

**Pengaruh Orientasi Peletakan Model Pada Proses *3D Printing*
Core Polycarbonate Terhadap Kekakuan *Bending* Spesifik
Komposit *Sandwich PC Core* dan *CF Skin***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh:

Nama : Abiyyu Kurnia Tsani

No. Mahasiswa : 17525040

NIRM : 2017030242

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**Pengaruh Orientasi Peletakan Model Pada Proses *3D Printing*
Core Polycarbonate Terhadap Kekakuan Bending Komposit
*Sandwich PC Core dan CF Skin***

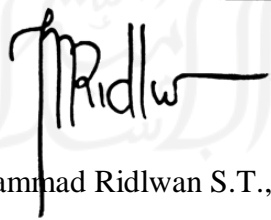
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Abiyyu Kurnia Tsani
No. Mahasiswa : 17525040
NIRM : 2017030242

Yogyakarta, 10 Juni 2022

Pembimbing



Muhammad Ridlwan S.T., M.T

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Pengaruh Orientasi Peletakan Model Pada Proses *3D Printing* *Core Polycarbonate Terhadap Kekakuan Bending Komposit* *Sandwich PC Core dan CF Skin*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Abiyyu Kurnia Tsani
No. Mahasiswa : 17525040
NIRM : 2017030242

Tim Penguji

Muhammad Ridlwan, S.T., M.T.

Ketua



Tanggal : 13/07/2022

Ir. Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M. IPP

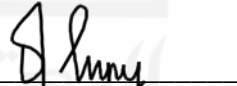
Anggota I



Tanggal : 13 Juli 2022

Finny Pratama Putera, S.T., M.Eng.

Anggota II



Tanggal : 05/07/2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Ir. Risdiyono, S.T., M.Eng., IPM

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

Orang tua saya Bapak Sukaryo Agus Mudra dan Ibu Yuni Astuti yang telah memberikan nasihat dan doa yang tulus kepada saya sampai penulisan tugas akhir ini selesai.

Abang saya Fachrudin Aditya, adik saya Fairuz Atika Putri yang selalu menjadi penyemangat saat mengerjakan tugas akhir ini



HALAMAN MOTTO

“Manusia yang paling tinggi kedudukannya adalah mereka yang tidak melihat kedudukan dirinya, dan manusia yang paling banyak memiliki kelebihan adalah mereka yang tidak melihat kelebihan dirinya.”

(Imam Syafi’i)

“Saat kebodohan menguasai kesadaran, maka kesadaran memiliki hak untuk berbuat hal paling bodoh.”

(Ibnu Sina)



KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum Wr. Wb

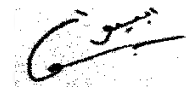
Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, dengan segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir. Sholawat dan salam semoga tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, serta pengikutnya hingga akhir zaman. Dalam kesempatan ini penulis banyak mendapatkan saran, dorongan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala hati perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Risdiyono, S.T., M.Eng., IPM. Selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan dukungan dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Sukaryo Agus Mudra dan Ibu Yuni Astuti selaku orang tua serta Fachrudin Aditya dan Fairuz Atika Putri selaku saudara saya yang telah memberikan doa, semangat, perhatian, dan kasih sayang yang begitu tulus.

5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang diberikan selama masa perkuliahan.
6. Teman seperjuangan Fadhyl Olivianides, Galang Pangestu, dan Gufran Rahardi yang sudah saling membantu selama pengerjaan tugas akhir ini.
7. Teman-teman kontrakan dan teman-teman dari kota asal saya atas canda tawa dan semangatnya selama perkuliahan berlangsung.
8. Akhir kata, menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kesalahan, maka dari itu mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam penulisan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 10 Juni 2022



Abiyyu Kurnia Tsani

17525040

ABSTRAK

Komposit merupakan material yang terdiri dari dua atau lebih material pembentuk yang memiliki sifat yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit sandwich pada penelitian ini merupakan lapisan komposit yang terdiri dari *skin* menggunakan *Carbon fiber* dan material inti *core* menggunakan *Polycarbonate* dengan metode *Hand lay-up* . Pada penelitian ini mengvariasi ketebalan *core* menggunakan 5 dan 10 mm lapisan dengan menggunakan *core* 3D printing. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai kekakuan pada masing-masing ketebalan *core* dan variasi print 3D printing menggunakan pengujian bending. Pengujian bending ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada dan berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai kekakuan tertinggi yaitu pada variasi print mendatar ketebalan 10mm 1 lapisan *skin* dengan nilai 132,09 KNmm²/gr . Hasil spesimen setelah dilakukan proses *Hand lay-up* mengalami perubahan dimensi yaitu pada berat dan tinggi spesimen karena penambahan *Carbon fiber (skin)* yang menempel pada spesimen.

Kata kunci: Komposit *sandwich*, Ketebalan *skin*, Model 3D print, *Hand lay-up*, Pengujian Bending.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vi
Abstrak	viii
Daftar Isi	ix
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xii
Daftar Notasi	xiv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	2
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Komposit	6
2.2.1 Komposit Sandwich	7
2.3 3D <i>Print</i>	8
2.4 Metode <i>Hand Lay-up</i>	9
2.5 Pengujian Kekakuan (<i>Uji Bending</i>)	10
2.6 <i>Epoxy Resin</i>	14
2.7 Ikatan <i>Interface</i>	15
2.8 <i>Internal Geometri</i>	16
Bab 3 Metode Penelitian	18
3.1 Alur Penelitian	18

3.2	Alat dan bahan	19
3.2.1	Perancangan Perangkat Keras.....	19
3.2.2	Perancangan Perangkat Lunak.....	19
3.2.3	Alat dan Bahan Penelitian	19
3.3	Proses pengerjaan.....	22
Bab 4	Hasil dan Pembahasan.....	27
4.1	Proses Pengujian Spesimen	27
4.2	Spesimen Hasil Pengujian	28
4.3	Analisis dan Perhitungan.....	31
4.3.1	Hasil uji spesimen mendatar dengan core 5 mm	31
4.3.2	Hasil uji spesimen menyamping dengan core 5 mm.....	32
4.3.3	Hasil uji spesimen mendatar dengan core 10 mm	32
4.3.4	Hasil uji spesimen menyamping dengan core 10 mm.....	33
4.4	Perhitungan.....	34
4.5	Pembahasan	36
4.5.1	Beban Bending.....	36
4.5.2	Luas Penampang	38
4.5.3	Tegangan <i>Bending</i>	39
4.5.4	Modulus Elastisitas	41
4.5.5	Kekakuan Bending Dan Kekakuan Bending Spesifik	42
Bab 5	Penutup.....	46
5.1	Kesimpulan.....	46
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya	46
Daftar	Pustaka.....	47

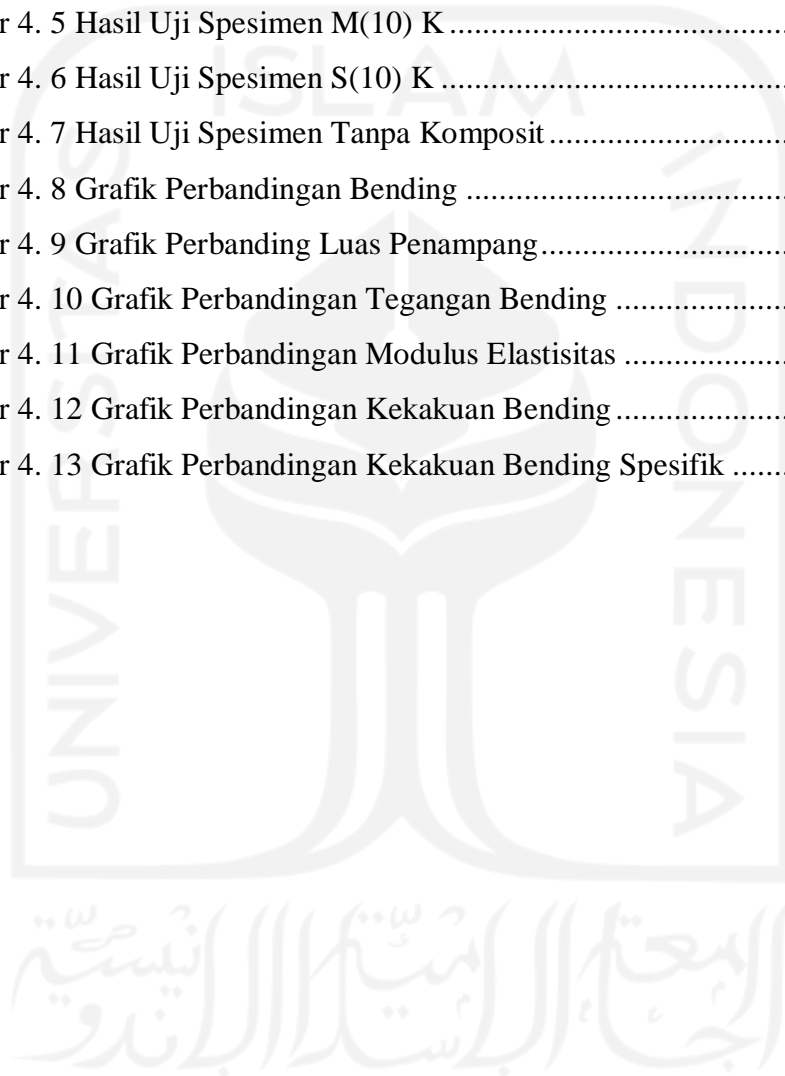
DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Bending Spesimen Dengan Komposit.....	29
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Bending Spesimen Tanpa Komposit	29
Tabel 4. 3 Rata-Rata Hasil Pengujian Bending Spesimen Dengan Komposit	29
Tabel 4. 4 Perbandingan Dimensi Spesimen Sebelum Dan Sesudah Pengujian ..	30
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Luas Penampang Dan Momen Inersia Spesimen Dengan Komposit.....	34
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Luas Penampang Dan Momen Inersia Spesimen Tanpa Komposit.....	35
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dan Kekakuan Bending Spesimen Dengan Komposit.....	35
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dan Kekakuan Bending Spesimen Tanpa komposit.....	36
Tabel 4. 9 Perbandingan Beban Bending Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit	36
Tabel 4. 10 Perbandingan Beban Bending Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit	38
Tabel 4. 11 Perbandingan Beban Bending Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit	39
Tabel 4. 12 Perbandingan Modulus Elastisitas Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit	41
Tabel 4. 13 Perbandingan Kekakuan Bending Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Matriks	7
Gambar 2. 2 Struktur Komposit Sandwich.....	8
Gambar 2. 3 Proses Hand Lay up	10
Gambar 2. 4 Bentuk Spesimen C393	11
Gambar 2. 5 Rumus Perhitungan Luas Penampang 3DP <i>Core</i>	12
Gambar 2. 6 Rumus Perhitungan Momen Inersia 3DP <i>Core</i>	12
Gambar 2. 7 Rumus Perhitungan Luas Penampang Komposit <i>Sandwich</i>	13
Gambar 2. 8 Rumus Perhitungan Momen Inersia Komposit <i>Sandwich</i>	13
Gambar 2. 9 Perbandingan Epoxy dan polimer lain	15
Gambar 2. 10 Interface Epoxy-HGM.....	15
Gambar 2. 11 Kombinasi dari Faktor proses dan Experiment Labels	17
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	18
Gambar 3. 2 Oven	19
Gambar 3. 3 Mesin 3d Print.....	20
Gambar 3. 4 Polycarbonate.....	20
Gambar 3. 5 <i>Carbon fiber</i>	21
Gambar 3. 6 Peel ply	21
Gambar 3. 7 Scotch Spray Mount.....	22
Gambar 3. 8 Standar ASTM C393	23
Gambar 3. 9 Polycarbonate dicetak mendatar	23
Gambar 3. 10 Polycarbonate dicetak menyamping.....	24
Gambar 3. 11 Proses pemotongan carbon fiber	24
Gambar 3. 12 Proses <i>Laminasi</i>	25
Gambar 3. 13 Proses Curing	25
Gambar 3. 14 Proses Pengujian bending	26

Gambar 4. 1 Peletakan Spesimen Pada Proses Pengujian	27
Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Pada Spesimen	28
Gambar 4. 3 Hasil Uji Spesimen M(5)K	31
Gambar 4. 4 Hasil uji spesimen S(5)K	32
Gambar 4. 5 Hasil Uji Spesimen M(10) K	32
Gambar 4. 6 Hasil Uji Spesimen S(10) K	33
Gambar 4. 7 Hasil Uji Spesimen Tanpa Komposit	34
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Bending	37
Gambar 4. 9 Grafik Perbanding Luas Penampang	39
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Tegangan Bending	40
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas	42
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Kekakuan Bending	43
Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Kekakuan Bending Spesifik	44



DAFTAR NOTASI

σ_b = Tegangan Bending maksimal (MPa)

E_b = Modulus elastisitas bending (MPa)

P = Beban yang diberikan (N)

L = Jarak antara titik tumpuan (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

t = tebal lapisan core/ shell (mm)

h = Tebal spesimen (mm)

δ = Defleksi (mm) I = Momen inersia (mm⁴)

A = Luas Penampang (mm²)

D = Kekakuan Bending (Nmm²)

M(K) = 3D Print Mendatar (Komposit)

S(K) = 3D Print Menyamping (Komposit)

M = 3D Print Mendatar (Tanpa Komposit)

S = 3D Print Menyamping (Tanpa Komposit)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan perkembangan teknologi yang cukup pesat, semakin hari teknologi semakin berkembang. Berbagai macam teknologi yang sedang dikembangkan salah satunya menciptakan teknologi baru yaitu *3d printing*.

