen Komposit Polylactic Acid*. Yogyakarta: Tugas Akhir.
- Arifadhillah, N. (2022). *Analisa Perlakuan Alkali (Naoh) Pada Serat Terhadap Kekuatan Impact Dan Bending Komposit Bermatrik Epoxy*. Pekanbaru: Tugas Akhir.
- Darsan, H., & Zulfadli. (2016). Analisa Distribusi Tegangan Total, Tegangan Geser Maksimum Dan Deformasi Total Pada Poros Dan Rollbending Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Software Simulasi Numeric. *Jurnal J-Innovation Vol. 5*.
- Erlangga, D., Setiawan, F., & Sehono. (2022). Eksperimen Pembuatan Komposit Berbahan Dasar Tanaman Mendong Menggunakan Metode Vacuum Bagging terhadap Uji Tarik. *Journal Of Applied Mechanical Engineering And Renewable Energy (Jamere)*, 37.
- Hidayat, A., Hartono, Y., & Parlindungan, M. (2016). Analisa Teknis Komposit Sandwich Berpenguat Serat Daun Nanas Dengan Core Serbuk Gergaji Kayu Sengon Laut Ditinjau Dari Kekuatan Tekuk Dan Impak. *Jurnal Teknik Perkapalan*.
- Ikhsanto, L. N., & Zainuddin. (2020). Analisa Kekuatan Bending Filamen Abs Dan Pla Pada Hasil 3d Printer Dengan Variasi Suhu Nozzle. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*.
- Iskandar, R., Putra, H., & Lubis, R. (2021). Analisis Tegangan Pada Proses Roll Bending Untuk Poros Transmisi Menggunakan Solidworks Simulation. *Jurnal Penelitian*, 7.
- Lengsfeld, H., Felipe, W.-F., & Kramer, J. (2016). *Composite Technology (Prepregs and Monolithic Part Fabrication Technologies)*. Cincinnati: Hanser Publication.
- Mislan, & Mulyono , S. (2022). Potensi 3d Printing Sebagai Media Edukasi Dalam Pendidikan Keperawatan. *Journal Cakrawala Ilmiah*.

- Petras, & Achilles. (1998). Design of Sandwich Structures. *Cambridge University Engineering Department*, 13.
- Prayoga, A., Eryawanto, B., & Hadi, Q. (2018). Pengaruh Ketebalan Skin Terhadap Kekuatan Bending dan Tarik Komposit Sandwich Dengan Honeycomb Polypropylene Sebagai Core. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 24.
- Saputra, A. B., Putra, I. R., & Setiawan, F. (2023). Pengaruh Konfigurasi Struktur Terhadap Kekuatan Bending Dari Komposit Sandwich 3d Printing. *Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 10.
- Setiawan, R., Putra, R. A., & Fahriani, V. P. (2020). Simulasi Proses Bending Arm Rear Brake Dengan Variasi Kecepatan Pembebanan Terhadap Stress Material Menggunakan Ansys. *Barometer Volume 05*.
- Yani, M., & Suroso, B. (2019). Membandingkan Cetakan Terbuka Dengan Tertutup Pada Pembuatan Papan Skateboard Dari Limbah Sawit. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 151.

LAMPIRAN



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	A_1	10.18	50.80	0.80	5.86	22.79
2	A_2	10.07	50.58	0.83	5.27	24.27
3	A_3	10.26	50.52	0.79	5.51	22.28
4	B_1	10.53	51.54	1.70	2.31	44.62
5	B_2	10.55	51.02	2.18	7.96	57.58
6	B_3	10.61	51.76	1.79	6.30	46.08
7	C_1	10.23	51.36	1.55	2.51	43.26
8	C_2	10.48	52.81	2.30	8.56	59.48
9	C_3	10.51	51.11	2.34	8.62	62.17
10	D_1	7.72	52.47	2.40	6.49	115.12
11	D_2	7.46	51.23	1.31	9.14	68.92
12	D_3	7.75	53.82	1.16	6.14	53.83
13	E_1	4.72	50.51	0.77	4.30	102.64
14	E_2	4.63	53.75	0.71	3.35	92.43
15	E_3	4.56	52.90	0.52	9.52	70.91

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 11 Oktober 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Identitas Penguji :

