

**PENGARUH ORIENTASI *PRINTING* (3D *PRINT*) PADA JENIS MATERIAL
CORE KOMPOSIT *SANDWICH* DENGAN SUDUT PENGEPRINTAN 30°,
45°, 60° DAN *SKIN CARBONFIBER* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh:

Nama : Raden Bagus Raihan Rato Naufal

No. Mahasiswa : 18525130

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2023

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya bertanda tangan di bawah ini, Raden Bagus Raihan Rato Naufal selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “PENGARUH ORIENTASI *PRINTING* (3D *PRINT*) PADA JENIS MATERIAL *CORE* KOMPOSIT *SANDWICH* DENGAN SUDUT PENGEPRINTAN 30°, 45°, 60° DAN *SKIN CARBONFIBER* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING*” menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri bukan hasil plagirisim dari karya tulis yang dibuat orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 13 Maret 2023



Raden Bagus Raihan Rato Naufal

(18525130)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENGARUH ORIENTASI *PRINTING* (3D *PRINT*) PADA JENIS MATERIAL *CORE* KOMPOSIT *SANDWICH* DENGAN SUDUT PENGEPRINTAN 30°, 45°, 60° DAN *SKIN CARBONFIBER* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Raden Bagus Raihan Rato Naufal

No. Mahasiswa : 18525130

Yogyakarta, 13 Maret 2023

Pembimbing I

Muhammad Ridlwan S.T.M.T

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGARUH ORIENTASI *PRINTING* (3D *PRINT*) PADA JENIS MATERIAL
CORE KOMPOSIT *SANDWICH* DENGAN SUDUT PENGEPRINTAN 30°,
45°, 60° DAN *SKIN CARBONFIBER* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:


Nama : Raden Bagus Raihan Rato Naufal

No. Mahasiswa : 18525130

Tim Penguji

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

Ketua


Tanggal: 30/03/2023

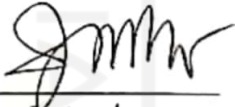
Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

Anggota I


Tanggal: 10/04/2023

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

Anggota II


Tanggal: 10/04/2023

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat kesehatan, keselamatan, dan kelancaran segala urusan, serta doa dan dukungan yang telah diberikan oleh dari orang-orang tercinta sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

Orang tua penulis yaitu bapak Moh. Dahlan dan ibu Rr. Rini Budi Utami yang selalu memberikan nasihat, doa, dukungan yang tulus kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing, penguji, dosen pengajar, yang telah mengarahkan, membantu, dan memberikan ilmunya kepada penulis dengan penuh kasih sayang serta ikhlas.

Teman-teman dari program studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang senantiasa memberikan dukungan dan bantuan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik bersama-sama.

HALAMAN MOTTO

“I come, I saw, I conquered”

Julius Ceasar

“Life is too short to living somebody else 's dream”

Hugh Hefner

*“Courage isn't having the strength to go on, It is going
when you don't have strength”*

Napoleon Bonaparte



KATA PENGANTAR DAN UCAPAN TERIMA KASIH



Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillah rabbil'alamiin, puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat, hidayah dan inayah-Nya, penulis bisa menyelesaikan pembuatan Tugas Akhir dengan judul PENGARUH ORIENTASI *PRINTING* (3D *PRINT*) PADA JENIS MATERIAL *CORE* KOMPOSIT *SANDWICH* DENGAN SUDUT PENGEPRINTAN 30°, 45°, 60° DAN *SKIN CARBONFIBER* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING*. Tugas Akhir ini disusun untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia. Tugas Akhir ini merupakan salah satu mata kuliah yang bertujuan untuk mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman ilmu yang telah didapat dalam bangku perkuliahan. Selama pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis sudah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bantuannya baik langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman dan Islam kepada penulis dan Nabi paling mulia Muhammad SAW juga atas segenap keluarga, para sahabat serta para pengikutnya hingga akhir zaman.
2. Bapak Moh. Dahlan dan Ibu RR. Rini Budi Utami yang telah membiayai dan mendukung saya selama kuliah.
3. Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin
4. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan waktu luangnya untuk membimbing penulis. Terimakasih atas saran, masukan dan nasihat yang membangun untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang diberikan selama masa perkuliahan.
6. Ibu Umi dan Bapak Sukirno selaku *Front Office* Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia yang telah banyak membantu.

7. Kawan-kawan seperjuangan Teknik Mesin, Abdi Haritz (Abdoy), David Yade (Dapid), Kemal Ali (Ocol), Muhammad Alfaarisi Maulana Kasim (Masyo), Muhammad Nur Faizun (Azun), Rio Ari Sandika (Slamet), Abdul Aziz Salimi (Ajiz), Abiyyu Wibisono (Abi), Faris Iza (Paris), Feryan Taruna (Pery), Ilyas Witanto (Bos Yas), Ilyas Pakpahan (Kim), Muhammad Alif Adiniansyah (Adin), Muhammad Rizal Ghifari (Egi), Rhizado Fachri (Ijad), Shafly Attahriq (Saply), Aldo Susanto (Aldo), Arif Rahman (Arip), Muhammad Zuhair (Juber), Asty Astuty Shetiawaty (Asty) yang telah bersama-sama dan saling mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir.
8. Gufran Rahardi Muchlis S.T (Gopur) atas dorongan serta saran kepada penulis.
9. Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah memberi banyak ilmu organisasi.
10. Seluruh mahasiswa Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Angkatan 2018.
11. Serta seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebut Namanya satu-per satu.

Terima kasih, Semoga amal kebaikan yang telah diberikan akan mendapat balasan dari Allah SWT. 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

Yogyakarta, 13 Maret 2023



Raden Bagus Raihan Rato Naufal
(18525130)

ABSTRACT

Composites are materials composed of two or more materials that have different mechanical properties between materials which are produced by a mixing process and based on the structure, composites can be divided into two, namely layer structures and sandwich structures. Sandwich composites are made with the aim of optimal weight efficiency, but have high strength, therefore this research was carried out to find out the comparison between 3D prints coated with sandwich composites and 3D prints without sandwich composite layers using ASTM C393 against bending tests using the vacuum method infusion, therefore specimens were made with several variations of the printing process including 30°, 45°, 60° with infill gyroid and using carbonfiber with vacuum infusion method. Where the results were obtained the specific stiffness values for non-skin specimens were 91,116.29 Nmm²/g at 30° orientation, 101,082.60 Nmm²/g at 45° orientation, 111,015.56 Nmm²/g at 60° orientation, where the specific stiffness values did not differ much between the types of specimens. However, for specimens coated with skin, the highest specific bending stiffness value was found in 45° orientation specimens of 398,237.94 Nmm²/g, while 30° orientation had a value of 212,881.62 Nmm²/g and 238,009.45 in 60° orientation Nmm²/g. Non-linear things like this can be caused because even though the vacuum parameters used are the same, they can produce different quality carbon fiber skins.

Keywords: Composite Sandwich, Composite, Carbon Fiber, Vacuum Infusion, PLA, 3D Print, ASTM C393

ABSTRAK

Komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik antar material berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran dan berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur lapisan dan struktur *sandwich*. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekuatan yang tinggi, oleh sebab itu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui perbandingan antara 3D *print* yang dilapisi komposit *sandwich* dan 3D *print* tanpa lapisan komposit *sandwich* menggunakan ASTM C393 terhadap pengujian *bending* dengan menggunakan metode *vacuum infusion*, maka dari itu dibuat spesimen dengan beberapa variasi proses pengepintan di antaranya 30°, 45°, 60° dengan *infill gyroid* dan menggunakan *carbonfiber* dengan metode *vacuum infusion*. Dimana hasil tersebut didapatkan nilai kekakuan spesifik pada spesimen *nonskin* sebesar 91.116,29 Nmm²/g pada orientasi 30°, 101.082,60 Nmm²/g pada orientasi 45°, 111.015,56 Nmm²/g pada orientasi 60°, dimana nilai kekakuan spesifiknya tidak berbeda jauh antara jenis spesimennya. Namun untuk spesimen yang dilapisi dengan *skin*, nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi terdapat pada spesimen orientasi 45° sebesar 398.237,94 Nmm²/g, sedangkan pada orientasi 30° memiliki nilai sebesar 212.881,62 Nmm²/g dan pada orientasi 60° sebesar 238.009,45 Nmm²/g. Hal yang tidak linear seperti ini dapat disebabkan karena meskipun parameter pemvakuman yang digunakan sama namun dapat menghasilkan kualitas *skin carbonfiber* yang berbeda.