3D printing adalah sebuah printer yang dapat menghasilkan barang atau benda dalam berbentuk tiga dimensi yang pada umumnya menggunakan material PLA. Namun pada penelitian ini membandingkan beberapa parameter yaitu arah print suatu produk dan ingin mencari material alternatif lain agar dapat menjadi salah satu alternatif material yang unggul kedepannya salah satunya yaitu *polycarbonate*.

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentukannya berbeda (Azissyukhron & Hidayat, 2018).

Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit yang terdiri dari satu lapisan atau lebih dengan mempunyai inti *core* dengan serat kaca atau karbon. Komposit *sandwich* diharapkan cocok untuk menahan beban lentur, komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan yang tinggi agar dapat menjadi salah satu alternatif material kedepannya.

Pada penelitian sebelumnya telah menghasilkan Analisa pengujian bending dengan material PLA dengan *skin* serat kaca (Izma, 2021) namun material PLA yang tidak tahan panas sehingga dapat membuat material tersebut mudah berubah bentuk jika dilakukan proses *curing*, karena tidak tahan panas maka dari itu perlu dilakukan penelitian material *polycarbonate* sebagai *core* dan *skin* karbon *fiber* dikarenakan *polycarbonate* salah satu alternatif material yang unggul dari PLA dan tahan panas dengan perbandingan ketebalan *core* dan variasi cara *print*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di sampaikan, maka permasalahan yang dapat diidentifikasi adalah sebagai berikut:

- Bagaimana melakukan proses *hand lay-up* yang sesuai?
- Bagaimana hasil dari material *Polycarbonate* dengan *variable* ketebalan *core* dan variasi *print* setelah dilakukan proses *hand lay-up* pada karbon *fiber*?
- Bagaimana mengetahui nilai kekakuan dari spesimen penggabungan material *Polycarbonate* + komposit *sandwich* dan tanpa lapisan komposit *sandwich*?

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini batasan masalah perlu dilakukan untuk memfokuskan kajian metode sehingga prosesnya menjadi terarah dan jelas, diantaranya:

- Pembuatan spesimen menggunakan standar ASTM C393 dengan material *Polycarbonate*.
- Metode yang digunakan adalah *hand lay-up*.
- *Hand lay up* dilakukan menggunakan mesin pada Lab Proses Produksi UII.
- Pengujian dilakukan hanya pengujian bending.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Penelitian ini bertujuan untuk:

- Membuat komposit *sandwich* yang digabungkan dengan material *Polycarbonate* dengan metode *Hand lay up*.
- Mengetahui perubahan dimensi pada setiap Spesimen.
- Mengetahui Kekakuan *Bending* Spesifik dari setiap variasi setiap spesimen.
- Mengetahui Kegagalan pada masing-masing variasi *core*.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Berdasarkan tujuan penelitian yang ingin dicapai diharapkan memiliki manfaat dalam pengetahuan dan wawasan baik secara langsung maupun tidak langsung. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mengetahui perbedaan nilai kekauan masing-masing material.
- Mengetahui proses *Hand Layup* yang baik.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada bagian ini dituliskan urutan dan sistematika penulisan yang dilakukan. Berikan ringkasan mengenai isi masing-masing bab. Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri dari lima bab, yaitu :

1. Bab 1. Pendahuluan, yang berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
2. Bab 2. Kajian pustaka dan teori-teori yang akan dipakai pada penggunaan metode ini.
3. Bab 3. Metodologi penelitian, berisikan alur penelitian, alat, bahan, dan tahapan-tahapan proses pembuatan spesimen.
4. Bab 4. Proses Pengerjaan dan Hasil Pembahasan, berisikan proses pembuatan produk, pembahasan proses pembuatan produk.
5. Bab 5. Kesimpulan dan saran, berisikan kesimpulan dari hasil pembuatandan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka pertama yang digunakan sebagai dasar yang dilakukan pada penelitian ini berjudul “*Analisis Uji Bending Komposit Sandwich yang digabungkan 3D Print*” (Izma, 2021). Pada penelitian tersebut dilakukan Uji Bending, komposit yang digunakan yaitu *fiberglass* dan *core* berupa *3D Printing*. Variasi spesimen yang dibuat diantaranya 3DP + *Fiberglass* 1 lapis, 3DP + *Fiberglass* 2 lapis, 3DP + *Fiberglass* 3 lapis, dan 3DP + *Lantor Soric*. Dari variasi komposit *sandwich* tersebut dibuat 2 kerapatan atau *infill* 3DP 10% dan 20% dengan total 8 spesimen uji untuk dibandingkan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada variasi komposit *sandwich* dengan *infill* 20% lebih unggul dari pada variasi komposit *sandwich* dengan *infill* 10%, lebih tepatnya pada variasi komposit *sandwich* dengan *infill* 20% 3 lapis *fiberglass*, pada variasi tersebut memiliki keregangannya *infill* lebih rapat, serta dapat menahan tegangan bending lebih besar dari pada variasi lainnya dengan nilai tegangan bending 27,48 MPa nilai tersebut merupakan nilai tertinggi dari pada variasi komposit *sandwich* yang lainnya (Izma, 2021)

Kajian pustaka yang kedua yaitu berjudul “*Analisis Pengaruh Ketebalan Skin Pada Komposit Sandwich Terhadap Uji Bending Menggunakan Metode Vacuum Infusion*” (Izma, 2021). Dalam penelitian ini membahas tentang analisis pengujian bending pada komposit *sandwich* dengan PLA sebagai *core* dan *skin fiberglass* menggunakan metode *vacuum infusion* dengan perbandingan *skin* di setiap spesimennya. Hasil analisis dan perhitungan menunjukkan bahwa beban maksimal, luas penampang, tegangan bending, modulus elastisitas dan kekakuan bending pada spesimen yang ditambahkan lapisan komposit *sandwich* memiliki nilai yang lebih unggul dibanding spesimen tanpa lapisan komposit. Penambahan komposit *sandwich* memberikan peningkatan pada Kekakuan Bending, dimana spesimen dengan nilai Kekakuan tertinggi berada pada variasi 2 lapis *skin* komposit

yaitu 4.131,39 KNmm². Sedangkan spesimen tanpa lapisan komposit memiliki nilai kekakuan yaitu 394,18 KNmm² (Izma, 2021).

Kajian pustaka yang ketiga yaitu berjudul “Pengaruh Susunan Lamina Komposit Berpenguat Serat *E-Glass* dan Serat *Carbon* Terhadap Kekuatan Tarik Dengan Matrik *Polyester*” oleh (Rusman & Arif, 2015). Dalam penelitian ini terdapat empat variasi susunan lamina serat penguat komposit yaitu, 3 lapisan serat *E-Glass* jenis *Random*, 3 lapisan serat *E-Glass WR (Woven Roving)*, 3 lapisan serat *Carbon* dan 3 lapisan Hibrid. Manufaktur spesimen komposit menggunakan metode *hand lay-up*. Pengujian kekuatan tarik menggunakan standar ASTM D 3039-00. Hasil dari masing-masing variabel dianalisis secara statistika menggunakan SPSS. Berdasarkan hasil penelitian kekuatan tarik terbesar pada susunan lamina komposit serat *Carbon* dengan nilai 265,99 MPa. Sedangkan kekuatan tarik terendah pada susunan lamina komposit serat *E-Glass Random* dengan nilai 115,01 MPa. Lamina komposit dengan serat *E-glass WR* dan serat Hibrid memiliki kekuatan yang hampir sama, masing-masing 196,30 MPa untuk serat *E-Glass WR* dan 198,25 MPa untuk serat Hibrid. Dari hasil analisis statistika juga menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap jenis serat yang digunakan. (Ichsan & Irfa'i, 2015)

Kajian pustaka yang keempat yaitu berjudul “Kajian Eksperimental Komposit Karbon *Hybrid E-Glass WR 185* dengan Matriks *Polyester* menggunakan Metode Manufaktur *Hand Layup*” oleh (Herru, 2015). Dalam penelitian ini menggunakan mekanisme *hybrid* dengan gabungan antara serat karbon dan *E-Glass WR 185* yang pengikatnya digunakan polimer berjenis *polyester* dengan metode *Hand Lay-up*. Metode dengan melaminasi secara satu persatu lembaran serat dengan memanfaatkan bantuan kuas atau *roll*. Ketika plat komposit sudah terbentuk maka dilakukan pemotongan spesimen sesuai ukuran *density*, standar ASTM D3039 (uji tarik), ASTM D6641 (uji tekan) dan ASTM D5379 (uji geser). Pengujian sifat mekanik dilakukan dengan menambahkan *hole* pada spesimen

sebagai peraga dudukan sambungan dalam pengaplikasian material sebagai *primary structure* pada pesawat terbang. Nilai densitas (berat jenis) material dengan dimensi sampel 100 mm² berada pada nilai 1,42 g/cm³ dengan berat di udara 0,418 g dan berat di air 0,12 g. Berdasarkan hasil penelitian Pengujian Tarik *no hole* memiliki nilai *maximum stress* sebesar 293,18 MPa dan *open hole* sebesar 236,66 MPa. Pengujian tekan *no hole* memiliki nilai *maximum stress* sebesar 146,9 MPa dan *open hole* sebesar 139,1 MPa. Pengujian geser memiliki nilai *maximum stress* sebesar 44,164 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 769,66 MPa. Hal ini membuktikan *open hole* menyebabkan turunnya nilai kekuatan tarik dan tekan sebesar 19,27 % dan 5,3 %. Tipe kegagalan uji tarik AGM, AGT, dan AGB. Kemudian uji tekan memiliki tipe patahan AGM dan LAT. (Herru, 2015)

2.2 Komposit

Komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka komposit antar material harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent*.

Dalam teknologi komposit, matriks dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai pengisi dan pengikat yang mendukung, melindungi, dan dapat mendistribusikan beban dengan baik ke material penguat komposit. Berdasarkan jenis matriksnya, maka komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. PMC (*Polymer Matrix Composite*)

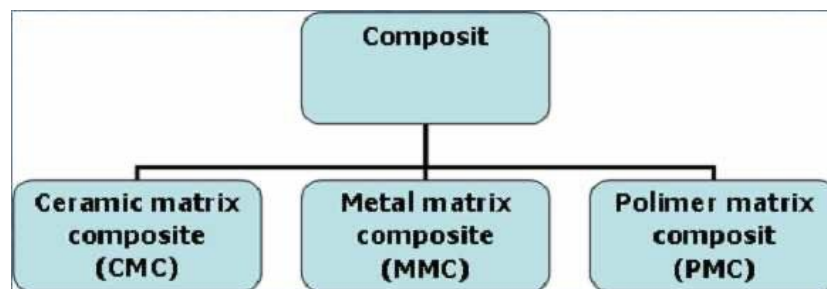
Merupakan komposit yang menggunakan material polimer sebagai matriksnya. Contohnya adalah: GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) dan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*).

2. CMC (*Ceramic Reinforced Composite*)

Adalah komposit yang menggunakan material keramik sebagai fase pengisinya (matriks). Contohnya adalah: *Boron reinforced SiC*.

3. MMC (*Metal Matrix Composite*)

Merupakan komposit yang menggunakan material logam sebagai matriks. Contohnya adalah: *Carbon reinforced aluminium*. Penguat (*reinforce*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat yang memiliki sifat lebih kuat dari fase matriks dan merupakan suatu konstruksi/rangka tempat melekatnya matriks.



Gambar 2. 1 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Matriks

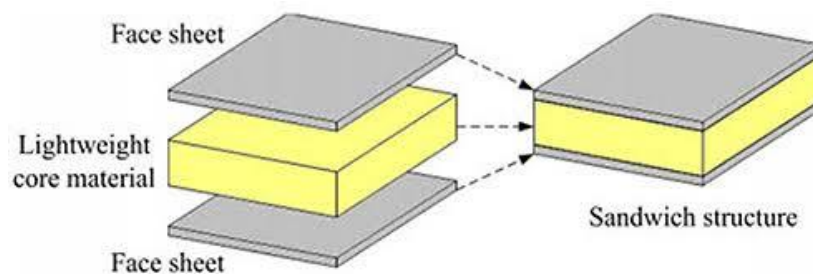
Sumber: (Nayiroh, 2013)

2.2.1 Komposit *Sandwich*

Panel komposit *sandwich* umumnya terdiri dari dua lembar muka atau kulit tipis namun kaku yang dipisahkan oleh inti modulus yang ringan dan tebal namun rendah. Dengan demikian, mereka relatif ringan dan efisien dalam mendukung beban melintang. Umumnya, *facesheet* terbuat dari paduan ringan seperti aluminium atau komposit yang diperkuat serat. Kombinasi material ini menghasilkan struktur yang agak kompetitif di area aplikasi, di mana kekuatan dan kekakuan spesifik menjadi fokus utama. *Skin* merupakan struktur *sandwich* yang berfungsi sebagai pelapis *core*. Meskipun ringan, komposit dan struktur *sandwich*

rentan terhadap kerusakan akibat benturan, yang dapat sangat menurunkan kekakuan struktural, stabilitas, dan daya dukung beban.

Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban lentur, impact, meredam getaran dan suara. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Biasanya pemilihan bahan untuk komposit *sandwich*, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan. (Chai & Zhu, 2011). Struktur komposit *Sandwich* dapat dilihat pada Gambar 2. 2 Struktur Komposit Sandwich



Gambar 2. 2 Struktur Komposit Sandwich

Sumber: (Suryanto, 2019)

2.3 3D Print

3D *Printing* adalah proses pembuatan benda padat tiga dimensi dari sebuah desain secara digital menjadi bentuk 3D yang tidak hanya dapat dilihat tapi juga dipegang dan memiliki *volume*. 3D printer dicapai dengan menggunakan proses aditif, dimana sebuah obyek dibuat dengan meletakkan lapisan yang berurut dari bahan baku. Printer 3D juga sering disebut dengan *addictive manufacture* atau manufaktur tambahan. Pada tahun 1986, seseorang bernama Charles W. Hull

memiliki hak paten dengan teknologi *stereolithography*. Teknologi ini merupakan teknologi untuk membuat objek 3D. (Herru, 2015)

3D *Printing* dapat mencetak pemodelan, dan tidak membutuhkan waktu yang lama dalam proses pembuatan suatu produk namun 3D *Printing* juga memiliki kekurangan yaitu kekuatan yang rendah serta dimensi dari produk yang terbatas. (Herru, 2015)

Dalam pembuatan 3D *Printing* dibutuhkan bahan yang berbentuk filamen. *Polycarbonate* (PC) merupakan suatu kelompok polimer termoplastik, mudah dibentuk dengan menggunakan panas. Plastik ini memiliki banyak keunggulan, yaitu ketahanan termal dibandingkan dengan plastik jenis lain, tahan terhadap benturan, dan sangat bening. *Polycarbonate* banyak dijual berupa lembaran, dan ada jenis dua lapisan dimana diantara lapisan berupa lubang dengan tujuan sebagai tempat aliran udara sehingga dapat mengurangi hawa panas akibat pemakaian *polycarbonate*. (Nurtanto & Hasanuddin, 2014)

2.4 Metode *Hand Lay-up*

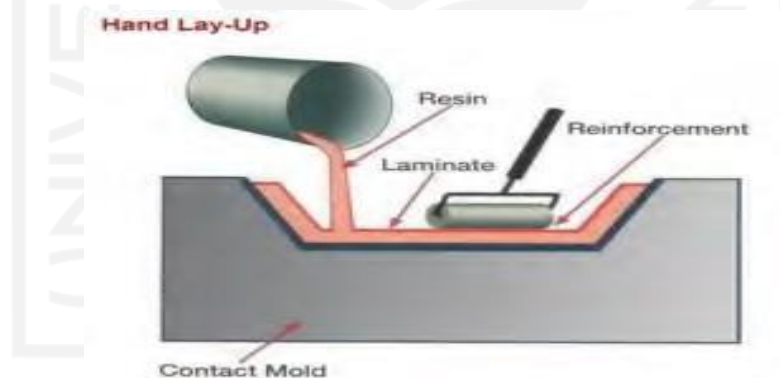
Penggunaan bahan komposit dengan bahan utama *E-Glass*, masih perlu adanya penelitian lebih lanjut guna mengetahui kekuatan maupun ketahanan dari komposit ini, dengan menggunakan beberapa metode seperti *bagging*, *hand lay-up*, dan *vacum infusion*. Metode pembuatan juga akan mempengaruhi kualitas yang dihasilkan dari komposit tersebut

Konsep *hand lay-up* pada pembuatan komposit dilakukan dengan metode lapisan demi lapisan sampai diperoleh ketebalan yang diinginkan. Dimana setiap lapisan berisi matrik dan *filler*. Perbandingan antara matrik dan *filler* yaitu 60:40. Setelah memperoleh ketebalan yang diinginkan, digunakan *roller* untuk meratakan dan menghilangkan udara yang terjebak didalamnya. (Kurniawan et al., 2020)

Metode *hand lay-up* yang menjadi metode paling sederhana dan metode *vacuum bag* yang menjadi metode penyempurnaan dari metode *hand lay-up*. Secara

umum dalam proses pengerjaannya kedua metode tersebut tidak berbeda jauh, hanya saja pada metode *vacuum bag* dilakukan proses penyedotan menggunakan alat vakum yang bertujuan untuk menghilangkan resin yang berlebih dan udara yang terperangkap pada laminasi sehingga didapat komposit dengan sifat material yang lebih baik dari komposit hasil metode *hand lay-up*. (Azissyukhron & Hidayat, 2018).

Metode *hand lay up* biasanya memiliki waktu *curing* pada suhu kamar dan akan mengering hingga satu hari tergantung jumlah resin dan jenis resin serta katalis yang diberikan. Waktu *curing* bisa dipersingkat dengan menyemburkan udara panas. Pemberian tekanan dengan roller atau kuas bertujuan untuk mengurangi *void* / gelembung udara yang terperangkap dalam laminat komposit. Secara umum metode *hand lay up* digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. 3 Proses Hand Lay up

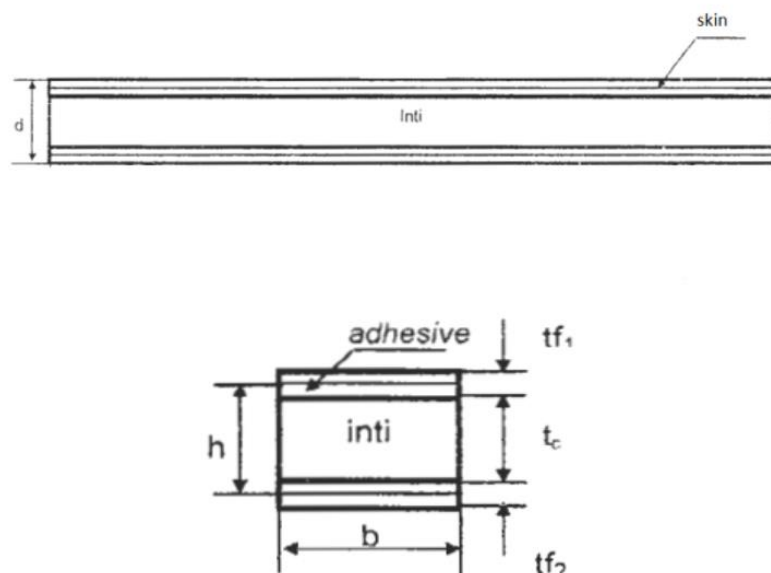
Sumber: (Fadli, 2016)

2.5 Pengujian Kekakuan (Uji *Bending*)

Pengujian bending merupakan proses pembebanan suatu material pada suatu titik ditengah- tengah dari material yang ditahan diatas dua tumpuan kanan dan kiri. Dengan diberikan beban maka spesimen akan mengalami perubahan

bentuk atau yang biasa disebut deformasi. Akibat dari pengujian bending pada spesimen adalah bagian atas mengalami gaya tekan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan Tarik. Pada pengujian *bending* terdapat dua jenis pengujian, yaitu *three point bending* dan *fourpoint bending*.

Dalam aplikasinya komposit *sandwich* tak pernah lepas dari proses pembebanan mekanik terutama beban bending. Pada umumnya kelemahan komposit *sandwich* terhadap beban *bending* terletak pada bagian yang belum merata pemampatannya antara serat dan matik pada bagian bawah pada spesimen. Pada lapisan ini mempunyai kekuatan tarik maksimum dan akan mengalami kegagalan paling awal karena tidak mampu menahan tegangan tarik pada bagian bawah komposit, sehingga akan terjadi retak lebih awal. Kegagalan komposit *sandwich* akibat beban *bending* diawal dari skin komposit sisi belakang dan dilanjutkan dengan kegagalan core, delaminasi antara skin dan core. Spesimen dan metode pengujian mengacu pada standar ASTM C393 bisa dilihat pada Gambar 2. 4 Bentuk Spesimen C393.

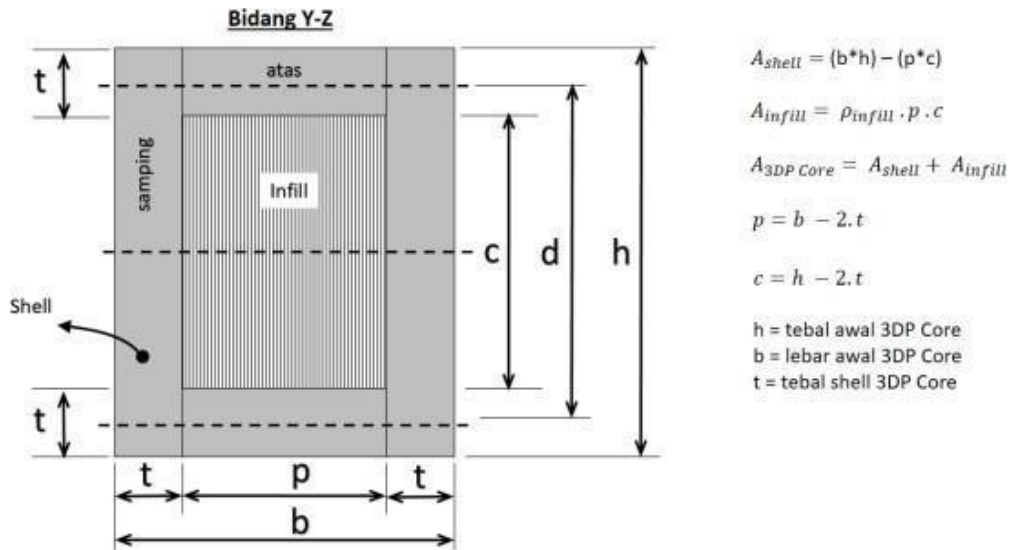


Gambar 2. 4 Bentuk Spesimen C393

Sumber: (Hidayat et al., 2016)

Perhitungan luas penampang dan momen inersia pada komposit *sandwich* berbeda dengan perhitungan batang pejal. Luas penampang dan momen inersia komposit *sandwich* dapat dilihat pada gambar dibawah.

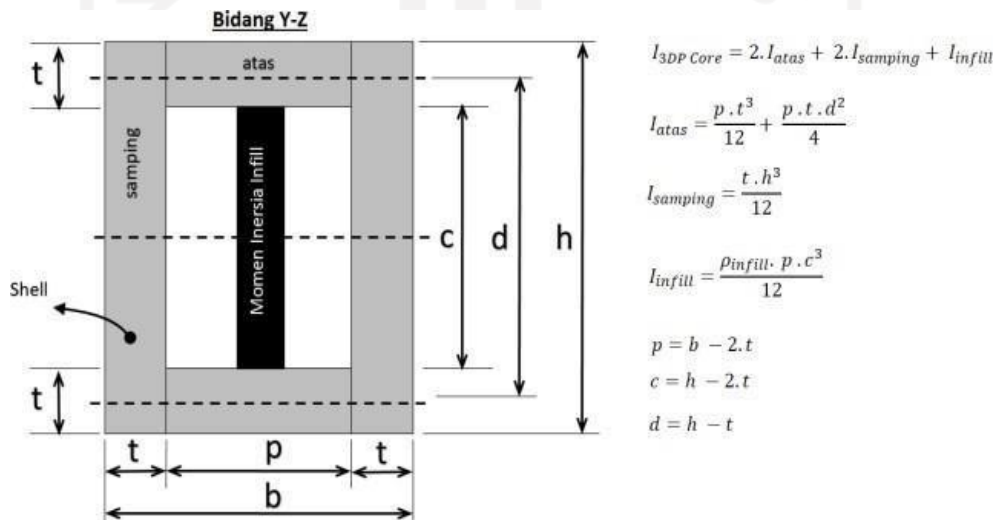
- Luas penampang spesimen 3D Printing



Gambar 2. 5 Rumus Perhitungan Luas Penampang 3DP Core

Sumber : (Oliviandes, 2022)

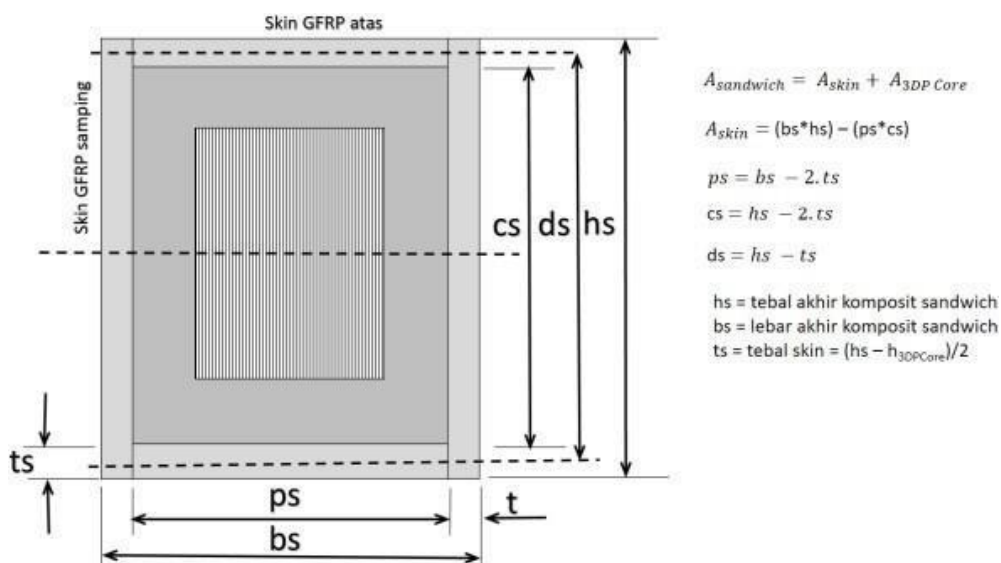
- Momen inersia 3D Printing



Gambar 2. 6 Rumus Perhitungan Momen Inersia 3DP Core

Sumber : (Oliviandes, 2022)