Nama : Abdullah Faqih
NIM : 19525148
Institusi : Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 11 Oktober 2023
Staf Laboratorium Bahan Teknik

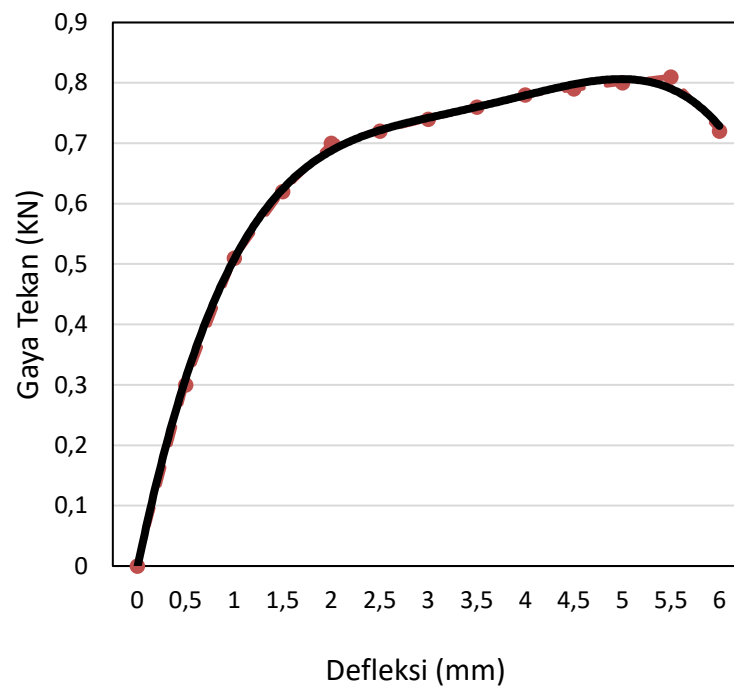


Dr. Lili Dwi Setyana, S.T., M.T.
NIP. 197703312002121002

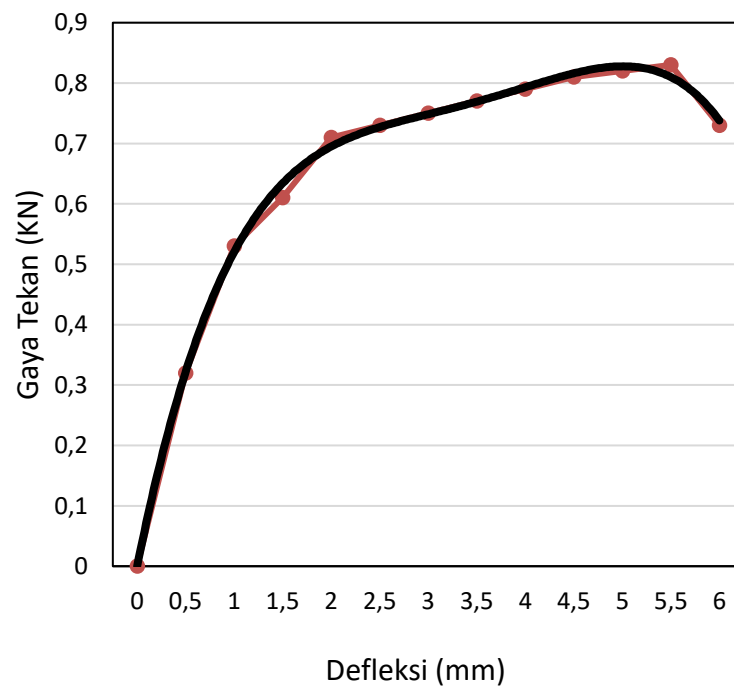
Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