Kata kunci: : Komposit *Sandwich*, Komposit, *Carbon Fiber*, *Vacuum Infusion*, PLA, 3D *Print*, ASTM C393

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR DAN UCAPAN TERIMA KASIH	vii
ABSTRACT	ix
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	4
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kajian Pustaka.....	6
2.2 Dasar Teori.....	7
BAB 3 METODE PENELITIAN	16
3.1 Alur Penelitian	16
3.2 Peralatan dan Bahan	17
3.3 Proses Pengerjaan.....	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Pengujian <i>Bending</i>	32
4.2 Hasil Pengujian <i>Bending</i>	33
4.3 Analisis dan Perhitungan.....	35
4.4 Perhitungan	38

4.5	Pembahasan.....	39
BAB 5 PENUTUP.....		46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya	47
DAFTAR PUSTAKA		48
LAMPIRAN.....		50



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter <i>Print</i>	27
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian <i>Bending</i>	33
Tabel 4. 2 Perbandingan Spesimen Setelah Proses <i>Vacuum Infusion</i>	34
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dan Kekakuan <i>Bending</i>	40
Tabel 4. 4 Perbandingan Berat GWS & GNS	40
Tabel 4. 5 Perbandingan Beban <i>Bending</i> GNS & GWS	41
Tabel 4. 6 Perbandingan Tegangan <i>Bending</i> GWS & GNS	42
Tabel 4. 7 Perbandingan Modulus Elastisitas GWS & GNS	43
Tabel 4. 8 Tabel Perbandingan <i>Bending</i> GWS & GNS	44



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Alur Penelitian	16
Gambar 3. 2 Pompa Vakum.....	17
Gambar 3. 3 Tabung <i>Reservoir</i>	17
Gambar 3. 4 Timbangan	18
Gambar 3. 5 <i>Vacuum Bagging Film</i>	18
Gambar 3. 6 Kain Strimmin.....	19
Gambar 3. 7 <i>Peel Ply</i>	19
Gambar 3. 8 Selang.....	20
Gambar 3. 9 Selang Spiral	20
Gambar 3. 10 <i>Sealant Tape</i>	21
Gambar 3. 11 Epoxy dan <i>Hardener</i>	21
Gambar 3. 12 PLA	22
Gambar 3. 13 Serat <i>Carbonfiber</i>	22
Gambar 3. 14 Isolasi Kertas.....	23
Gambar 3. 15 Dextone	23
Gambar 3. 16 Gelas Plastik.....	24
Gambar 3. 17 Stik Kayu.....	24
Gambar 3. 18 Katup Bensin.....	25
Gambar 3. 19 Dimensi Spesimen Uji <i>Bending Core</i>	25
Gambar 3. 20 Susunan Lapisan Komposit <i>Sandwich</i>	26
Gambar 3. 21 Proses Pembuatan <i>Core</i> Sudut 30°, 45° dan 60 °	27
Gambar 3. 22 Susunan Komposit <i>Sandwich</i>	28
Gambar 3. 23 Pemasangan Selang Spiral	28
Gambar 3. 24 Pelapisan Dextone.....	29
Gambar 3. 25 Memasukan Semua Bahan Ke dalam <i>Vacuum Bag</i>	29
Gambar 3. 26 Proses Pencampuran	30
Gambar 3. 27 Proses <i>Vacuum Infusion</i>	30
Gambar 3. 28 Hasil <i>Core</i> PLA Setelah <i>Vacuum Infusion</i>	31
Gambar 4. 1 Alat Uji <i>Bending</i>	32
Gambar 4. 2 Hasil Pengujian <i>Bending</i>	33
Gambar 4. 3 Spesimen Komposit <i>Sandwich</i> Orientasi <i>Printing</i> 30°	35
Gambar 4. 4 Spesimen Komposit <i>Sandwich</i> Orientasi <i>Printing</i> 45°	36
Gambar 4. 5 Spesimen Komposit <i>Sandwich</i> Orientasi <i>Printing</i> 60°	36
Gambar 4. 6 Spesimen ASTM C393 tanpa <i>skin</i> 30°	37
Gambar 4. 7 Spesimen ASTM C393 tanpa <i>skin</i> 45°	37
Gambar 4. 8 Spesimen ASTM C393 tanpa <i>skin</i> 60°	38
Gambar 4. 9 Grafik Beban <i>Bending</i>	41
Gambar 4. 10 Grafik Tegangan <i>Bending</i>	42
Gambar 4. 11 Modulus Elastisitas	43
Gambar 4. 12 Grafik Kekakuan <i>Bending</i>	44

DAFTAR NOTASI

E_b	= Modulus elastisitas <i>bending</i> (N/mm^2)
L	= Jarak <i>point</i> (mm)
b	= Lebar benda uji (mm)
h	= Ketebalan benda uji (mm)
δ	= Defleksi (mm)
I	= Momen Inersia (kgm)
A	= Luas Penampang (m^2)
W	= Beban Akhir Rata-Rata (g)
P	= Beban yang diberikan (N)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era saat ini perkembangan teknologi sungguh pesat terutama dibidang teknologi yaitu 3D *printing* dimana hal ini sangat membantu perekonomian baik dalam segi bisnis maupun penelitian 3D *print* yang dapat membuat apa saja dan cukup menjanjikan dalam kemampuan mendapatkan geometri produk secara pesat. Dibandingkan dengan proses manufaktur lainnya, akan tetapi untuk proses *printing* membutuhkan waktu yang sangat lama. Jadi 3D *printing* ini sangat cocok untuk digunakan membuat produk yang sedikit, namun mampu membuat produk dengan kompleksitas geometri tinggi. Teknologi ini menggunakan berbagai bahan polimer sebagai *filament*, seperti *Polylactid Acid* (PLA), *Acrolonitrle Butadiene Styrene* (ABS), Nylon, *Polycarbonate* (PC), dan sebagainya. Saat ini terdapat 16 macam material *filament* yang digunakan dalam proses *Fused Deposition Modeling* (FDM) sehingga dapat memberikan fleksibilitas dalam pemilihan material produk.

Namun saat ini peneliti banyak yang menggunakan material *filament Polylactid Acid* (PLA). PLA memiliki kekurangan dan kelebihan, dimana kelebihanannya harga material terbilang sangat terjangkau dan mudah didapatkan. Namun material PLA memiliki kelemahan yaitu pada daya tahan di suhu panas yang tinggi.

Komposit *sandwich* adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material pembentuk yang memiliki sifat yang berbeda. Komposit *sandwich* memiliki banyak keunggulan seperti lebih ringan, kaku, dan ekonomis. Prinsip dari komposit *sandwich* adalah komposit yang tersusun dari dua bagian yang dimana ada bagian tengah sebagai *core* dan bagian atas serta bawah sebagai *skin*.

Core adalah bagian tengah yang dapat memperkuat komposit sehingga sifat mekaniknya dapat lebih kaku, kuat, dan tangguh jika dibandingkan dengan tidak menggunakan *core*.

Dalam proses pengerjaan 3D *print* terdapat beberapa pemilihan struktur *infill*. *Infill* tersebut ialah struktur pengeprintan di dalam benda yang akan dicetak, hal ini sangat mempengaruhi kekuatan benda tersebut namun pada umumnya proses

arah pengeprintan biasanya hanya horizontal dan vertikal, sehingga pada proses pengeprintan 30° , 45° , 60° membuat struktur *infill* seperti *cubic*, *tri hexagonal*, *gyroid* dan lain-lain tidak berfungsi secara maksimal hal ini dikarenakan struktur benda karena *infill* sebagai isi dalam benda pengujian yang digunakan sebagai *core* yang dapat menambah kekakuan yang dipengaruhi oleh bentuk inersia penampang yang membuat kekakuan yang tidak homogen pada arah yang berbeda hal ini membuat peneliti untuk mempertimbangkan struktur *gyroid* yang memiliki struktur saling berkaitan satu sama lain maka dari peneliti melakukan pemilihan *infill gyroid* ini.



1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh dari proses *printing* dengan orientasi sudut *printing* 30°, 45° dan 60° terhadap kekakuan *bending*?
2. Bagaimana analisis kegagalan yang terjadi pada spesimen setelah pengujian *bending*?
3. Bagaimana mengetahui nilai kekakuan dari penggabungan material PLA berdasarkan sudut 30°, 45° dan 60° dengan menggunakan *infill gyroid* sebesar 20%?
4. Bagaimana melakukan proses *vacuum infusion* yang tepat pada spesimen uji?

1.3 Batasan Masalah

1. Pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D *print filament* dengan *infill* 20% dan *fill patern Gyroid*.
2. Proses *Vacuum infusion* hanya menggunakan peralatan yang berada di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin UII.
3. Tebal *core gyroid* yang digunakan yaitu 10 mm dan 1 lapis *skin Carbon fiber*.
4. Proses pembuatan *core* menggunakan sudut kemiringan 30°, 45° dan 60°.
5. Pengujian mekanik menggunakan uji *bending* dengan standar ASTM C393.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kekakuan *bending* antara *core (gyroid)* dengan *skin (carbonfiber)* menggunakan metode *vacuum infusion* dengan variasi derajat *printing* 30°, 45° dan 60° dan untuk mengetahui pengaruh proses *printing core* pada setiap spesimen terhadap kekakuan *bending* menggunakan metode *vacuum infusion*.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat yang didapatkan setelah melakukan nya penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan kombinasi terbaik dari pengaruh orientasi *printing* material *core* komposit *sandwich* terhadap kekakuan *bending*.
2. Memperkirakan nilai kekakuan penambahan *skin* carbonfiber terhadap kekakuan pada produk dua sisi *sandwich*.
3. Mengetahui nilai kekakuan *bending* yang signifikan dengan orientasi *printing*.
4. Dapat diterapkan pada produk yang proses *printing* nya menggunakan orientasi *printing*.
5. Lebih hemat bahan dan biaya produksinya ketimbang material lain.