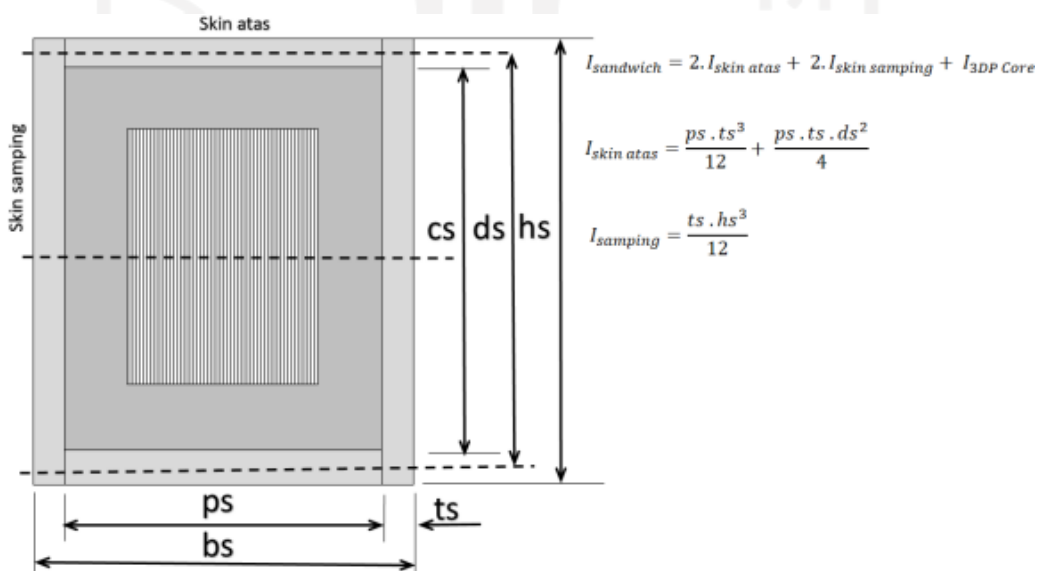
- Luas Penampang GFRP Spesimen



Gambar 2. 7 Rumus Perhitungan Luas Penampang Komposit Sandwich

Sumber : (Oliviandes, 2022)

- Momen Inersia GFRP Spesimen



Gambar 2. 8 Rumus Perhitungan Momen Inersia Komposit Sandwich

Sumber : (Oliviandes, 2022)

2.6 Epoxy Resin

Salah satu jenis matriks yang sering digunakan adalah *epoxy*. *Epoxy* merupakan suatu kopolimer yang terdiri dari "resin" dan "pengeras". Resin ini terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek pada kedua ujung dengan kelompok epoksida. *Epoxy* resin dihasilkan dari reaksi antara *epiklorohidrin* dan *bisphenol-A*. Pengeras terdiri dari monomer *polyamine*, contohnya *triethylenetetramine* (Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Sehingga polimer yang dihasilkan menjadi kaku dan kuat. Proses polimerisasi disebut "*curing*" yang dapat dikontrol melalui suhu. (ADIPUTRA, 2016)

Epoxy memiliki sifat yang keras dan getas. Namun dalam penggunaannya, *epoxy* hampir selalu mengandung bahan campuran lain untuk menyesuaikan sifat mekaniknya. Baik dari sisi kekuatan, kekenyalan, keuletan, sampai kearah sobekan sesuai dengan penggunaannya. Seperti jenis plastik lain, kebanyakan plastik adalah isolator listrik dan konduktor panas yang buruk. Kecuali bila ditambahkan campuran, misalnya serbuk logam / karbon lain. Pengerasan yang terjadi pada bahan ini bertahap. Berbeda dengan bahan *polyester* yang mengeras dengan cepat ketika menggunakan katalis dalam jumlah yang banyak. Reaksi kimia yang terjadi dalam kedua kasus adalah eksotermik. Campuran akan menghasilkan panas mereka sendiri yang dapat mempercepat reaksi.

Resin jenis ini memiliki keunggulan yaitu memiliki temperatur transisi cukup bervariasi yaitu 50°C hingga 175°C yang jika dibandingkan dengan resin jenis lain yang banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia industri. Beberapa keunggulan dan kekurangannya terlihat pada Gambar 2. 9 Perbandingan Epoxy dan polimer lain.

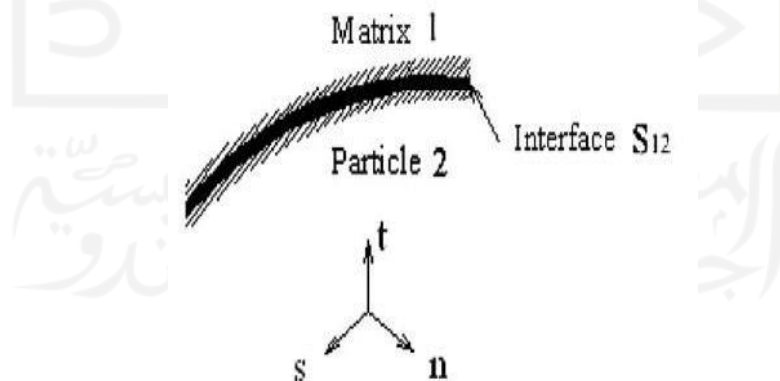
Resin	Advantages	Disadvantages
Polyester	<ul style="list-style-type: none"> - Easy to use - Lowest cost of resins 	<ul style="list-style-type: none"> - Only moderate <i>mechanical</i> properties - High styrene emissions in open moulds - High shrinkage - Limited range of working time
Vinyl esters	<ul style="list-style-type: none"> - Very high chemical resistance - Higher <i>mechanical</i> properties than polyesters 	<ul style="list-style-type: none"> - Postcure generally required for high properties - High styrene content - High cost than polyester - High cure shrinkage
Epoxy es	<ul style="list-style-type: none"> - Tensile strength 85 Mpa - Compressive 106 Mpa - High water resistance - Long working time available - Temperatur resistance can be up to 140°C -220°C dry - Low cure shrinkage 	<ul style="list-style-type: none"> - More expensive than vinylester - Critical mixing - Corrosive handling

Gambar 2. 9 Perbandingan Epoxy dan polimer lain

Sumber: (Fadli, 2016)

2.7 Ikatan *Interface*

Ikatan pada *matrix* dan penguat merupakan faktor penting yang mempengaruhi sifat mekanik pada komposit. Jika antara *matrix* dan penguat memiliki ikatan yang kuat maka sifat pada penguat mampu digunakan secara maksimal dalam meningkatkan kekuatan dari matriks tersebut. Bisa dilihat pada Gambar 2. 10 Interface Epoxy-Hgm.



Gambar 2. 10 Interface Epoxy-HGM

Sumber: (Fadli, 2016)

Pada Gambar 2. 11 terlihat pada komposit partikel luasan dan ketebalan *interface* antara partikel 2 dan *matrix* 1 merupakan faktor yang mempengaruhi kekuatan dan pola patahan pada sebuah komposit, jika *matrix* mampu mengikat seluruh luasan pada partikel penguat maka sifat mekanik pada komposit akan menjadi lebih baik.

Ikatan yang terjadi antara *matrix* dengan HGM terjadi secara natural dengan ikatan antara atom penyusun komposit tersebut. Jika semakin banyak luasan dari HGM berikatan dengan *matrix* maka hal tersebut akan meningkatkan *shear modulus* pada interface *epoxy*-HGM akan menjadi meningkat. Jika HGM bisa berikatan kuat dengan matriksnya maka sifat mekanik pada HGM akan bisa lebih berpengaruh untuk meningkatkan kekuatan pada matriks komposit. (Fadli, 2016)

2.8 Internal Geometri

Peneliti bernama Tomislav Galeta melakukan riset terhadap kekuatan mekanik material powder zp130 yang merupakan campuran antara plaster, vinyl *polymer*, dan *sulphate salt*. Mesin cetak tiga dimensi yang digunakan berjenis Z310 yang merupakan jenis mesin cetak tiga dimensi monochromatic dengan skala cetak objek kecil hingga sedang. Sampel yang digunakan merujuk pada sampel uji tarik ISO 527:2012. Dimensi dan internal geometri sampel ditampilkan pada gambar 2.16. Tidak hanya variasi geometri, Galeta juga memvariasikan orientasi atau arah pencetakan dari setiap sampel terhadap koordinat sumbu X dan Y. Tabel 2.2 menampilkan variasi orientasi dari setiap variabel. Dari ketiga variasi struktur terbagi lagi menjadi empat variabel berdasarkan pada orientasi pencetakan. Dapat dilihat pada Gambar 2. 12 Kombinasi dari Faktor proses dan Experiment Labels

Structure	Honeycomb (H)				Drills (D)				Stripes (S)				Full (F)
Orientation	X		Y		X		Y		X		Y		Y
Base	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W
Experiment label	H	H	H	H	D	D	D	D	S	S	S	S	FYW
	X	X	Y	Y	X	X	Y	Y	X	X	Y	Y	
	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	

Gambar 2. 12 Kombinasi dari Faktor proses dan Experiment Labels

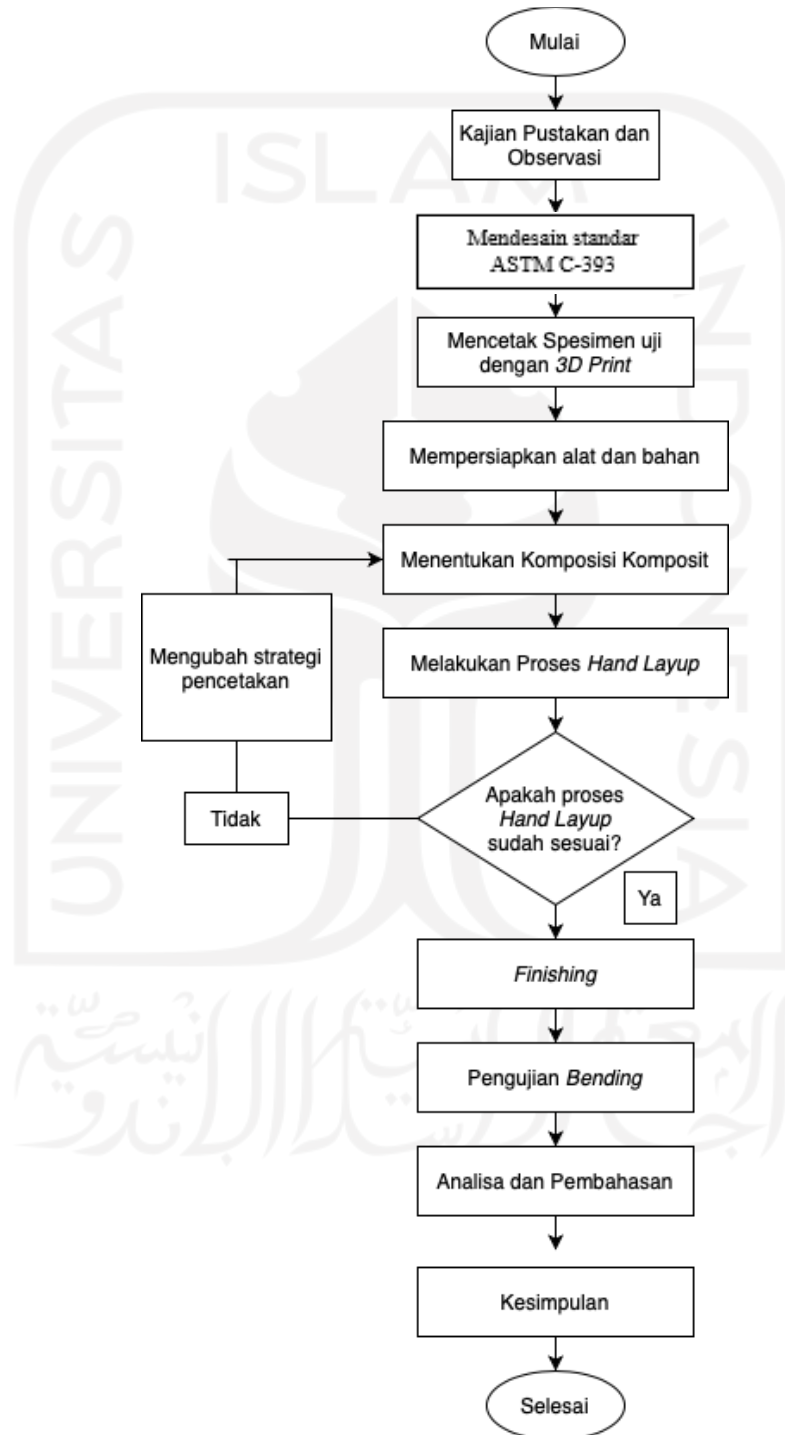
Sumber: (Tomislav Galeta, 2016)