Lembar asli, tidak untuk digandakan

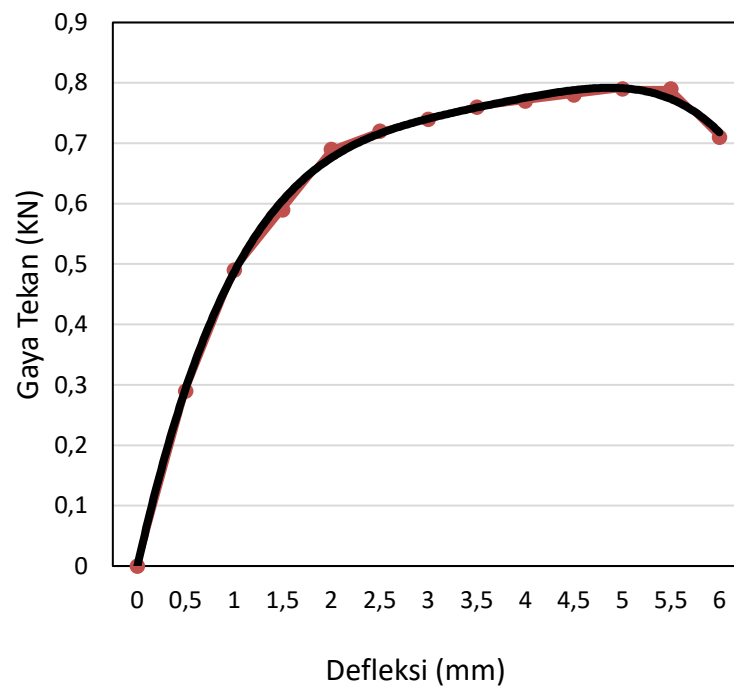
Spesimen A1



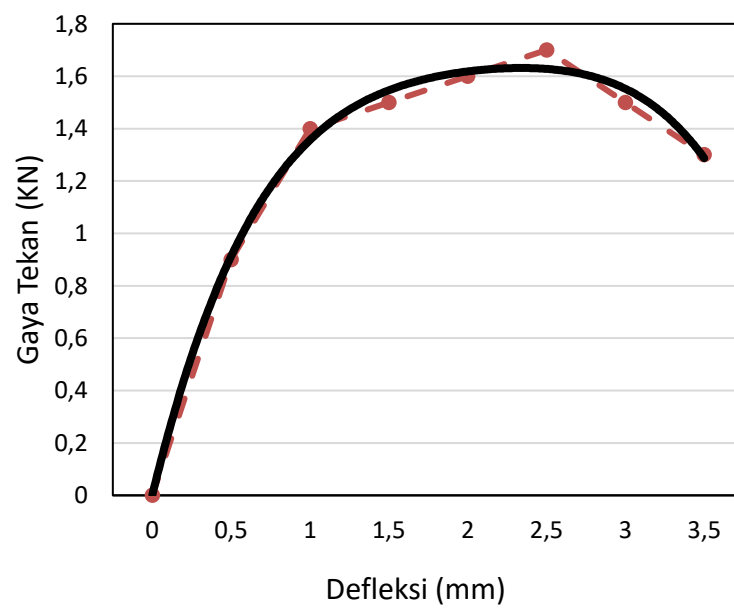
Spesimen A2