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 dan bahan, dan proses pengerjaan yang digunakan untuk proses pembuatan spesimen dan proses melakukannya *vacuum infusion* pada spesimen.
4. Bab 4. Hasil dan Pembahasan, berisikan analisis data dan hasil pengujian *bending* dan penampilan grafik dan tabel.
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 yang pertama digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini berjudul “Pengaruh Ketebalan Dan Jenis 3D *Printed Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Skin* Serat Karbon” oleh (Pratama Abdi, 2022) yang meneliti tentang pengaruh posisi objek dalam pembuatan prototipe cepat (*rapid prototyping*) dengan menggunakan 3D *printing* pada bahan ABS dan Nylon. Pada penelitian ini meneliti tentang perbandingan material ABS dan Nylon dengan menggunakan ASTM C393 untuk dapat mengetahui pengaruh kekakuan *bending* setelah dilakukan proses pengujian *bending*.

Kajian pustaka yang kedua untuk digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini berjudul “Pengaruh Orientasi *Printing* (3D *Print*) Dan Jenis Material *Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Carbon Fiber*” oleh (Satria Achmad, 2023) dalam penelitian ini menggunakan perbandingan *infill rectilinear pattern*, *gyroid pattern*, dan *honeycomb pattern*. Setelah pengujian *bending* dilakukan terdapat tegangan *bending infill honey comb* yang paling tinggi dari pada *infill gyroid* saat di cetak miring. Pada penelitian ini peneliti meneliti tentang variasi pengepintan serta membandingkan *infill* yaitu *honeycomb* dan *gyroid* untuk mengetahui pengaruh kekakuan setelah dilakukan proses pengujian *bending*.

Kajian pustaka yang ketiga untuk digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini berjudul “Analisis Uji *Bending* Komposit *Sandwich* Yang Digabungkan 3D *Printing*” oleh (Adriansyah, 2021) dalam penelitian ini membahas tentang pengujian *bending* pada komposit *sandwich* dengan metode *hand layup* dengan *infill core* 10% dan *infill* 20%. Mendapatkan hasil terbaik ialah *infill* 20%.

Kajian pustaka yang keempat untuk digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini berjudul “Studi Sifat Mekanik Komposit *Sandwich Divincell Foam* Dengan Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VAR) Untuk *Float* Pesawat Amfibi” oleh (Nurul Lailatul et al., 2021) dalam penelitian ini untuk mengetahui tentang sifat mekanik dari komposit *sandwich* dengan jumlah *layer* ke *core* yaitu 4 atas: 1 tengah (*core*): 2 bawah *layer*. Dalam hasil didapatkan pada spesimen yang telah dilakukan proses *vaccum assisted resin infusion* untuk nilai tertinggi *flatwise compressive*

ultimate strenght didapatkan spesimen yang menggunakan proses *post curing* ketimbang tidak menggunakan proses *curing*.

2.2 Dasar Teori

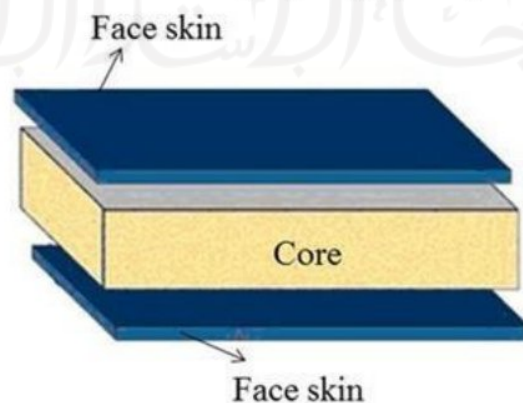
2.2.1 Komposit

Komposit merupakan metode penggabungan antara dua material atau lebih untuk menghasilkan produk yang lebih bernilai dan berkualitas. Biasanya pencampuran material komposit yaitu antara pengisi dan matrik yang terdiri dari berbagai macam kombinasi. Bagian pengisi terdiri dari berbagai macam serat atau partikel kecil. Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka komposit antar material harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent* (Yani et al., 2019).

Kelebihan komposit khususnya dalam penelitian ini yaitu kemampuan material yang dapat dibentuk sesuai dengan keinginan. Kelebihan lainnya yaitu material yang kuat ringan, dan tahan korosi sehingga material komposit cocok digunakan untuk penelitian ini. Selain kelebihan terdapat kekurangan dari komposit yaitu kurang elastis pada saat proses pencampuran matrik selesai dilakukan dan bersifat getas (Wardani, 2015).

2.2.2 Komposit *Sandwich*

Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua bagian struktur yaitu bagian struktur lapisan dan bagian struktur *sandwich*. Pada prinsip tersebut komposit *sandwich* adalah komposit yang tersusun oleh 2 bagian yaitu bagian tengah atau disebut juga dengan *core* dan bagian atas dan bawah sebagai lapisan *skin*. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang lebih ringan akan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi (Hidayat et al.2016).



Gambar 2.1 Struktur Komposit *Sandwich*

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

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

2.2.3 Struktur infill Core

Core merupakan bagian penting dari komposit *sandwich* yang dimana bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Dengan kekakuannya *core* diharapkan mampu menahan geseran agar tidak terjadi *slide* antar permukaan. Material dengan kekakuan yang rendah tidak cocok untuk dijadikan sebagai *core*, dikarenakan kekuatan pada lapisan *sandwich*nya akan berkurang.



Gambar 2.2 Struktur *Gyroid*

Berbagai jenis bentuk *core* telah banyak diterapkan pada struktur *sandwich*. Untuk bentuk *core* yang paling banyak digunakan pada struktur *sandwich* yaitu struktur *gyroid* dan struktur *hexagonal*. Dimana struktur *gyroid* adalah struktur yang terinspirasi dari alam yaitu struktur pada tulang belakang burung dan sayap kupu-kupu yang memiliki keunggulan pada rasio kekakuan dengan berat yang sangat baik.

2.2.4 *Skin*

Skin merupakan bagian dari struktur komposit *sandwich* yang dimana *skin* terletak pada bagian luar dari komposit *sandwich*. *Skin* pada umumnya yang melapis pada bagian *core*. *Skin* berfungsi untuk menahan *tensile* dan *compressive stress*.

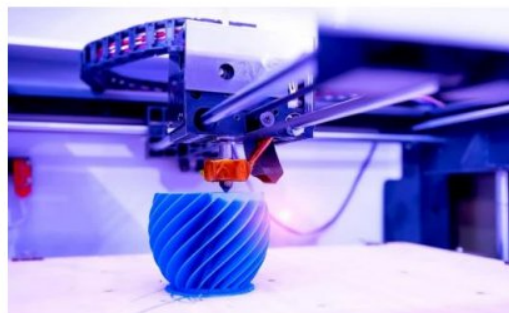
Beberapa jenis material lainnya dapat dijadikan sebagai bahan untuk *skin*. Seperti plat logam, baja, aluminium, dan polymer yang diperkuat oleh serat. Pemilihan material yang akan digunakan sebagai *skin* juga sangat penting. Kekuatan mekanis struktur *sandwich* sangat bergantung pada material penyusunnya, oleh sebab itu untuk meningkatkan sifat mekanis kekuatan *bending* struktur *sandwich* salah satunya dapat dilakukan dengan cara pemilihan jenis material *skin* yang tepat.



Gambar 2.4 Serat Karbon

2.2.5 3D Print Filament

3D *printing filament* atau biasa juga dikenal dengan *additive layer manufacturing* adalah proses membuat objek pada tiga dimensi atau berbagai bentuk apapun dari mode digital. 3D *printer* bisa mencetak, modelling, purawarupa/pemodelan, alat-alat peraga untuk pendidikan, model perhiasan, alat-alat penunjang kesehatan, desain produk, mainan anak-anak, dan berbagai kebutuhan untuk mencetak bentuk dalam tiga dimensi sehingga teknologi ini menjadi salah satu kemajuan teknologi manufaktur masa kini. Hal ini dapat dilihat dari kebutuhan manusia yang semakin lama semakin maju (Putra & Sari, 2018).

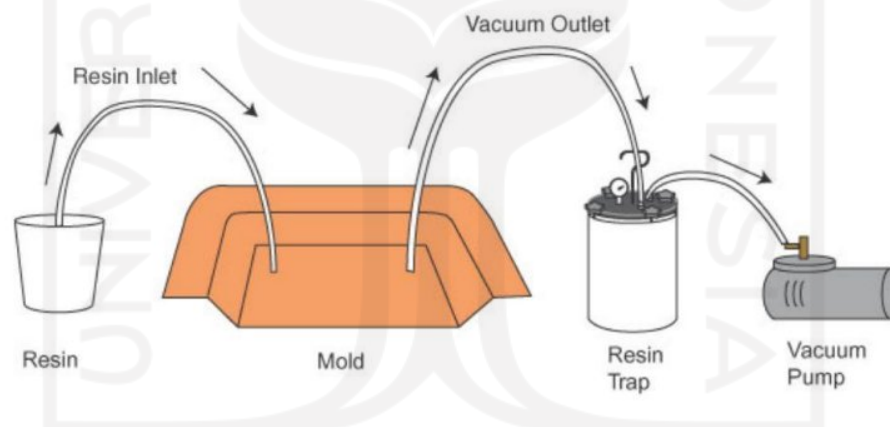


Gambar 2.5 Mesin 3D *print*

2.2.6 Vacuum Infusion

Vacuum infusion merupakan salah satu metode pengerjaan komposit dengan memanfaatkan kevakuman udara dengan memanfaatkan *plastic bag* yang direkatkan dengan *sealant tape* untuk mengurung udara dan mencetak komposit yang dibantu dengan resin dan katalis. *Vacuum Infusion* merupakan salah satu metode pembuatan komposit modern dan mempunyai kekuatan yang lebih baik dibanding metode *hand lay up* (Schuster et al., 2015).