Pendekatan metode elemen hingga menggunakan *software Inventor* juga digunakan dalam penelitian ini. Simulasi uji tarik dilakukan untuk memprediksi kemungkinan lokasi atau area yang mengalami *crack*. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh simpulan bahwa internal geometri honeycomb memiliki kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan dengan kedua *variabel* internal geometri lainnya dan sampel kontrol.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

3.2 Alat dan bahan

3.2.1 Perancangan Perangkat Keras

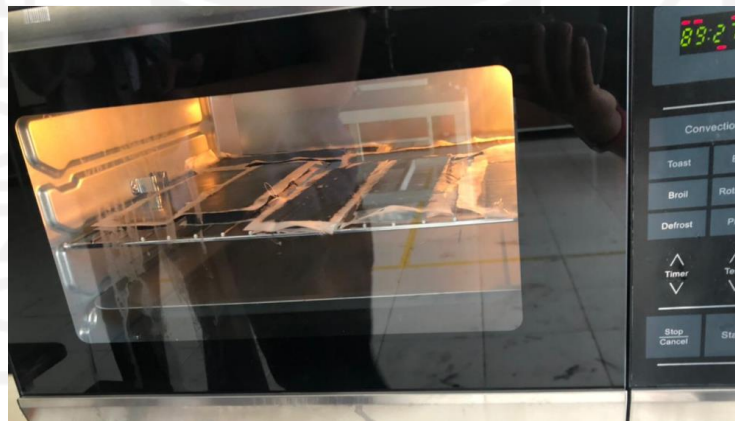
- Laptop
- Mesin *3D Print*
- *Oven*

3.2.2 Perancangan Perangkat Lunak

- *Software Autodesk Inventor 2018*
- *Software 3D Print*

3.2.3 Alat dan Bahan Penelitian

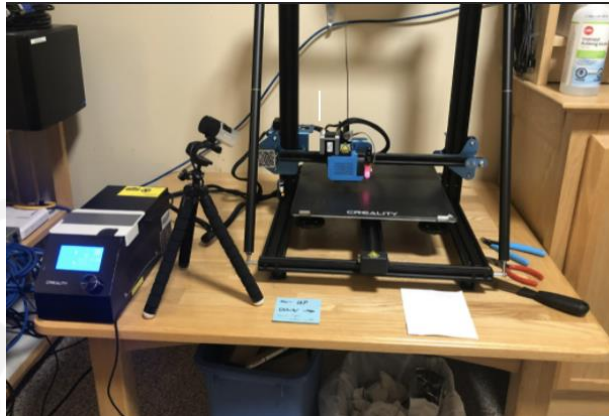
- *Oven*



Gambar 3. 2 Oven

Oven pada proses *hand layup* berfungsi sebagai pemanas untuk proses percepatan pengeringan pada komposit *sandwich carbon fiber*. Penggunaan oven ini menggunakan suhu 70 derajat Celsius selama 2-3 jam. Adapun oven yang digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 2 Oven.

- *3D Print*



Gambar 3. 3 Mesin 3d Print

3d print berfungsi sebagai pada penelitian ini berfungsi sebagai pencetakan spesimen uji ASTM C393, *3d print* yang digunakan pada penelitian ini adalah CR 10 V3. Adapun *3d print* yang digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 3 Mesin 3d Print.

- *Polycarbonate Filament*



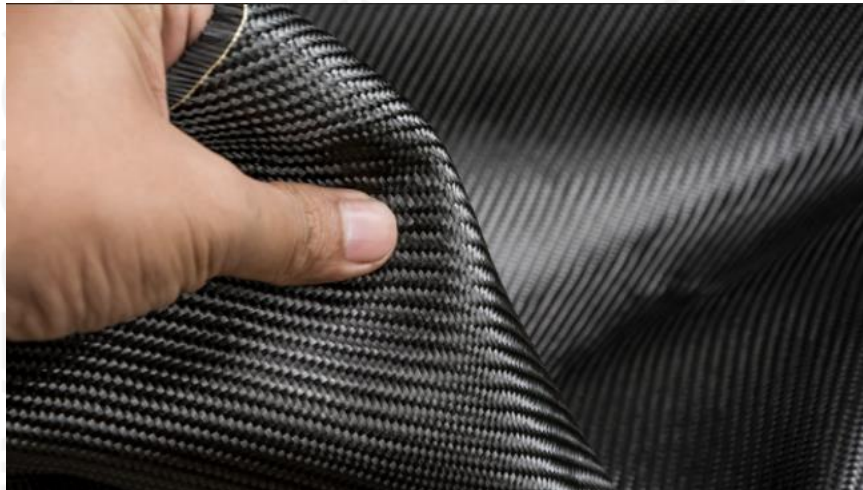
Gambar 3. 4 *Polycarbonate*

Polycarbonate disini menggunakan *Polycarbonate Sunlu*, PC disini digunakan sebagai material master untuk pembuatan produk komposit *sandwich* dengan suhu nozzle 280 derajat Celsius dan bed 110 derajat Celsius. Adapun

Polycarbonate yang digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 4 *Polycarbonate*.

- Serat *Carbon Fiber*

Serat *carbon fiber* pada penelitian ini berfungsi sebagai bahan pengikat dalam sebuah produk komposit, sehingga resin dan serat fiber dapat saling berikatan. Serat fiber yang digunakan pada penelitian ini yaitu *carbon fiber Kevlar grade A 200gr 3k twill 2x2* dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 5.



Gambar 3. 5 *Carbon fiber*

- Peel ply



Gambar 3. 6 Peel ply

Peel ply pada penelitian ini berfungsi sebagai alas pada *carbon fiber* pada saat melakukan proses *curing* agar dapat mudah dilepas, dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 6 Peel ply.

- *Spray adhesive*



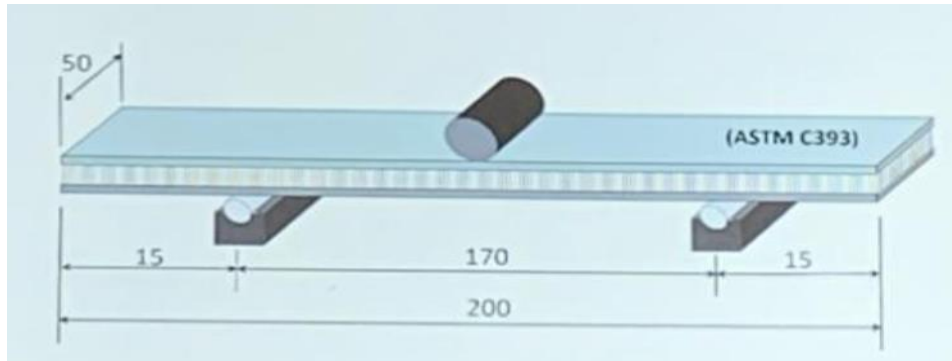
Gambar 3. 7 Scotch Spray Mount

Spray adhesive pada penelitian ini berfungsi sebagai perekat antara kedua material yaitu karbon fiber dan polycarbonate agar dapat memudahkan pada saat proses *hand layup*, dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 7 Scotch Spray Mount.

3.3 Proses pengerjaan

ASTM C392 dapat dilakukan pembebanan tunggal atau dua titik atau biasa disebut lentur tiga titik, masing-masing perlengkapan dapat digunakan dalam konfigurasi manapun, satu pembebanan dilepas dan yang lainnya dipusatkan pada titik pembebanan untuk melakukan tiga titik pembebanan. (Tech, 2012)

Pada tahap ini yang pertama dilakukan ialah mendesain Standar ASTM C393 dengan menggunakan Autodesk Inventor, Adapun dimensi ASTM C393 yang di gunakan dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 8

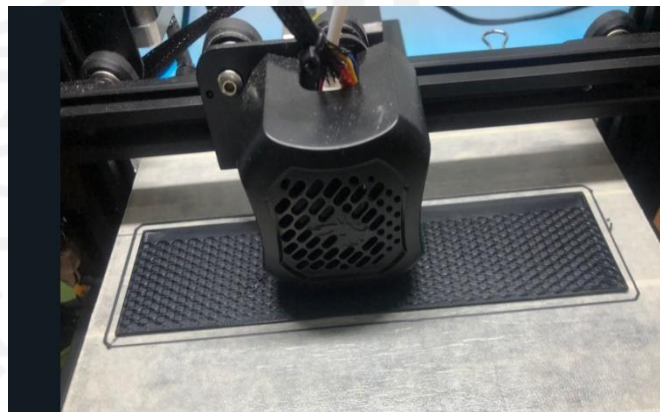


Test Standard	ASTM C393, D7249, D7250 and D546
Maximum Load	25 kN
Temperature Range	da -80 °C a 149 °C
Specimen Thickness	1-10 mm
Specimen Width	40 mm
Specimen Length	700 mm
Mass	9.00 kg

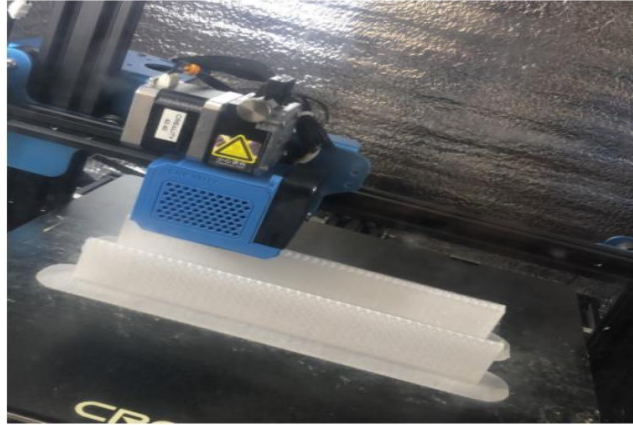
Gambar 3. 8 Standar ASTM C393

Sumber: (Tech, 2012)

Setelah melakukan desain ASTM C393 selanjutnya ialah melakukan mengexport file menjadi STL. lalu melakukan persiapan untuk pencetakan spesimen dengan kerapatan *infill* 20% dan *patterns honeycomb*, proses pencetakan dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 9 dan Gambar 3. 10.



Gambar 3. 9 Polycarbonate dicetak mendatar



Gambar 3. 10 *Polycarbonate* dicetak menyamping

Setelah melakukan proses pencetakan selanjutnya yaitu mempersiapkan alat dan bahan untuk melakukan proses *hand lay-up* material *polycarbonate* dan *carbonfiber*.

Yang pertama dilakukan pada saat proses *hand lay-up* *carbon fiber* dan *polycarbonate* ini adalah penyemprotan *adhesive* ke material *polycarbonate*, hal ini diharapkan agar *carbon fiber* dapat menempel pada saat proses pelapisan resin dan hardener. setelah itu ialah pemotongan *carbon fiber* seukuran dengan spesimen hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 11.



Gambar 3. 11 Proses pemotongan carbon fiber

Selanjutnya ialah proses pelapisan resin dan hardener, pada saat ini peneliti menggunakan campuran resin dan *hardener* yaitu 2:1 dan dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 12.



Gambar 3. 12 Proses *Laminasi*

setelah melakukan proses tersebut selanjutnya ialah proses *curing* hal ini berguna agar dapat mempercepat pengeringan resin pada spesimen. Pada penelitian ini peneliti proses *curing* menggunakan oven yang tersedia di Lab Produksi UII dan menggunakan suhu 70 derajat Celsius selama 2-4 jam ,Adapun proses *curing* dapat dilihat pada Gambar 3. 13.



PC



Max Drying Temp (°F): 250

Dry Time (Hours): 4

Gambar 3. 13 Proses *Curing*

setelah melakukan proses *curing* selanjutnya ialah proses *finishing* dan mempersiapkan untuk proses pengujian bending, pada kali ini peneliti melakukan pengujian di Laboratorium Bahan Teknik UGM, dapat ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Proses Pengujian bending

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pengujian Spesimen

Pengujian spesimen yang dilakukan adalah pengujian bending dengan jenis *three point bending*, yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekakuan dari spesimen. Pengujian *three point bending* yang akan dibuat sesuai dengan standar pengujian bending yaitu ASTM C393, yang akan diuji di Laboratorium dan Bengkel Keija Hidrolika dan Lingkungan UGM. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan pada proses pengujian *bending* yaitu:

- Pastikan semua spesimen sudah sesuai dengan standar ASTM C393
- Berikan tanda pada masing masing spesimen agar mempermudah proses penyusunan
- Letakkan spesimen uji pada alat uji *bending* sesuai ketentuan. Dengan jarak titik tumpuan adalah 170 mm.



Gambar 4. 1 Peletakan Spesimen Pada Proses Pengujian

- Mesin uji bending akan memberikan beban maksimal pada spesimen secara perlahan hingga spesimen melengkung atau patah.
- Hasil pengujian akan tercatat secara otomatis pada kertas yang sudah disiapkan.