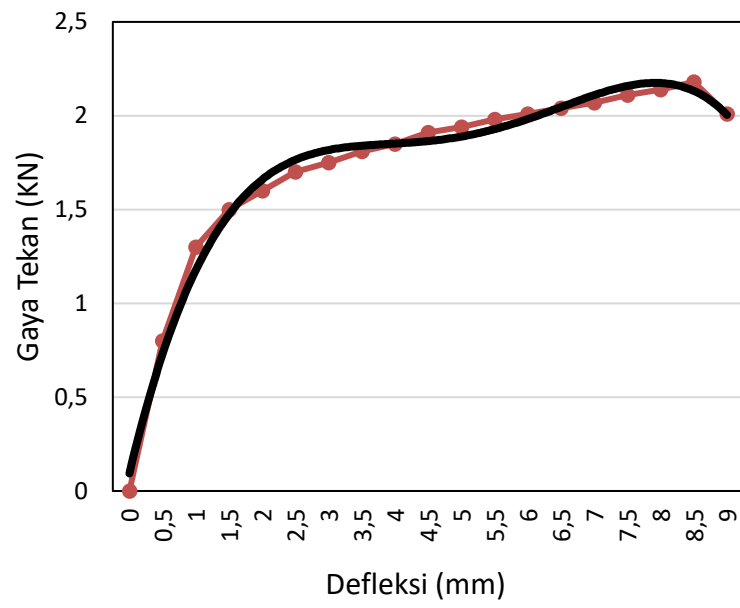
Spesimen A3



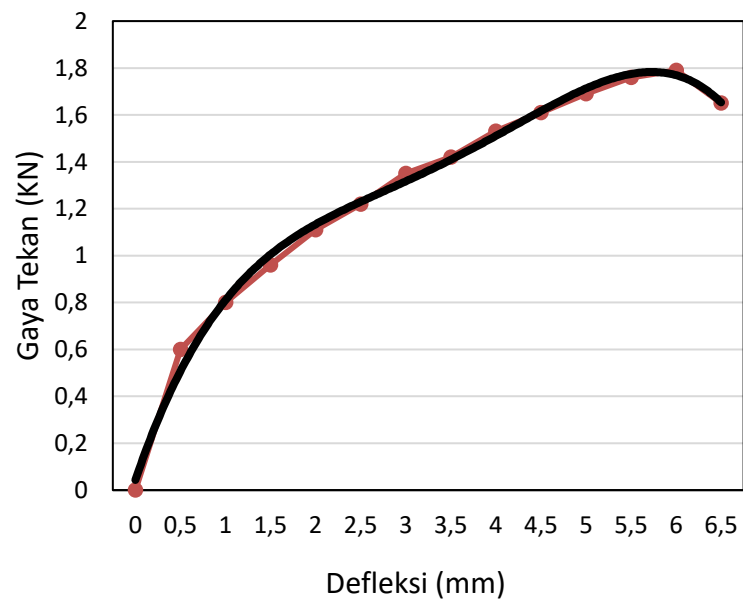
Spesimen B1



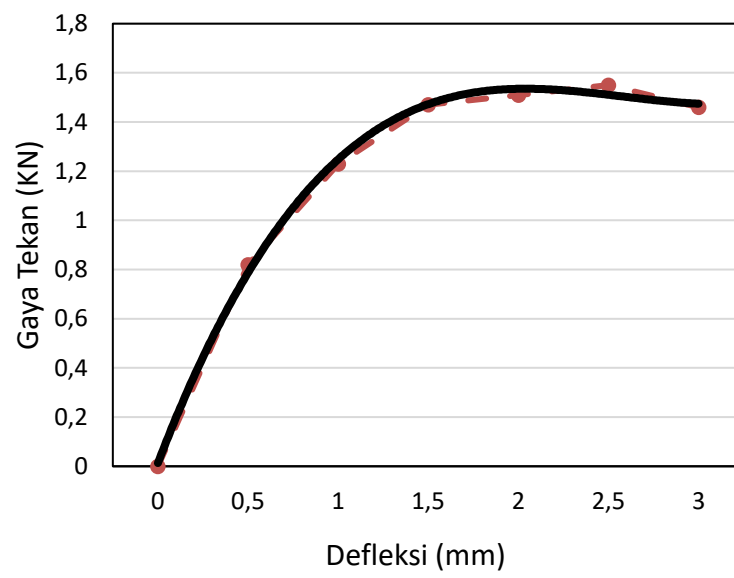
Spesimen B2