Metode *vacuum infusion* dilakukan dengan merekatkan *plastic bag*, pipa, selang spiral dan produk dengan *sealant tape* dan dihisap menggunakan pompa vakum hingga udara dalam *plastic bag* terhisap dan membentuk sesuai bentuk yang diinginkan kemudian memasukkan resin ke dalam cetakan dengan bantuan pompa vakum. Proses distribusi resin dengan menggunakan metode *vacuum infusion* dapat meminimalisir *void* sehingga dapat dialirkan secara merata dan meningkatkan sifat mekanik dari komposit itu sendiri.



Gambar 2.6 Metode *Vacuum Infusion*

(Sumber: www.fibreglast.com)

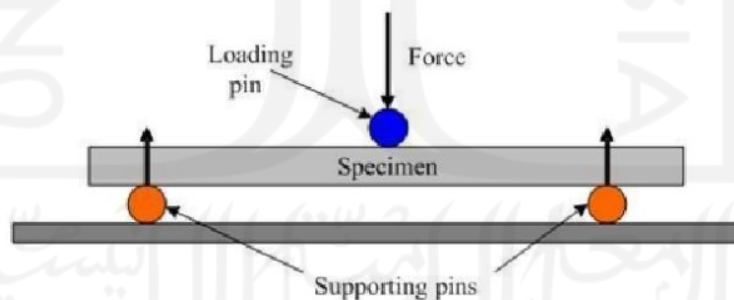
Dapat dilihat pada Gambar 2. 6 terdapat panah yang menunjukkan skema aliran resin pada saat di infus oleh mesin *vacuum pump*. Tekanan yang terdapat dalam *vacuum pump* lebih rendah dibanding tekanan diluar atau tekanan atmosfer. Proses tersebut yang membuat komposit lebih mudah dibentuk sesuai yang diinginkan.

2.2.7 Pengujian Bending

Uji lengkung (*bending test*) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Proses pembebanan menggunakan mandrel atau pendorong yang dimensinya telah ditentukan untuk memaksa bagian tengah bahan uji atau spesimen tertekuk diantara dua penyangga yang dipisahkan oleh jarak yang telah ditentukan. Pengujian *bending* memiliki 2 macam pengujian yaitu *three point bending* dan *four point bending* (Beliu et al, 2016).



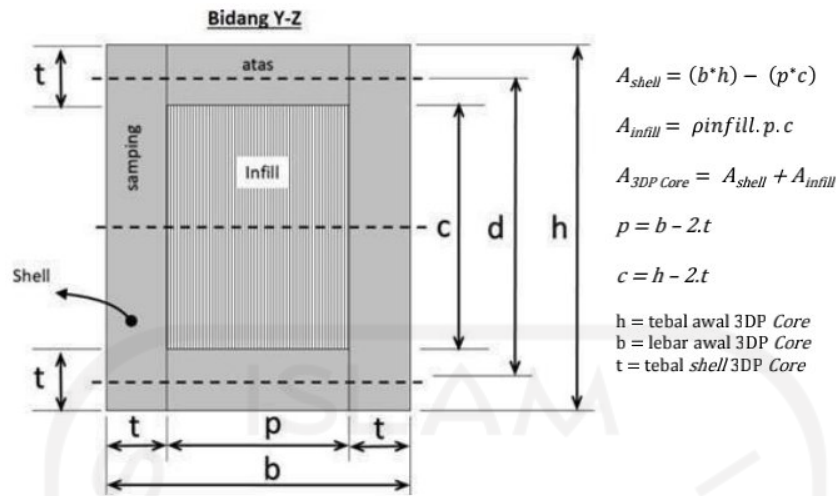
Gambar 2.7 *Universal Testing Machine*



Gambar 2.8 Proses *Three Point Bending*

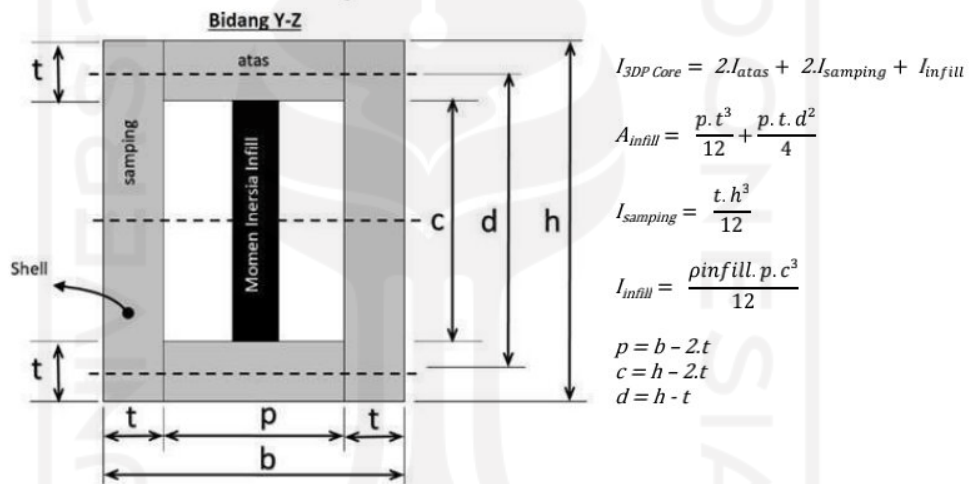
Perhitungan pada komposit *sandwich* berbeda dengan perhitungan spesimen pejal. Hal ini dikarenakan pada bagian dalam *core* komposit *sandwich* tidak berbentuk pejal melainkan *infill* berbentuk *gyroid*. Perhitungan untuk luas penampang dan momen inersia komposit *sandwich* dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

1. Luas Penampang Spesimen 3D Printing



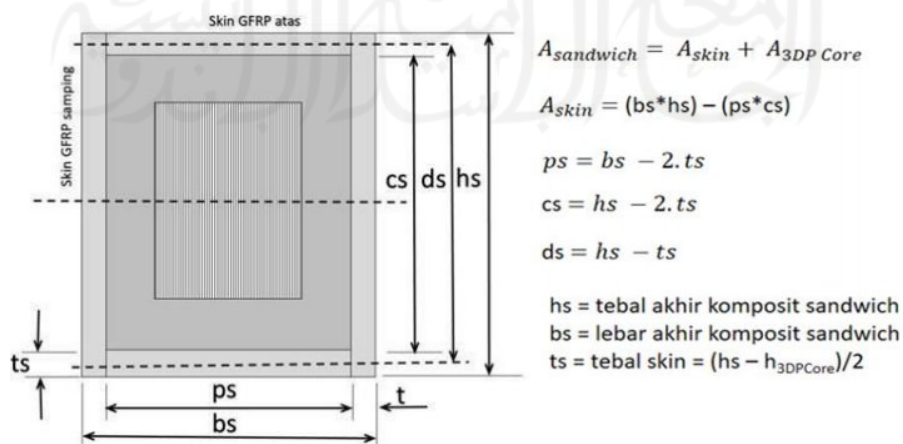
Gambar 2.9 Rumus Luas Penampang Core

2. Momen Inersia 3D Printing



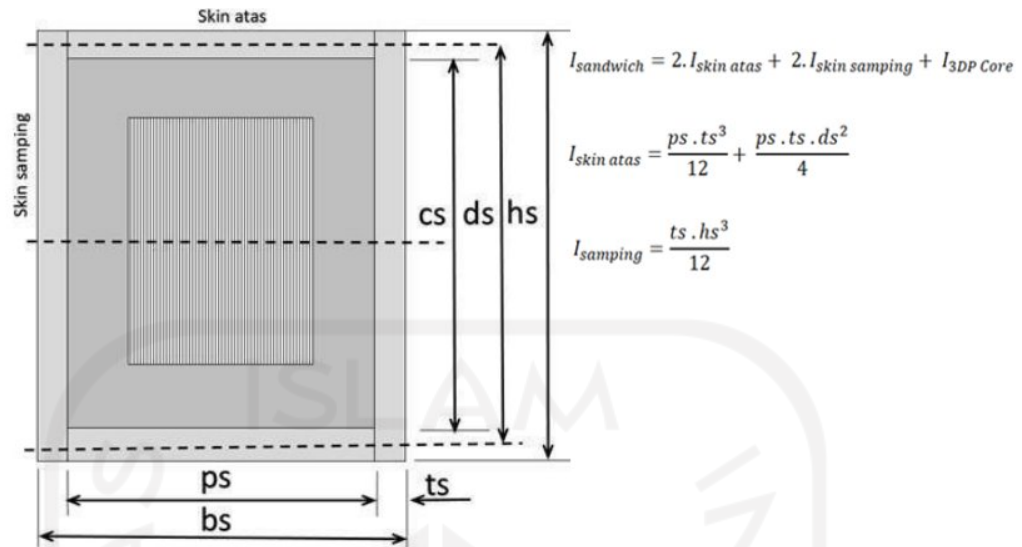
Gambar 2.10 Rumus Perhitungan Momen Inersia Core