4.2 Spesimen Hasil Pengujian

Spesimen komposit sandwich dengan *core 3d printing* sesudah pengujian *bending* dapat dilihat pada Gambar 4. 2:



Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Pada Spesimen

Pada Gambar 4. 2 dapat dilihat terdapat kode pada masing masing spesimen yang dibuat sesuai dengan variasi masing masing spesimen. Kode huruf depan menandai proses pencetakan spesimen *3d printing*, dimana M menandakan dibuat secara mendatar dan S menandakan dibuat secara menyamping. Untuk angka 1 dan 2 memiliki arti spesimen pertama dan spesimen kedua. Sedangkan untuk huruf didalam tanda kurung memiliki arti ketebalan core itu sendiri yaitu 5 dan 10 mm. Misal untuk M1(5) memiliki arti yaitu spesimen pertama yang proses pencetakan *3d print* secara mendatar dengan ketebalan 5 mm. untuk M2(5) memiliki arti spesimen kedua yang proses pencetakan *3d printing* secara mendatar dengan ketebalan 5 mm.

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Bending Spesimen Dengan Komposit

Kode	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
M1(5)K	6,33	50,07	0,40	21,05	50,84
M2(5)K	6,35	50,19	0,43	23,22	54,18
S1(5)K	6,24	50,20	0,14	7,08	18,26
S2(5)K	6,20	50,10	0,12	20,39	15,89
M1(10)K	11,21	50,15	0,98	11,41	39,65
M2(10)K	11,10	50,10	0,74	21,81	30,57
S1(10)K	11,05	50,21	0,78	14,98	32,44
S2(10)K	11,18	50,09	1,04	15,53	42,36

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Bending Spesimen Tanpa Komposit

Kode	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
M(5)	5,06	50,48	0,27	45,47	53,27
S(5)	4,56	50,52	0,12	35,06	19,13
M(10)	9,96	50,12	0,55	15,74	28,21
S(10)	9,89	50,24	0,33	13,58	17,21

Dari Tabel 4. 1 dan Tabel 4. 2 selanjutnya melakukan perhitungan rata-rata pada masing masing variasi spesimen.

Tabel 4. 3 Rata-Rata Hasil Pengujian Bending Spesimen Dengan Komposit

Kode	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
M(5)K	6,34	50,13	0,42	22,14	52,51
S(5)K	6,22	50,15	0,13	13,74	17,08
M(10)K	11,16	50,13	0,86	16,61	35,11
S(10)K	11,12	50,15	0,91	15,26	37,4

Pada Tabel 4. 1 menunjukkan data yang didapatkan setelah melakukan pengujian bending.

Dapat dilihat juga pada Tabel 4. 2 rata-rata hasil pengujian dan didapatkan bahwa spesimen yang memiliki beban maksimal tertinggi berada pada spesimen dengan kode M(10) yaitu 0,86 KN. Untuk defleksi tertinggi berada pada spesimen M(5) yaitu 22,14 mm. Untuk tegangan *bending* tertinggi berada pada spesimen M(5) yaitu 52,51 MPa.

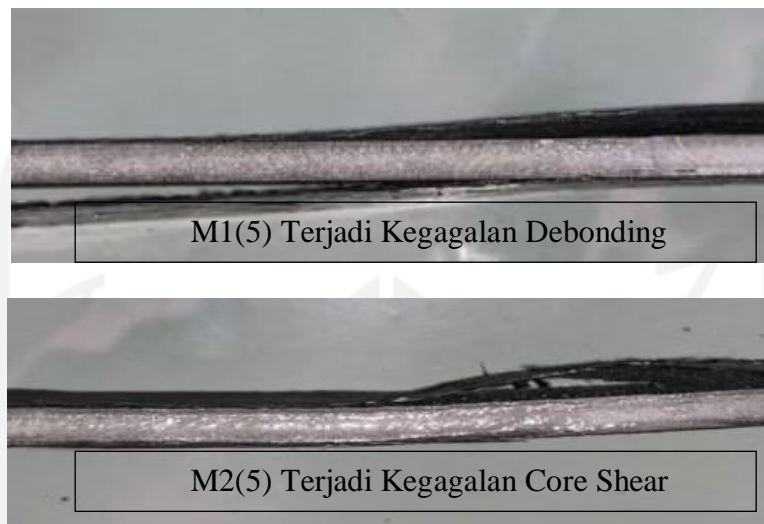
Tabel 4. 4 Perbandingan Dimensi Spesimen Sebelum Dan Sesudah di lapis komposit

Kode	Lebar (mm)		Tebal (mm)		Berat (gr)	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
M1(5)K	50	50,07	5	6,33	20,1	32,25
M2(5)K	50	50,19	5	6,35	20,9	35,25
S1(5)K	50	50,20	5	6,24	20,5	34,8
S2(5)K	50	50,10	5	6,20	18,8	32,8
M1(10)K	50	50,15	10	11,21	25,6	42,12
M2(10)K	50	50,10	10	11,10	25,9	40,12
S1(10)K	50	50,21	10	11,05	25,5	48,3
S2(10)K	50	50,09	10	11,18	25,4	47,8

Pada Tabel 4. 3 Dapat dilihat perubahan dimensi pada masing-masing spesimen sebelum dan sesudah dilapisi oleh komposit. Perubahan lebar spesimen tidak terlalu berpengaruh pada semua variasi spesimen, dimana hanya bertambah maksimal 0,21 mm. Pada tebal spesimen, untuk variasi ketebalan 5 mm mengalami penambahan ketebalan sekitar 1,35 mm. Untuk berat spesimen bertambah

4.3 Analisis dan Perhitungan

4.3.1 Hasil uji spesimen mendatar dengan core 5 mm



Gambar 4. 3 Hasil Uji Spesimen M(5)K

Dari hasil pengujian bending yang dilakukan dapat dilihat dari berbagai kegagalan pada setiap spesimen yang telah dilakukan pengujian bending.

Dari Gambar 4. 3 dapat dilihat modulus kegagalan dari spesimen dengan variasi mendatar dengan ketebalan 5 mm / M(5)K dimana mengalami kegagalan yang berbeda. Spesimen M1(5) mengalami kegagalan Debonding, pada spesimen M2(5) mengalami kegagalan *core* tearing yang diikuti dengan kegagalan debonding.

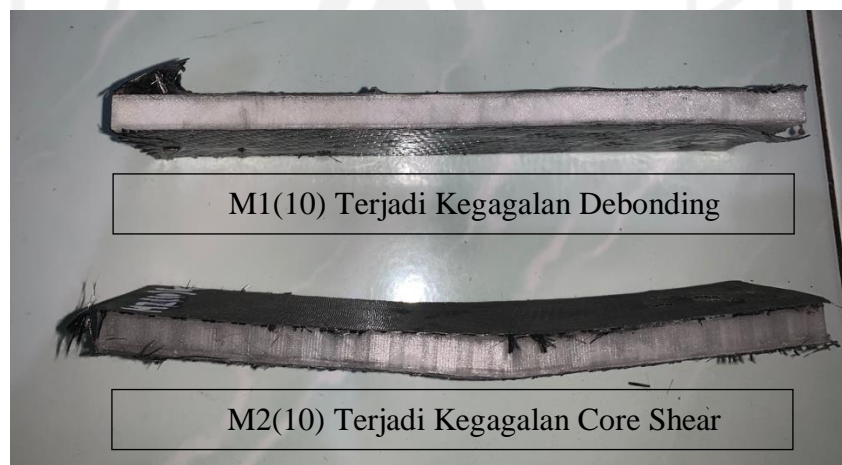
4.3.2 Hasil uji spesimen menyamping dengan core 5 mm



Gambar 4. 4 Hasil uji spesimen S(5)K

Dari Gambar 4. 4 dapat dilihat modulus kegagalan dari spesimen dengan variasi menyamping dengan ketebalan 5 mm / S(5)K dimana mengalami kegagalan Core Shear. Spesimen S1(5) mengalami kegagalan Core Shear kemudian diikuti dengan kegagalan debonding dan pada spesimen S2(5) mengalami kegagalan *core tearing*.

4.3.3 Hasil uji spesimen mendatar dengan core 10 mm



Gambar 4. 5 Hasil Uji Spesimen M(10) K

Dari Gambar 4. 5 dapat dilihat modulus kegagalan dari spesimen dengan variasi mendatar dengan ketebalan 10 mm / M(10)K dimana mengalami kegagalan yang berbeda. Spesimen M1(10) mengalami kegagalan Debonding, pada spesimen M2(10) mengalami kegagalan *core* tearing yang diikuti dengan kegagalan debonding.

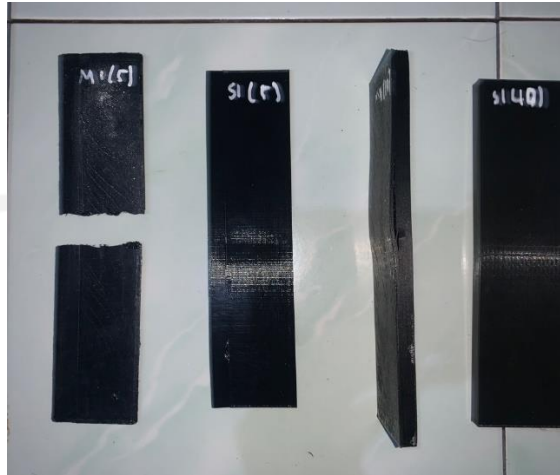
4.3.4 Hasil uji spesimen menyamping dengan core 10 mm



Gambar 4. 6 Hasil Uji Spesimen S(10) K

Dari Gambar 4. 6 dapat dilihat modulus kegagalan dari spesimen dengan variasi menyamping dengan ketebalan 5 mm / S(10)K dimana mengalami kegagalan Core Shear dan kegagalan debonding. Spesimen S1(10) mengalami kegagalan Core Shear kemudian diikuti dengan kegagalan debonding dan pada spesimen S2(5) mengalami kegagalan *core* tearing yang diikuti dengan kegagalan debonding.

4.3.5 Hasil Uji Spesimen Tanpa Komposit



Gambar 4. 7 Hasil Uji Spesimen Tanpa Komposit

Pada spesimen tanpa lapisan komposit dapat dilihat pada Gambar 4. 7 diatas, semua spesimen mengalami kegagalan core shear.

4.4 Perhitungan

Pada Tabel 4. 3 merupakan data rata-rata yang didapatkan dari hasil pengujian *threepoint bending* dengan *universal testing machine*. Selanjutnya yaitu mencari nilai luas penampang, momen inersia, modulus elastisitas dan kekakuan bending dari spesimen dengan menggunakan rumus pada bab 2.

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Luas Penampang Dan Momen Inersia Spesimen Dengan Komposit

Kode	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Asandwich (mm ²)	Isandwich (mm ⁴)
M(5)K	6,34	50,13	189,12	1278,58
S(5)K	6,22	50,15	183,23	1240,46
M(10)K	11,16	50,13	430,72	3770,17
S(10)K	11,12	50,15	428,94	3744,34

Dari Tabel 4. 5 dapat dilihat bahwa luas penampang komposit *sandwich* tertinggi berada pada spesimen dengan kode S(10)K yaitu 311,82 mm². Untuk momen inersia tertinggi berada pada spesimen M(10)K yaitu 3.770,17 mm⁴.

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Luas Penampang Dan Momen Inersia Spesimen Tanpa Komposit

Kode	Tebal (mm)	Lebar (mm)	A3DP (mm ²)	I3DP (mm ⁴)
M(5)	5,06	50,48	121,29	442,64
S(5)	4,56	50,52	121,30	442,65
M(10)	9,96	50,12	371,27	610,34
S(10)	9,89	50,24	371,27	610,34

Dari Tabel 4. 6 dapat dilihat bahwa luas penampang spesimen 3DP tertinggi berada pada spesimen dengan kode S(10) dan M(10) yaitu 371,27 mm². Untuk momen inersia tertinggi berada pada spesimen S(10) dan M(10) yaitu 610,34 mm⁴.

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dan Kekakuan Bending Spesimen Dengan Komposit

Kode	Beban Bending (N)	Tegangan Bending (MPa)	Modulus Elastisitas Bending (MPa)	Kekakuan Bending (KNmm ²)	Kekakuan Bending Spesifik (KNmm ² /gr)
M(5)K	420	52,51	1518,63	1941,68	60,21
S(5)K	130	17,08	780,69	968,42	28,65
M(10)K	860	35,11	1405,64	5299,49	132,09
S(10)K	910	37,4	1630,11	6103,69	123,81

Dari Tabel 4. 7 menunjukkan nilai beban bending, tegangan bending, modulus elastisitas dan kekakuan bending spesimen. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan kekakuan bending tertinggi berada pada spesimen dengan kode S(10)K yaitu 1242,35 KNmm².