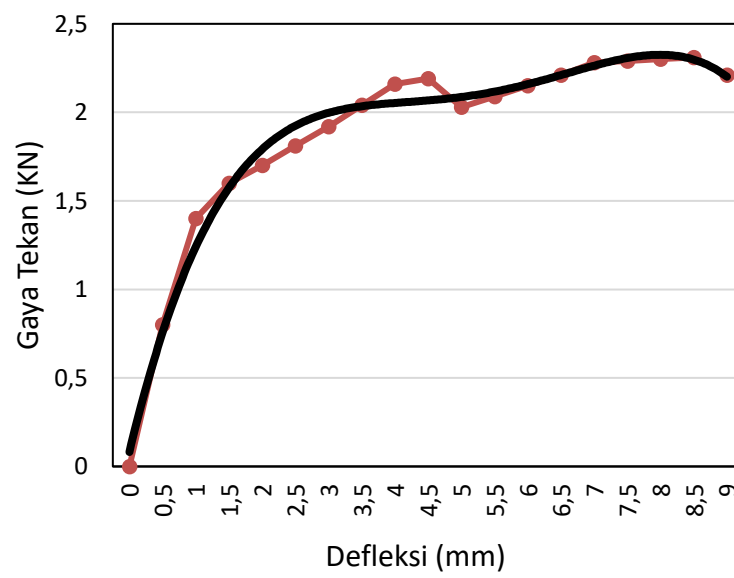
Spesimen B3

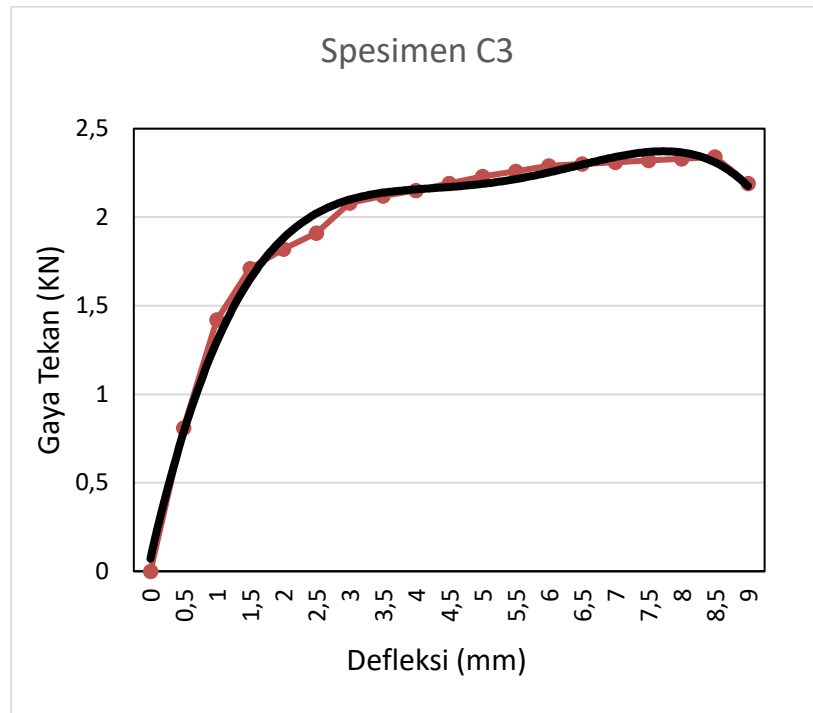


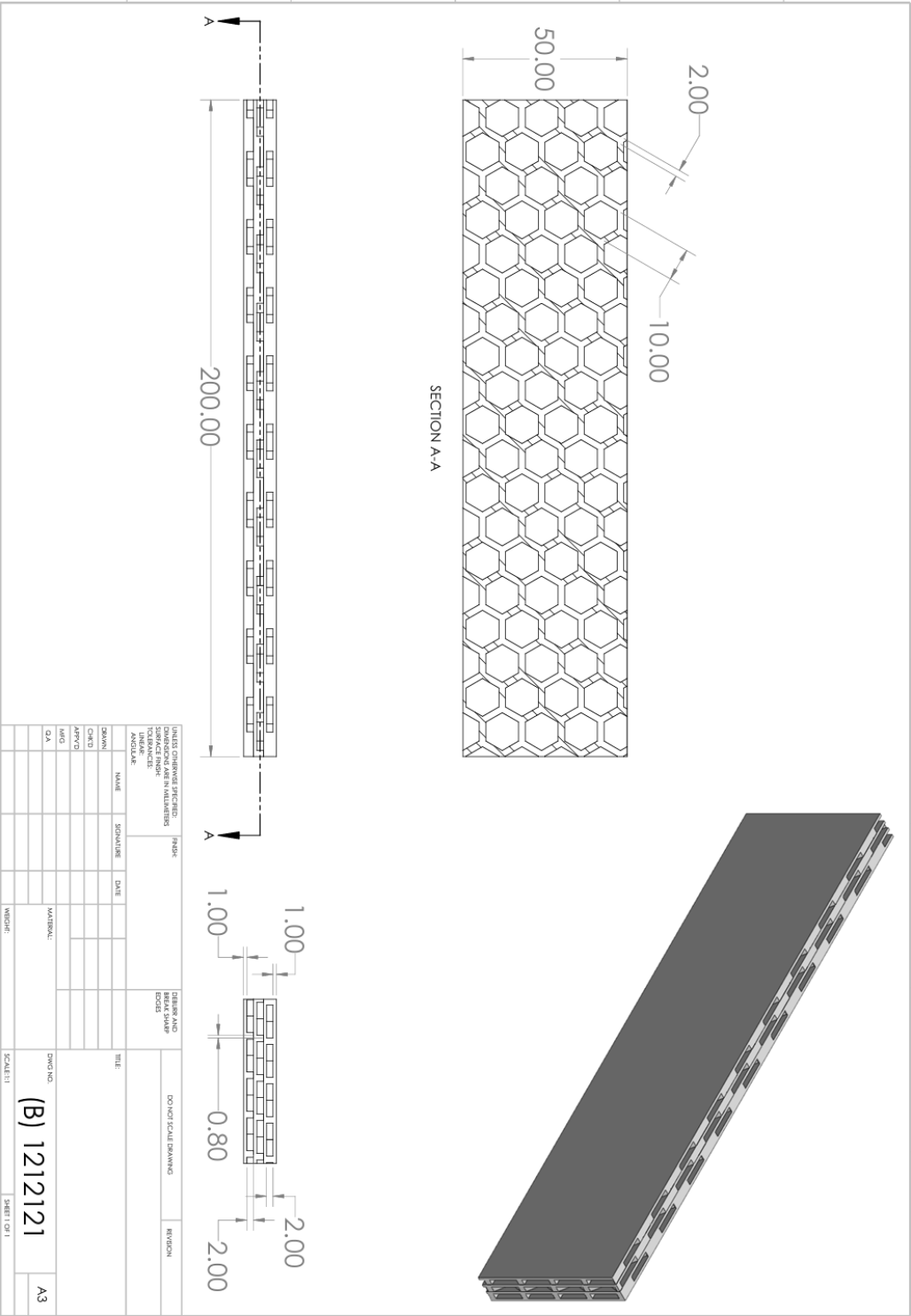
Spesimen C1