3. Luas Penampang Spesimen Sandwich



Gambar 2.11 Rumus Perhitungan Luas Penampang Komposit Sandwich

4. Momen Inersia *Sandwich*



Gambar 2.12 Rumus Perhitungan Momen Inersia Komposit *Sandwich*

Rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan *bending* sebagai berikut:

1. Besar Tegangan Maksimal

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

2. Persamaan Defleksi Maksimal

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

3. Modulus Elastisitas

$$E_b = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \delta \cdot I_{sandwich}} \quad (2.3)$$

4. Kekakuan *Bending*

$$D = E \cdot I_{sandwich} = \frac{p \cdot L^3}{48 \cdot \delta} \quad (2.4)$$

5. Kekakuan *Bending* Spesifik

$$D/w \quad (2.5)$$

Keterangan rumus:

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

P = Beban yang diberikan (N)

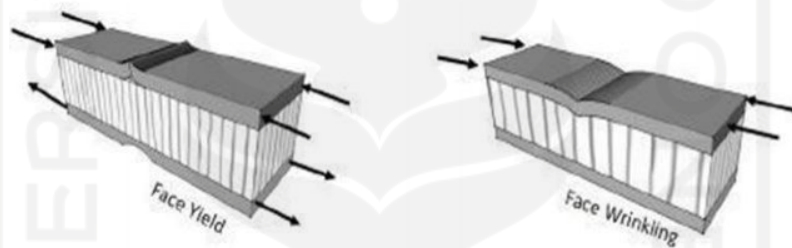
L = Jarak *point* (mm)

b = Lebar benda uji (mm)

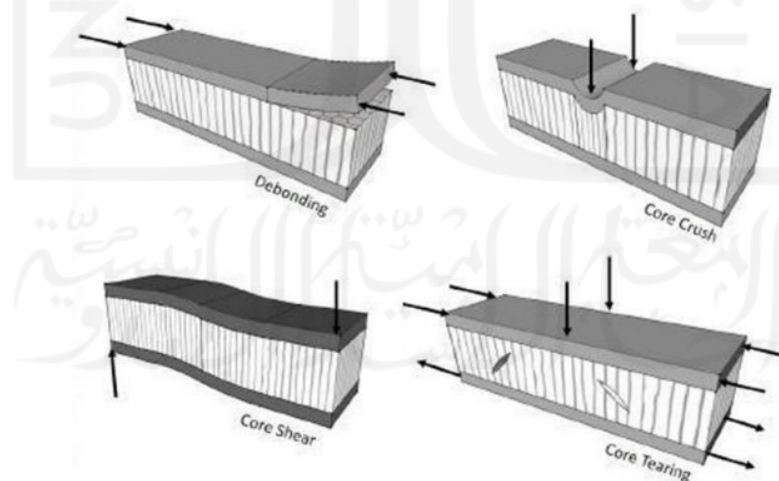
- h = Ketebalan benda uji (mm)
- δ = Defleksi (mm)
- I = Momen inersia (kgm)
- A = Luas penampang (m²)
- W = Beban akhir rata-rata (g)

2.2.8 Modus Kegagalan Komposit *Sandwich*

Dalam aplikasinya pada bidang rekayasa, komposit *sandwich* mengalami berbagai macam beban mekanik, seperti misalnya beban tekan, tarik, lentur, geser dan puntir. Terkadang, dalam aplikasinya tidak jarang juga beban yang dialami oleh material ini melebihi beban pada awal perancangan sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan pada material ini. Menurut (Petras, n.d.) berikut kegagalan yang terjadi pada komposit *sandwich*:



Gambar 2.13 Jenis-jenis Kegagalan Pada *Skin* Komposit *Sandwich*



Gambar 2.14 Jenis-jenis Kegagalan Pada *Core* Komposit *Sandwich*

Pada kegagalan *skin* komposit *sandwich* yang pertama yaitu *face yield* dimana bisa terjadi ketika tegangan normal melebihi tegangan luluh material *skin*. Jika material *skin* bersifat getas, maka kegagalan *face yield* kemungkinan terjadi pada

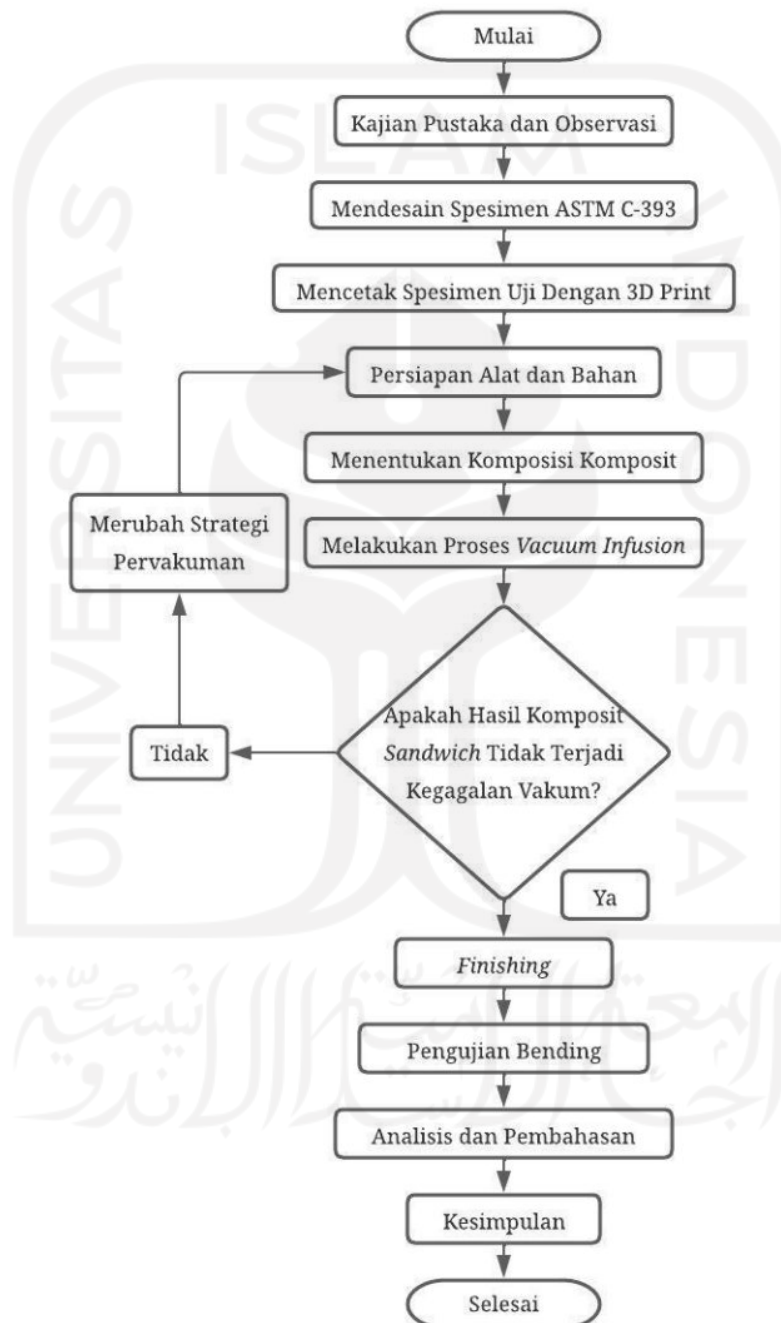
skin bagian atas karena lebih kritis terhadap tegangan tekan. Kemudian kegagalan *face wrinkling* yaitu fenomena *buckling* yang terjadi pada bagian *skin* atas akibat tegangan tekan dan kurangnya *support* dari *core* karena dimensi struktur *core* yang terlalu besar (densitas rendah).

Kegagalan *core* terdapat 4 jenis kegagalan, dimana pada kegagalan *debonding* kegagalan yang terjadi adalah lapisan *skin* terlepas dari bagian *core* spesimen. Untuk *core crush* kegagalan yang terjadi adalah perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen. Untuk kegagalan *core shear* bentuk kegagalan ini adalah kegagalan yang berubah bentuk akibat pembebanan yang diberikan. Sedangkan untuk kegagalan *core tearing* adalah pecahnya atau terlepasnya bagian *core* spesimen hal ini disebabkan oleh gaya gesek pada bagian tengah spesimen.



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Alur penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

Dalam penelitian ini menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Untuk perangkat lunak menggunakan Laptop yang berfungsi untuk mendesain dan membuat spesimen dengan standar ASTM C393 serta *printing* dengan sudut 0° dan sudut 90° untuk proses *vacuum infusion*. Untuk perangkat keras yang digunakan dapat dilihat seperti berikut:

1. Pompa Vakum

Pompa vakum yang digunakan adalah merk *Krisbow* dengan tenaga $\frac{1}{2}$ HP. Fungsi pompa vakum adalah menghisap udara pada saat proses *vacuum infusion* dilakukan. Bentuk pompa vakum dapat dilihat pada gambar 3. 2.



Gambar 3. 2 Pompa Vakum

2. Tabung Reservoir (*Catch Pot*)

Tabung *reservoir (catch pot)* mempunyai 2 input. Input 1 berfungsi untuk menampung sisa resin saat resin mengisi cetakan yang sudah di vakum dan mencegah sisa resin masuk dan merusak pompa, sedangkan input 2 berfungsi untuk membaca tekanan saat melakukan proses vakum. Bentuk tabung reservoir (*catch pot*) dapat dilihat pada gambar 3. 3.