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dan Kekakuan Bending Spesimen Tanpa komposit

Kode	Beban Bending (N)	Tegangan Bending (MPa)	Modulus Elastisitas Bending (MPa)	Kekakuan Bending (KNmm ²)	Kekakuan Bending Spesifik (KNmm ² /gr)
M(5)	270	53,27	1373,06	607,78	18,85
S(5)	120	29,13	791,44	350,33	10,36
M(10)	550	28,21	5859,94	3576,54	89,15
S(10)	330	17,12	4075,19	2487,25	50,45

Dari Tabel 4. 8 menunjukkan nilai beban bending, tegangan bending, modulus elastisitas dan kekakuan bending spesimen. Dapat dilihat bahwa spesimen dengan kekakuan bending tertinggi berada pada spesimen dengan kode M(10) yaitu 3.576,54 KNmm².

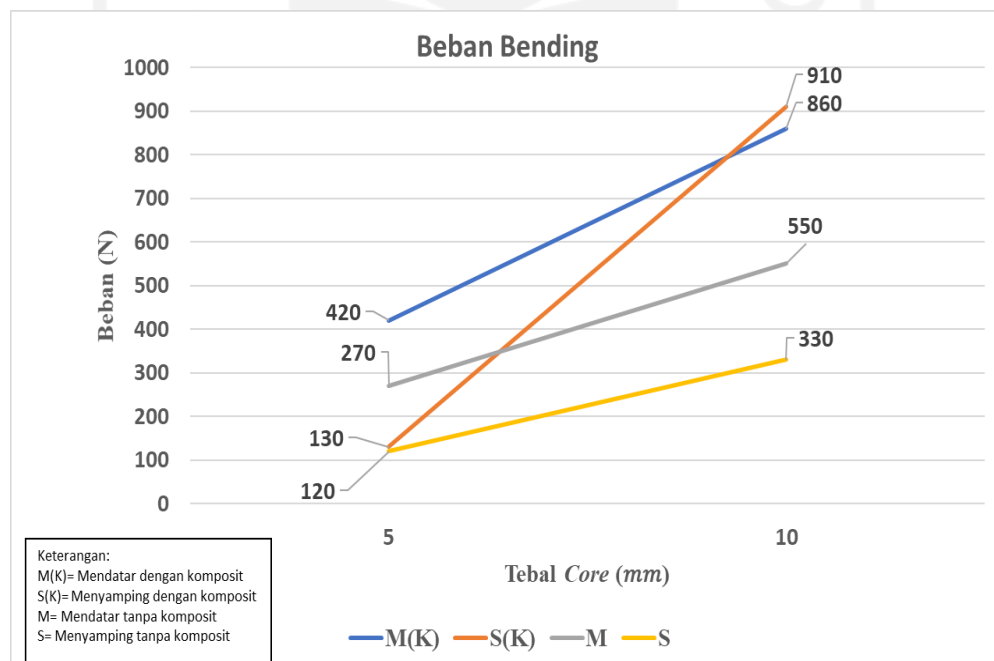
4.5 Pembahasan

4.5.1 Beban Bending

Tabel 4. 9 Perbandingan Beban bending antara spesimen lapisan komposit (*Skin*) dan tanpa lapisan Komposit (*Tanpa Skin*)

Kode	Beban Bending (N)		Selisih (N)	Keterangan
	Dengan <i>skin</i>	Tanpa <i>skin</i>		
M(5)	420	270	150	Dengan skin unggul 1,5 X
S(5)	130	120	10	Dengan skin unggul 0,1 X
M(10)	860	550	310	Dengan skin unggul 1,5 X
S(10)	910	330	580	Dengan skin unggul 3 X

Dari Tabel 4. 9 menunjukkan bahwa spesimen yang ditambahkan komposit *sandwich* memiliki nilai yang lebih unggul dibanding dengan spesimen tanpa lapisan komposit.



Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Bending

Pada Gambar 4. 8 menunjukkan beban *bending* yang diberikan kepada spesimen, dengan nilai tertinggi pada spesimen S(10) yaitu 910 N.

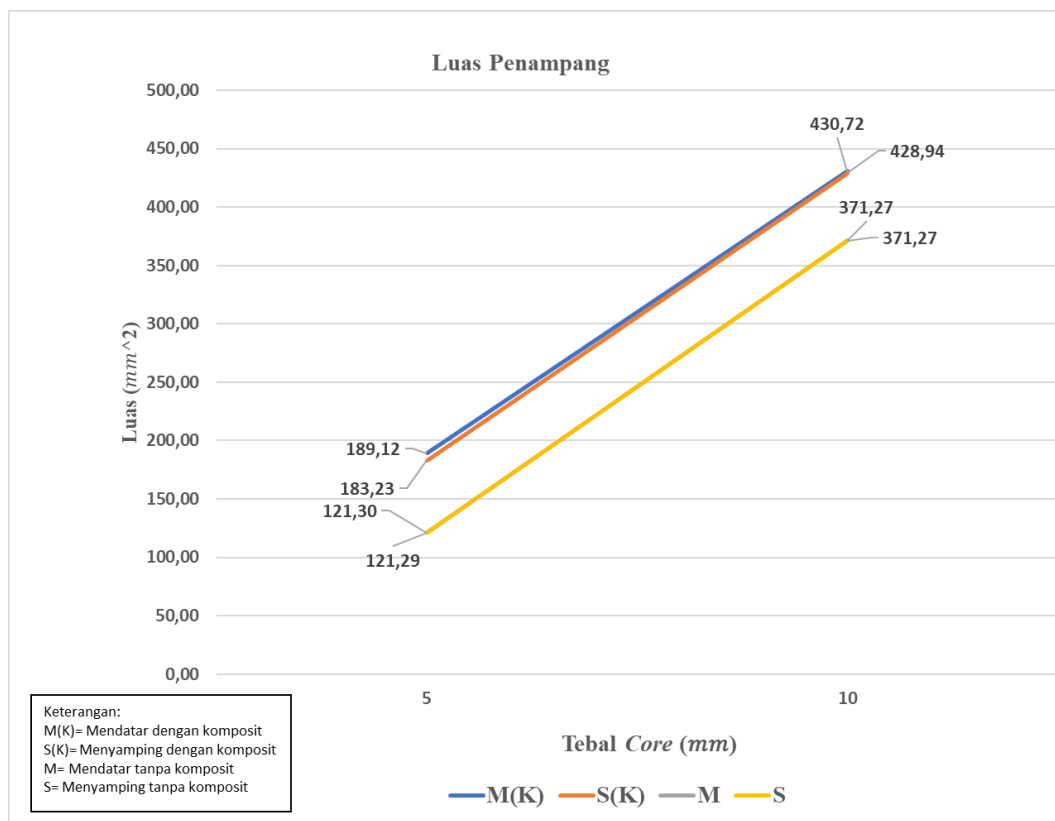
Sedangkan untuk spesimen tanpa lapisan komposit tertinggi pada M(10) memiliki nilai 550 N.

4.5.2 Luas Penampang

Tabel 4. 10 Perbandingan Beban Bending Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit

Kode	Luas Penampang (mm ²)		Selisih (mm ²)	Keterangan
	Dengan <i>skin</i>	Tanpa <i>skin</i>		
M(5)	189,12	121,29	67,83	Dengan skin membesar 0,3 X
S(5)	183,23	121,30	61,93	Dengan skin membesar 0,3 X
M(10)	430,72	371,27	59,45	Dengan skin membesar 0,8 X
S(10)	428,94	371,27	57,67	Dengan skin membesar 0,8 X

Dari Tabel 4. 10 menunjukkan bahwa spesimen yang ditambahkan komposit *sandwich* memiliki nilai yang lebih unggul dibanding dengan spesimen tanpa lapisan komposit.



Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Luas Penampang

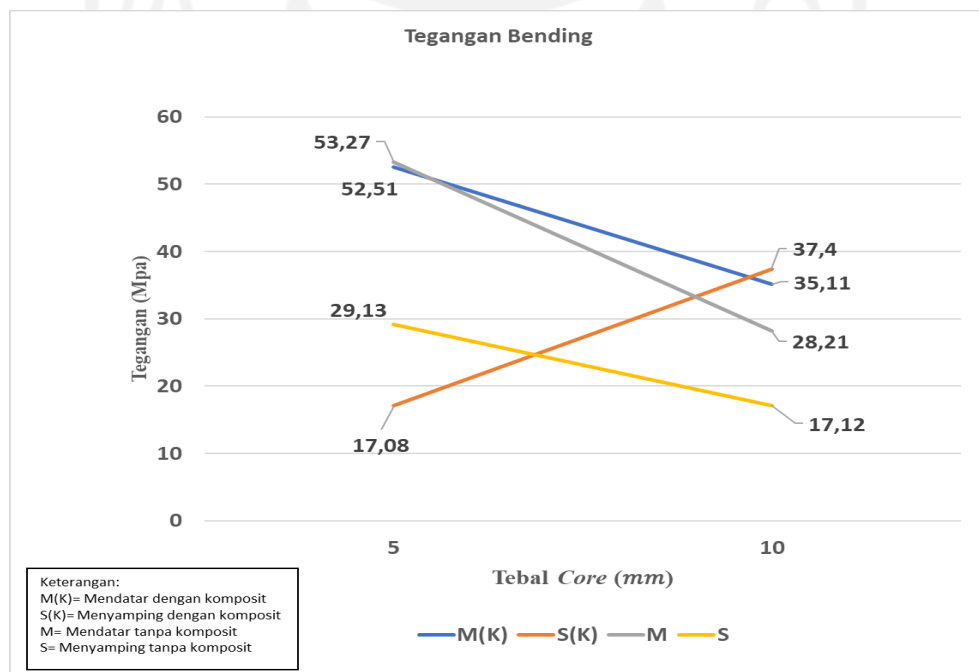
Pada Gambar 4. 9 menunjukkan beban bending yang diberikan kepada spesimen, dengan nilai tertinggi pada spesimen M(10) yaitu $430,72 \text{ mm}^2$. Sedangkan untuk spesimen tanpa lapisan komposit tertinggi pada M(10) dan S(10) memiliki nilai $371,27 \text{ mm}^2$.

4.5.3 Tegangan Bending

Tabel 4. 11 Perbandingan Beban Bending Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit

Kode	Tegangan Bending (MPa)		Selisih (MPa)	Keterangan
	Dengan <i>skin</i>	Tanpa <i>skin</i>		
M(5)	52,51	53,27	0,76	Tanpa skin unggul 0,01 X
S(5)	17,08	29,13	12,05	Tanpa skin unggul 1,8 X
M(10)	35,11	28,21	6,9	Dengan skin unggul 1,2 X
S(10)	37,4	17,12	20,28	Dengan skin unggul 2 X

Dari Tabel 4. 11 menunjukkan bahwa spesimen yang ditambahkan komposit *sandwich* memiliki nilai yang lebih unggul dibanding dengan spesimen tanpa lapisan komposit.



Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Tegangan Bending

Pada Gambar 4. 10 menunjukkan tegangan bending yang diberikan kepada spesimen, dengan nilai tertinggi pada spesimen M(5) yaitu 52,51 MPa.

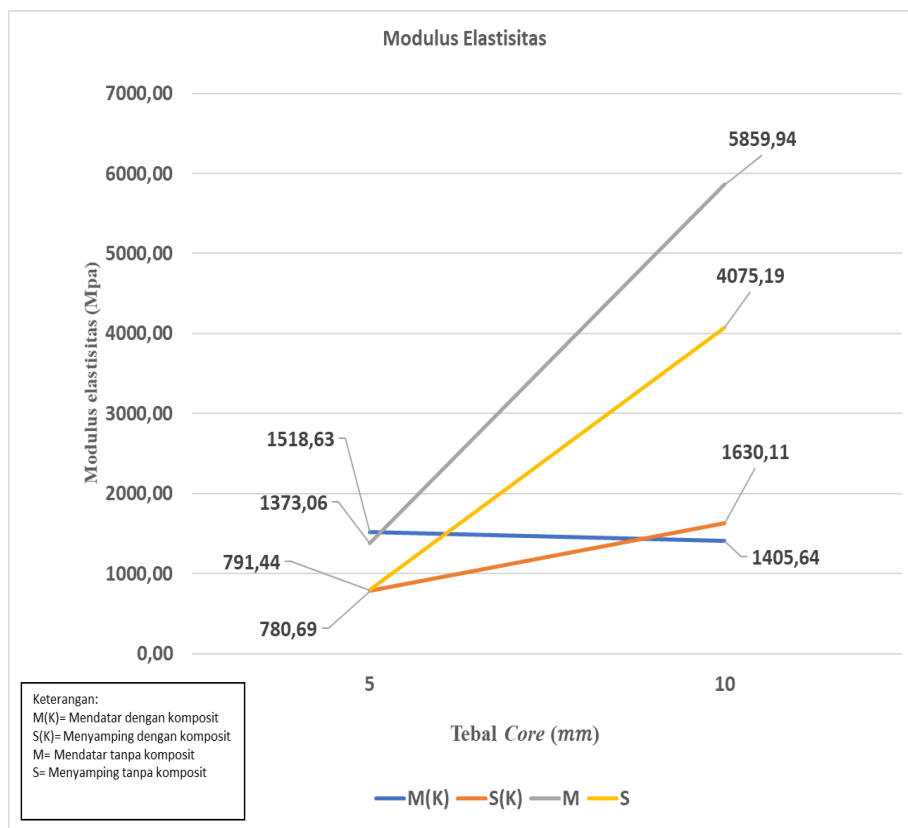
Sedangkan untuk spesimen tanpa lapisan komposit tertinggi pada M(5) memiliki nilai 53,27 MPa,

4.5.4 Modulus Elastisitas

Tabel 4. 12 Perbandingan Modulus Elastisitas Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit

Kode	Modulus Elastisitas (MPa)		Selisih (MPa)	Keterangan
	Dengan <i>skin</i>	Tanpa <i>skin</i>		
M(5)	1.518,63	1.373,06	145,57	Dengan skin unggul 1,1 X
S(5)	780,69	791,44	10,75	Tanpa skin unggul 1,02 X
M(10)	1.405,64	5.859,94	4.454,3	Tanpa skin unggul 5,5 X
S(10)	1.630,11	4.075,19	2.445,08	Tanpa skin unggul 2,5 X

Dari Tabel 4. 12 menunjukkan bahwa spesimen yang ditambahkan komposit *sandwich* memiliki nilai yang lebih unggul dibanding dengan spesimen tanpa lapisan komposit.



Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas

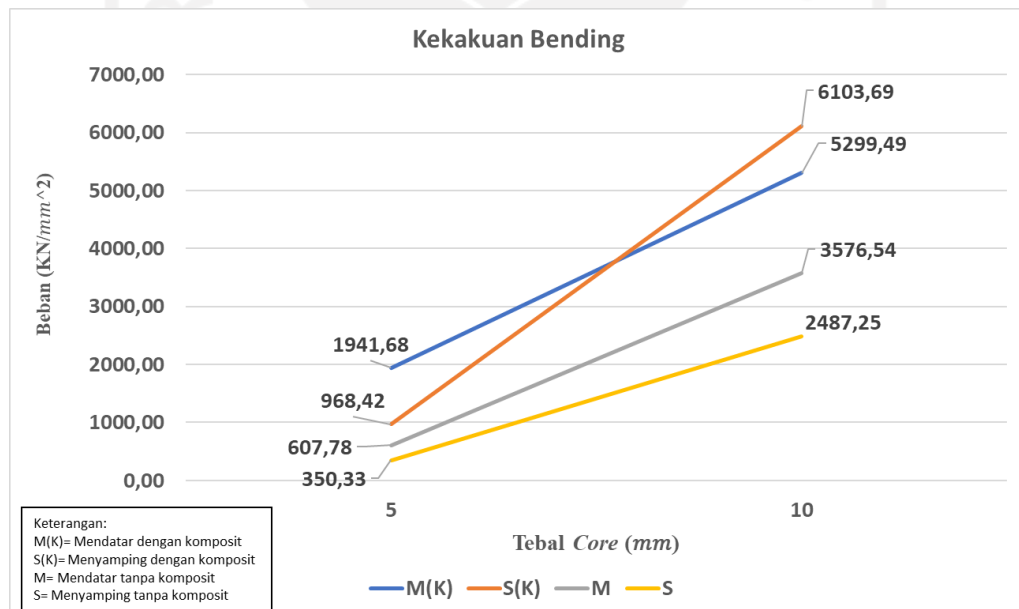
Pada Gambar 4. 11 menunjukkan tegangan bending yang diberikan kepada spesimen, dengan nilai tertinggi pada spesimen S(10) yaitu 1.630,11 MPa. Sedangkan untuk spesimen tanpa lapisan komposit tertinggi pada M(10) memiliki nilai 5.859,94 MPa.

4.5.5 Kekakuan Bending Dan Kekakuan Bending Spesifik

Tabel 4. 13 Perbandingan Kekakuan Bending Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit.

Kode	Kekakuan Bending (KNmm ²)		Selisih (KNmm ²)	Keterangan
	Dengan <i>skin</i>	Tanpa <i>skin</i>		
M(5)	1.941,68	607,78	1.333,9	Dengan skin unggul 3 X
S(5)	968,42	350,33	618,09	Dengan skin unggul 3 X
M(10)	5.299,49	3.576,54	1.722,95	Dengan skin unggul 1,8 X
S(10)	6.103,69	2.487,25	3.616,44	Dengan skin unggul 3 X

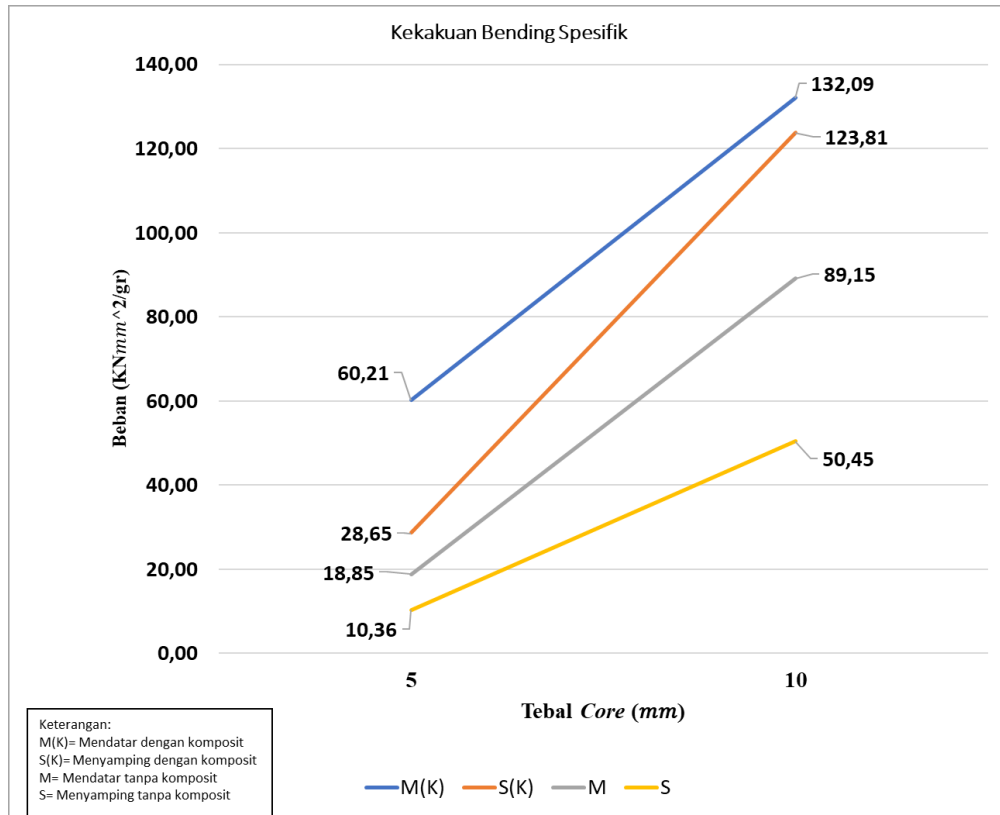
Dari Tabel 4. 13 menunjukkan bahwa spesimen yang ditambahkan komposit *sandwich* memiliki nilai yang lebih unggul dibanding dengan spesimen tanpa lapisan komposit.



Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Kekakuan Bending

Pada Gambar 4. 12 menunjukkan kekakuan bending yang diberikan kepada spesimen, dengan nilai tertinggi pada spesimen S(10) yaitu 6.103,69

KNmm^2 . Sedangkan untuk spesimen tanpa lapisan komposit tertinggi pada M(10) memiliki nilai $3.576,54 \text{ KNmm}^2$.



Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Kekakuan Bending Spesifik

Pada Gambar 4. 13 menunjukkan tegangan bending spesifik yang diberikan kepada spesimen, dengan nilai tertinggi pada spesimen M(10) yaitu $132,09 \text{ KNmm}^2/\text{gr}$. Sedangkan untuk spesimen tanpa lapisan komposit tertinggi pada M(10) memiliki nilai $89,15 \text{ KNmm}^2/\text{gr}$.

Kode	Kekakuan Bending Spesifik (KNmm ² /gr)		Selisih (KNmm ² /gr)	Keterangan
	Dengan <i>skin</i>	Tanpa <i>skin</i>		
M(5)	60,21	18,85	41,36	Dengan skin unggul 3,1X

S(5)	28,65	10,36	18,29	Dengan skin unggul 2,7 X
M(10)	132,09	89,15	42,94	Dengan skin unggul 1,5 X
S(10)	123,81	50,45	73,36	Dengan skin unggul 2,4 X

Dari Tabel 4. 14 menunjukkan bahwa spesimen yang ditambahkan komposit *sandwich* memiliki nilai yang lebih unggul dibandingkan dengan spesimen tanpa komposit.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- Telah berhasil dibuat spesimen komposit dengan metode *Hand lay-up polycarbonate* sebagai *core* yang dilapisi oleh serat *carbon*
- Terjadi perubahan dimensi lebar sebesar lebih kurang **1 mm** dan tebal sebesar **0.13 mm** spesimen 3D print dan komposit *sandwich* dengan metode *hand lay-up*.
- Kekakuan bending spesifik Orientasi mendatar lebih baik dengan nilai dengan ketebalan core 10 mm dengan nilai sebesar 132,09 KNmm²/gr. dibandingkan dengan orientasi menyamping dengan nilai sebesar 123,81 KNmm²/gr. Untuk Orientasi mendatar dengan ketebalan core 5mm memiliki hasil yang lebih baik dengan nilai sebesar 60,21 KNmm²/gr. dibandingkan dengan Orientasi menyamping dengan nilai sebesar 28,65 KNmm²/gr.
- Kegagalan debonding lebih sering terjadi pada spesimen karena *skin* tidak terlalu melekat pada *core* yang mengakibatkan beban yang diberikan langsung kepada *core*.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Adapun dari penelitian ini dilakukan, ada beberapa hal yang memerlukan penelitian lanjutan antara lain yaitu:

- Dilakukan penelitian menggunakan metode *vacuum infusion* agar hasil terlihat lebih rapi dan maksimal,

DAFTAR PUSTAKA

- ADIPUTRA, F. (2016). PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN JUMLAH LAYER GLASS FIBER DENGAN PERBANDINGAN FRAKSI VOLUME YANG TETAP PADA KOMPOSIT EPOXY – HOLLOW GLASS MICROSPHERES TERHADAP KARAKTERISTIK TENSILE. Surabaya, 118.
- Azissyukhron, M., & Hidayat, S. (2018). Perbandingan Kekuatan Material Hasil Metode Hand Lay-up dan Metode Vacuum Bag Pada Material Sandwich Composite. 5.
- Chai, G. B., & Zhu, S. (2011). A review of low-velocity impact on sandwich structures. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 225(4), 207–230. <https://doi.org/10.1177/1464420711409985>
- Herru, S. (2015). PENGUJIAN KUAT TARIK TERHADAP PRODUK HASIL 3D PRINTING DENGAN VARIASI KETEBALAN LAYER 0,2 mm dan 0,3 mm YANG MENGGUNAKAN BAHAN ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene). 18.
- 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. 1, 9.
- Ichsan, R. N., & Irfā'i, M. A. (2015). PENGARUH SUSUNAN LAMINA KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT E-GLASS DAN SERAT CARBON TERHADAP KEKUATAN TARIK DENGAN MATRIK POLYESTER. 03, 8.
- Izma, Y. (2021). ANALISIS UJI BENDING KOMPOSIT SANDWICH YANG DIGABUNGAN 3D PRINTING. 60.
- Kurniawan, O., Wirawan, W. A., & Zulkarnain, A. (2020). PENGEMBANGAN MATERIAL RINGAN SERAT GELAS PADA INDUSTRI KERETA

API. Jurnal Transportasi, 19(3), 187–194.

<https://doi.org/10.26593/jt.v19i3.3671.187-194>

Nayiroh, N. (2013). TEKNOLOGI MATERIAL KOMPOSIT. 21.

Nurtanto, D., & Hasanuddin, A. (2014). DESAIN PELAT BETON BERPORI DENGAN POLIKARBONAT. 8.

Olivianides, F. (2022). ANALISIS PENGARUH JUMLAH LAPISAN SKIN PADA KOMPOSIT SANDWICH TERHADAP UJI BENDING MENGGUNAKAN METODE VACUUM INFUSION. 52.

Tech, S. H. (2012). ASTM C393 TESTING FIXTURE. 2.



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	M1(5)	6.33	50.07	0.40	21.05	50.84
2	M2(5)	6.35	50.19	0.43	23.22	54.18
3	S1(5)	6.24	50.20	0.14	7.08	18.26
4	S2(5)	6.20	50.10	0.12	20.39	15.89
5	M3(10)	11.21	50.15	0.98	11.41	39.65
6	M4(10)	11.10	50.10	0.74	21.81	30.57
7	S3.10	11.05	50.21	0.78	14.98	32.44
8	S4.10	11.18	50.09	1.04	15.53	42.36

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 29 Januari 2022
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 29 Januari 2022
Staf Laboratorium Bahan Teknik


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

Sumber: (Lab Bahan Teknik UGM)



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	S1(5)	4.56	50.52	0.12	35.06	29.13
2	S2(10)	9.89	50.24	0.33	13.58	17.12
3	M1(5)	5.06	50.48	0.27	45.47	53.27
4	M2(10)	9.96	50.12	0.55	15.74	28.21

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 26 Februari 2022
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 26 Februari 2022

Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisa Material
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM
Dr. Teknik Dwi Setyana, S.T., M.T

NIP. 197703312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Sumber: (Lab Bahan Teknik UGM)