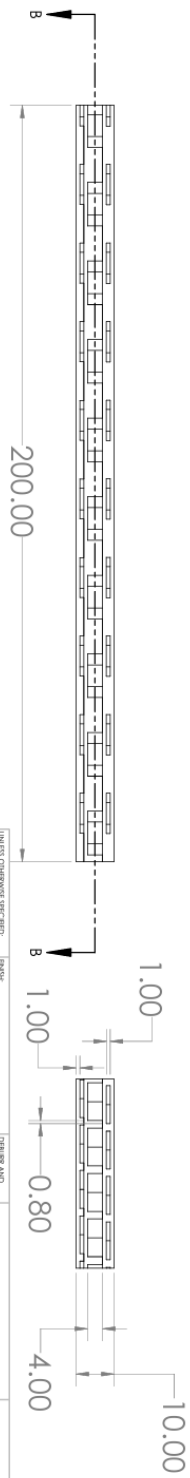
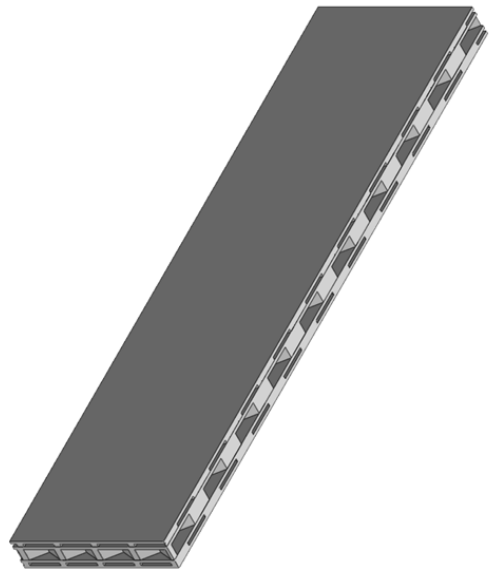
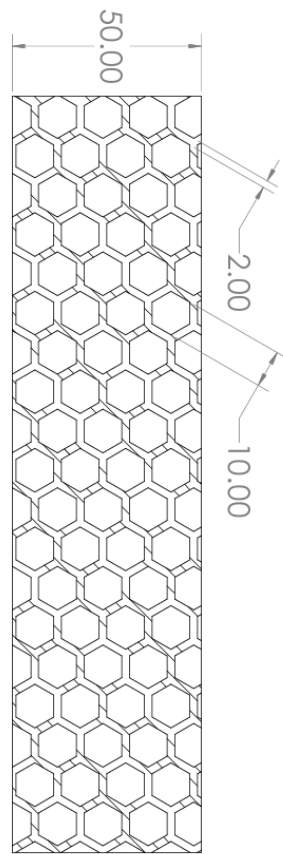


Spesimen C2







[illegible]