Gambar 3. 3 Tabung Reservoir

3. Timbangan

Timbangan adalah alat untuk menakar berat campuran resin epoksi dan *hardener* untuk digunakan pada saat proses vakum. Untuk berat campurannya adalah 100:30 yang dimana 100 g resin epoksi dan 30 g *hardener*. Bentuk timbangan dapat dilihat pada gambar 3. 4.



Gambar 3. 4 Timbangan

4. *Vacuum Bagging Film*

Vacuum bagging film berfungsi sebagai wadah diletakkannya cetakan 3D *print* komposit yang akan dilakukan proses *vacuum infusion*. Fungsi lainnya yaitu untuk mencegah udara keluar masuk pada saat proses *vacuum infusion*. Bentuk dari *vacuum bag* dapat dilihat pada gambar 3. 5.



Gambar 3. 5 *Vacuum Bagging Film*

5. Kain *Strimmin*

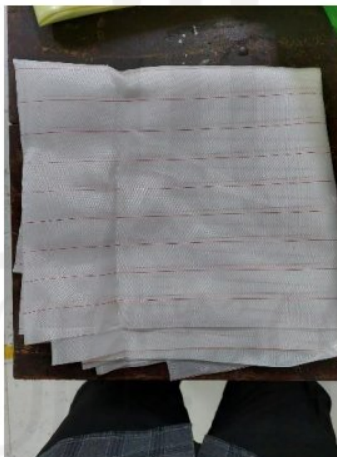
Kain *strimmin* berfungsi sebagai media untuk membantu menyebarkan aliran resin agar dapat berjalan dengan lancar dan sesuai dengan bentuk produk. Bentuk kain dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Kain Strimmin

6. *Peel Ply*

Peel ply berfungsi sebagai pembatas antara *infusion mesh* dengan *carbonfiber* dan memudahkan untuk pelepasan produk dari cetakan. Bentuk dari *peel ply* dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 *Peel Ply*

7. Selang

Selang berfungsi untuk mengalirkan resin dari wadah ke dalam *vacuum bag* dan membantu mengalirkan resin dan katalis dari *vacuum bag* menuju *reservoir trap*. Jenis selang yang digunakan adalah diameter 8 mm dan 10 mm. Bentuk dari selang dapat dilihat pada gambar 3. 8.



Gambar 3. 8 Selang

8. Selang Spiral

Kegunaan dari selang spiral yaitu untuk membantu mengalirkan resin dan katalis ke dalam cetakan dan menyalurkan aliran tekanan dari *vacuum pump*. Bentuk dari selang spiral dapat dilihat pada gambar 3. 9.



Gambar 3. 9 Selang Spiral

9. *Sealant Tape*

Sealant tape berfungsi untuk merekatkan *vacuum bag* pada saat proses *vacuum infusion*. Tujuannya untuk menghalangi udara keluar masuk pada saat proses *vacuum infusion*. Bentuk dari Butyl Tape dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3. 10 *Sealant tape*

10. Resin *Epoxy* dan *Hardener*

Resin *epoxy* adalah senyawa kimiawi yang didapatkan dari polimerisasi epoksida. *Epoxy* berfungsi sebagai perekat antara *core 3D printing* dan serat karbon. *Hardener* merupakan senyawa kimia yang dapat membantu mempercepat proses pengerasan *epoxy*. *Epoxy* dan *hardener* dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3. 11 *Epoxy* dan *hardener*

11. *Polylactic Acid (PLA)*

Polylactic acid (PLA) berfungsi sebagai bahan untuk pembuatan cetakan produk. Bentuk dari *polylactic acid (PLA)* dapat dilihat pada gambar 3.12. *Filament PLA* yang digunakan pada penelitian ini yaitu merk Esun dengan spesifikasi diameter *filament* 1,75 mm dan suhu leleh diantara 205-225 °



Gambar 3. 12 PLA

12. Serat *Carbonfiber*

Serat *carbonfiber* pada penelitian ini berfungsi sebagai prototype produk dalam media cetakan. Serat *carbonfiber* yang digunakan adalah serat *carbon kevlar fiber 3k 2x2 200gsm plain & twill* dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3. 13 Serat *Carbonfiber*

13. Isolasi Kertas

Isolasi kertas berfungsi untuk membantu merekatkan selang, selang spiral, dan *infusion mesh* agar tidak bergeser dan tetap di tempat pada saat proses *vacuum infusion* serta membantu merekatkan selang setelah proses *vacuum infusion* selesai agar *vacuum bag* tidak memasukkan ataupun mengeluarkan udara. Lem kertas yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3. 14.



Gambar 3. 14 Isolasi Kertas

14. Lem Dextone

Lem dextone berfungsi untuk merekatkan antara serat karbon dengan *core 3D printing* agar tidak terjadinya kegeseran antara serat dan *core* saat proses *vacuum infusion*. Lem dextone dapat dilihat pada gambar 3. 15.



Gambar 3. 15 Dextone

15. Gelas Plastik

Gelas plastik berfungsi sebagai wadah campuran resin *epoxy* dan *hardener*. Bentuk dari gelas plastik dapat dilihat pada gambar 3. 16.



Gambar 3. 16 Gelas Plastik

16. Stik Kayu

Stik kayu berfungsi untuk mengaduk resin dan katalis pada saat proses pencampuran keduanya. Bentuknya dapat dilihat pada gambar 3. 17.



Gambar 3. 17 Stik kayu

17. Keran 1/4

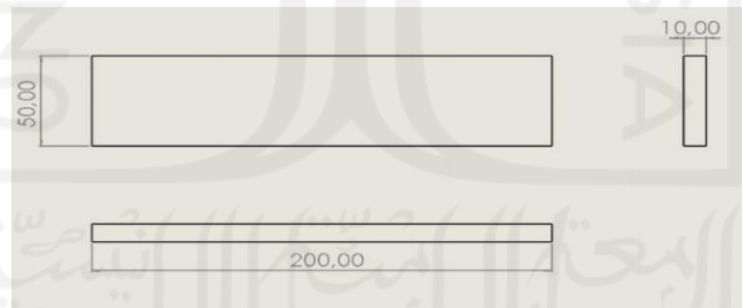
Keran 1/4 berfungsi sebagai pembuka dan penutup dari saluran udara dari cetakan, serta sebagai membuka dan menutup *vacuum* resin epoksi ke media cetakan.



Gambar 3. 18 Keran 1/4

3.3 Dimensi Spesimen *Bending*

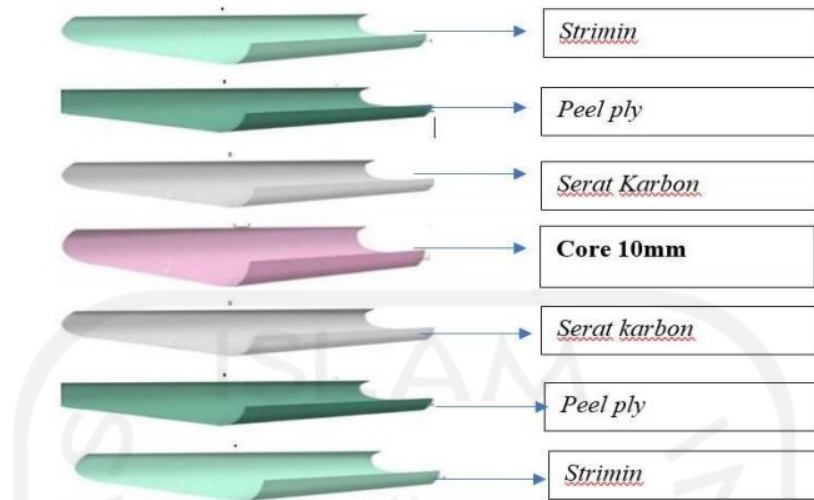
Spesimen komposit *sandwich* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan standar ASTM C393, dengan sudut print 30°, 45° dan 90° *core* berbahan *polylactid acid* (PLA) serta *infill* 20% dengan *fill patern gyroid*.



Gambar 3. 19 Dimensi Spesimen Uji *Bending Core*

Gambar 3.19 menunjukkan dimensi spesimen yang akan dibuat mengarah pada standar ASTM C393. Pada penelitian ini dibuat dengan *core* berbahan *polylactid acid* dengan rincian proses orientasi *printing* sudut 30°, 45° dan 60°. Untuk nilai perbandingan perlu nya dilakukan perhitungan dimensi sesudah dan sebelum melakukan proses *vacuum infusion* antara 3D *printing* yang menggunakan lapisan komposit dan 3D *printing* tanpa menggunakan lapisan komposit.

3.4 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

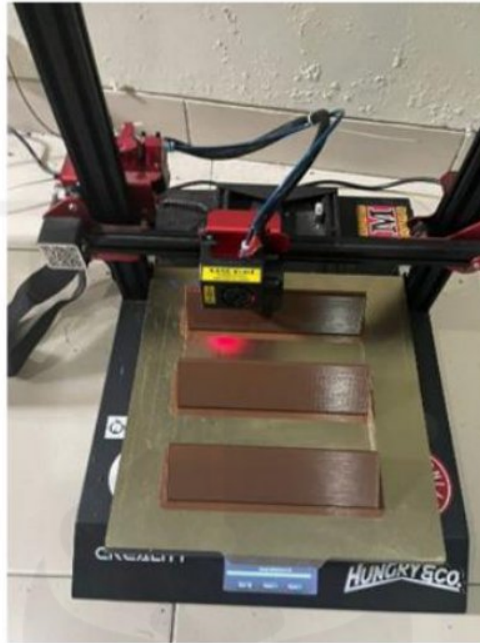


Gambar 3. 20 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

Gambar 3. 20 menunjukkan lapisan komposit *sandwich* dengan ketebalan *core* 10 mm dimana lapisan serat karbon sebanyak 1 lapis dan selanjutnya akan dilakukan proses *vacuum infusion*.

3.5 Proses Pengerjaan

3.5.1 Pembuatan *Core* dengan Mesin 3D Printing Filament



Gambar 3. 21 Proses Pembuatan *Core* Sudut 30°, 45° dan 60°

Pada gambar di atas menunjukkan proses pembuatan *core* dari orientasi sudut 30°, 45° dan 60° serta diikuti dimensinya mengikuti standar ASTM C393 dengan menggunakan mesin 3D printing.

Tabel 3. 1 Parameter *Print*

Material	<i>Infill</i> (%)	Suhu <i>Bed</i> (°C)	Suhu <i>Nozzle</i> (°C)	<i>Speed</i> (mm/s)	Diameter <i>filament</i> (mm)
PLA	20	55	220	50	1.75

Tabel 3.1 ini menunjukkan parameter proses pengerjaan spesimen uji yang dibuat dengan menggunakan bahan PLA (*Poly lactid Acid*), dengan *infill* 20%, dengan ketebalan *layer* 1,2 mm, suhu *bed* 55°C, suhu *nozzle* 220°C, *speed* 50 mm/s, dengan menggunakan *fill pattern gyroid*.

3.5.2 Proses *Vacuum Infusion*

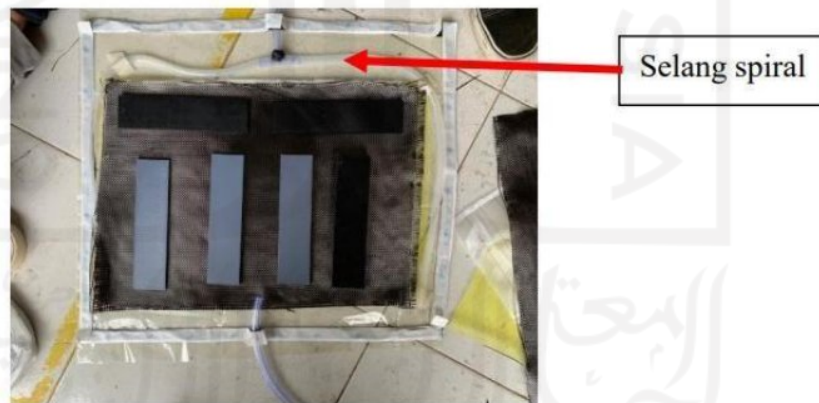
1. Menyusun Serat Karbon, Strimin (*infusion mesh*), *Butyl Tape*, dan *Peel Ply*.



Gambar 3. 22 Susunan Komposit *Sandwich*

Gambar 3.22 ini menunjukkan susunan komposit *sandwich* yang sesuai petunjuk dengan gambar 3.19 dengan menggunakan satu *layer/lapisan* serat karbon dibagian atas dan bagian bawah.

2. Pemasangan Selang Spiral



Gambar 3. 23 Pemasangan Selang Spiral

Pemasangan selang spiral merupakan selang yang dibuat berbentuk huruf U disekitar sisi dari cetakan komposit *sandwich* bertujuan agar saat proses *vacuum infusion* resin dapat menyebar ke semua bagian media.

3. Pelapisan Lem Dextone



Gambar 3. 24 Pelapisan Dextone

Proses ini dilakukan sebelum menunjukkan semua bahan ke dalam *vacuum bag* bertujuan untuk mencegah kegeseran antara *core* dengan *skin* sehingga lebih mudah untuk melakukan proses pemvakuman. Takaran dari dextone yang digunakan adalah 12:0,1 dimana 12 g epoksi dextone dan 0,1 g *hardener* dextone.

4. Menyusun Bahan Ke Dalam *Vacuum Bag*



Gambar 3. 25 Memasukkan Semua Bahan Ke dalam *Vacuum Bag*

Dapat dilihat dari gambar di atas adalah proses pemasukan barang dan menutup dengan *butyl tape*, lalu melakukan proses *vacuum infusion* untuk mengecek kebocoran dari *vacuum bag* sebanyak 3x proses *vacuum*.

5. Proses Pencampuran Resin *Epoxy* dan *Hardener*



Gambar 3. 26 Proses Pencampuran

Gambar 3. 26 telah menunjukkan proses pencampuran resin epoksi dan *hardener*-nya dengan takaran 100:30 yang dimana 100 g resin dan 30 g *hardener*.

6. Proses *Vacuum infusion*



Gambar 3. 27 Proses *Vacuum Infusion*

Gambar 3.27 proses *vacuum infusion* merupakan proses yang sudah dilakukannya *vacuum* dan pencampuran resin setelah itu membuka katup bensin sehingga campuran resin naik dan mengalir ke semua media dari resin inlet menuju resin outlet seperti gambar 3. 25.

3.5.3 Hasil Setelah *Vacuum Infusion*



Gambar 3. 28 Hasil Core PLA Setelah *Vacuum Infusion*

Gambar 3.28 menunjukan hasil setelah *vacuum* dan proses *finishing* menggunakan gerinda. Untuk keterangan gambar 3. 28 dengan kode (GWS + kederajatan proses pengeprintan / nomor spesimen).

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* yang dilakukan adalah pengujian spesimen yang bertujuan untuk mencari perbandingan dari nilai kekakuan dari tiap spesimen. Pengujian *bending* ini merujuk pada standar ASTM C393 yang dilakukan di Lab Bahan Teknik Universitas Gajah Mada. Gambar 4. 1 menunjukkan proses pengujian *three point bending*.



Gambar 4. 1 Alat Uji *Bending*

Adapun langkah-langkah pada proses pengujian *three point bending*:

1. Urutkan spesimen yang akan di uji dengan kestandaran ASTM C393 dengan meletakkan sesuai variasi nya masing-masing.
2. Letakan spesimen uji yang sudah dibuat pada alat uji *bending* dengan jarak antar titik tumpuan 170 mm dengan panjang 200 mm.
3. Mesin uji *bending* akan diberikan beban maksimal secara perlahan sampai spesimen mengalami patah.
4. Hasil pengujian akan otomatis tercatat pada kertas yang sudah disiapkan oleh penguji di panel mesin uji.

4.2 Hasil Pengujian *Bending*

Dari proses pengujian *three point bending* pada spesimen uji yang dilakukan pada Laboratorium Bahan Teknik UGM mendapatkan Hasil Seperti pada gambar 4. 2 di bawah ini.



Gambar 4. 2 Hasil Pengujian *Bending*

Gambar 4. 2 menunjukkan spesimen setelah dilakukannya proses pengujian *bending*. Jika dilihat dari masing-masing spesimen mengalami beberapa modus kegagalan yang berbeda.

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian *Bending*

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)
1	GNS 30/1	10,57	50,74	0,58	14,24	24,55
2	GNS 30/2	10,47	51,38	0,54	12,25	23,01
3	GNS 30/3	10,62	51,17	0,56	15,01	23,29
4	GNS 45/1	10,52	50,28	0,62	14,08	26,74
5	GNS 45/2	10,58	50,30	0,60	14,67	25,58
6	GNS 45/3	10,65	50,34	0,57	13,38	23,96
7	GNS 60/1	10,57	50,62	0,54	13,29	22,92
8	GNS 60/2	10,67	50,39	0,57	15,44	23,85
9	GNS 60/3	10,47	50,39	0,69	9,91	29,98
10	GWS 30/1	11,02	50,58	1,30	7,28	50,79
11	GWS 30/2	10,42	50,72	1,28	11,54	55,78
12	GWS 30/3	11,40	50,85	1,06	7,28	38,50
13	GWS 45/1	10,99	51,00	1,38	7,23	53,77
14	GWS 45/2	11,32	50,89	1,62	4,33	59,62
15	GWS 45/3	11,20	51,03	1,10	6,37	41,24
16	GWS 60/1	11,45	50,79	1,20	7,20	43,25
17	GWS 60/2	11,08	51,08	1,02	8,37	39,04
18	GWS 60/3	11,40	50,65	1,46	7,96	53,23

Tabel 4.1 menunjukkan hasil data yang didapatkan oleh proses pengujian *bending*. Dapat dilihat bahwa beban maksimal tertinggi didapatkan pada spesimen dengan kode variasi GWS 45/2 yaitu *gyroid* dengan proses *printing* 45° menggunakan proses komposit *sandwich* dengan nilai 1,62 KN, untuk defleksi tertinggi didapatkan pada spesimen GNS 60/2 sebesar 15,44 mm yaitu *gyroid nonskin* dengan proses *printing* 60° yang tidak menggunakan komposit *sandwich* dan untuk tegangan *bending* tertinggi didapatkan pada spesimen GWS 45/2 dengan nilai 59,62 MPa.

Tabel 4. 2 Perbandingan Spesimen Setelah Proses *Vacuum Infusion*

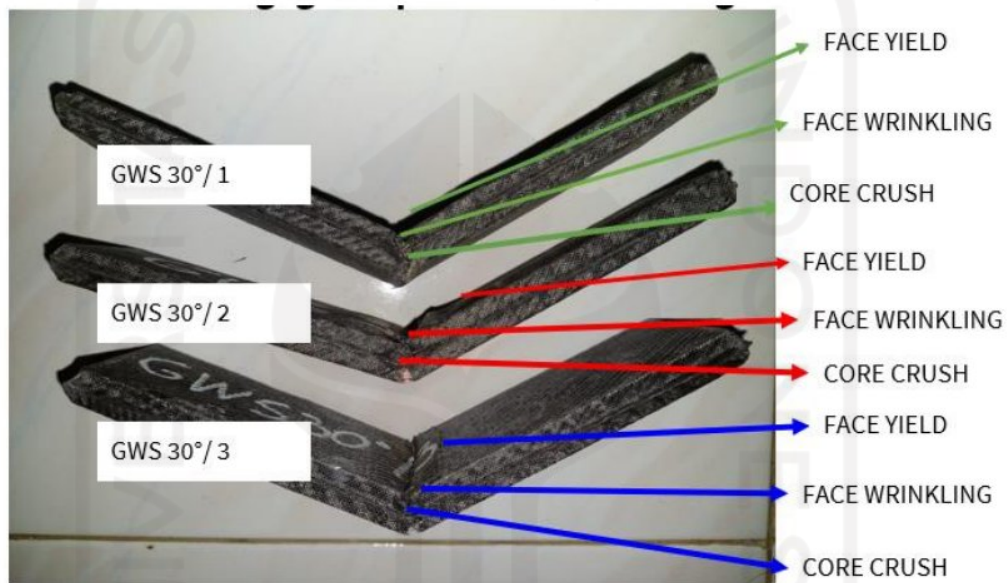
NO.	KODE SPESIMEN	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Lebar Awal (mm)	Lebar Akhir (mm)	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)
1	GNS 30/1	47,11	47,11	50,74	50,74	10,57	10,57
2	GNS 30/2	47,77	47,77	51,38	51,38	10,47	10,47
3	GNS 30/3	42,24	42,24	51,17	51,17	10,62	10,62
4	GNS 45/1	43,37	43,37	50,28	50,28	10,52	10,52
5	GNS 45/2	43,73	43,73	50,30	50,30	10,58	10,58
6	GNS 45/3	42,09	42,09	50,34	50,34	10,65	10,65
7	GNS 60/1	44,69	44,69	50,62	50,62	10,57	10,57
8	GNS 60/2	45,07	45,07	50,39	50,39	10,67	10,67
9	GNS 60/3	45,64	45,64	50,39	50,39	10,47	10,47
10	GWS 30/1	49,16	67,25	50,04	50,58	9,80	11,02
11	GWS 30/2	49,62	67,98	50,12	50,72	9,72	10,42
12	GWS 30/3	50,75	74,57	50,28	50,85	9,82	11,40
13	GWS 45/1	41,09	60,67	50,46	51,00	10,20	10,99
14	GWS 45/2	40,00	64,53	50,36	50,89	10,00	11,32
15	GWS 45/3	41,26	63,29	50,44	51,03	10,20	11,20
16	GWS 60/1	44,45	68,26	50,20	50,79	10,10	11,45
17	GWS 60/2	43,35	65,98	50,54	51,08	10,90	11,08
18	GWS 60/3	44,48	68,25	50,10	50,65	9,98	11,40

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa perubahan dimensi spesimen setelah proses *vacuum infusion*. Dapat dilihat spesimen GWS 30/1 yaitu *core gyroid* dengan orientasi *printing* 30° berat awal sebelum proses *vacuum infusion* sebesar 49,16 g setelah di *vacuum infusion* menjadi 67,25 g, untuk lebar awal sebelum proses *vacuum infusion* sebesar 50,04 mm menjadi 50,58 mm, dan tebal awal 9,80 mm menjadi 11,02 mm.

4.3 Analisis dan Perhitungan

Kegagalan komposit *sandwich* adalah kerusakan yang terjadi pada komposit *sandwich* saat di tumpuin beban yang melampaui batasan kekuatannya. Berdasarkan hasil pengujian dari 9 spesimen yang diuji, pada umumnya spesimen mengalami kegagalan *face yield* yang dimana kegagalan ini terjadi pada *skin* komposit *sandwich* yang relative tipis terhadap tebal *core*. Kegagalan ini dapat menurunkan nilai dari kekuatan *bending* secara drastis.

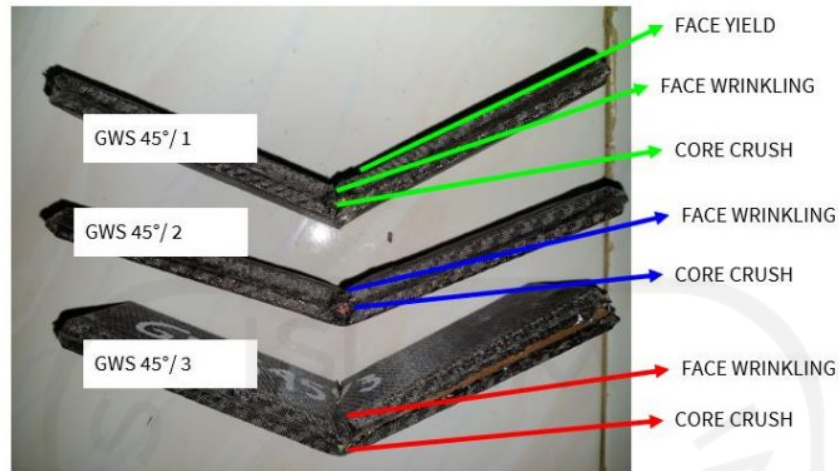
4.3.1 Analisis Modus Kegagalan Core Orientasi Printing 30°



Gambar 4. 3 Spesimen Komposit *Sandwich* Orientasi *Printing* 30°

Gambar 4.3 menunjukkan modus kegagalan dari spesimen komposit *sandwich* dengan *core* orientasi *printing* 30° mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen GWS 30° yaitu *core gyroird* dengan orientasi *printing* 30° mengalami kegagalan *face wrinkling* dan kegagalan *core crush* yang dimana kegagalan *face wrinkling* yaitu fenomena *buckling* yang terjadi pada *skin* atas akibat tegangan tekan dan kurangnya *support* dari *core* karena dimensi struktur *core* yang terlalu besar dan untuk *core crush* yaitu *core* sudah patah akan tetapi belum sampai terbelah mengalami *face wrinkling*, kegagalan *face yield*, dan *core crush* yang dimana *core* sudah patah akan tetapi belum sampai terbelah dan *skin* bagian bawah yang sudah putus menyebabkan penurunan kekuatan *bending* terdapat resin epoksi yang masuk sehingga menyebabkan *core* menjadi getas.

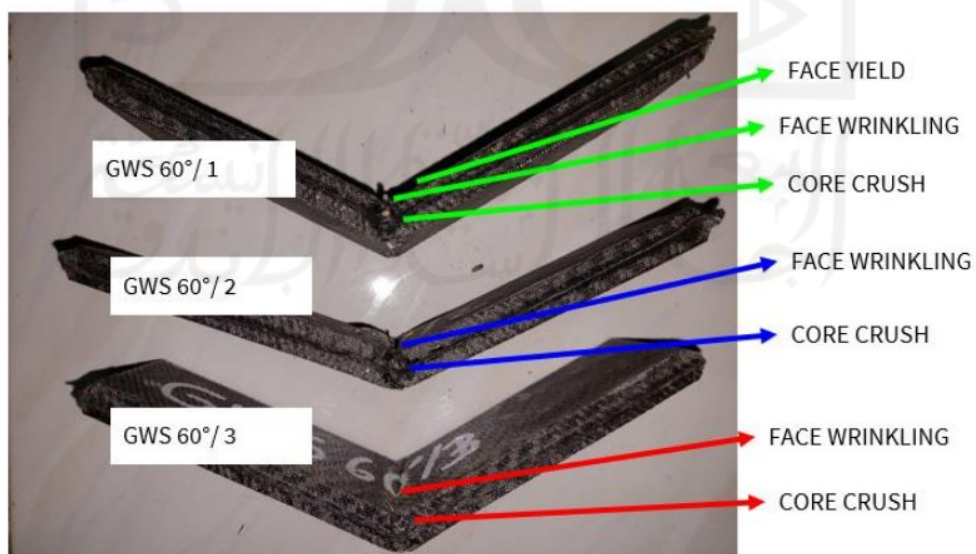
4.3.2 Analisis Modus Kegagalan Core Orientasi Printing 45°



Gambar 4. 4 Spesimen Komposit Sandwich Orientasi Printing 45°

Gambar 4.4 menunjukkan modus kegagalan dari spesimen komposit sandwich dengan core 45° mengalami kegagalan akibat beban bending. Pada spesimen GWS 45/1, 45/2, 45/3 yaitu core gyroid dengan orientasi printing 45° mengalami kegagalan core crush. Pada spesimen GWS 45/1 yaitu core gyroid dengan orientasi printing 45° mengalami kegagalan core kegagalan face yield yang dimana core sudah patah tetapi tidak sampai terbelah dan skin bagian bawah yang sudah putus menyebabkan penurunan kekuatan bending.

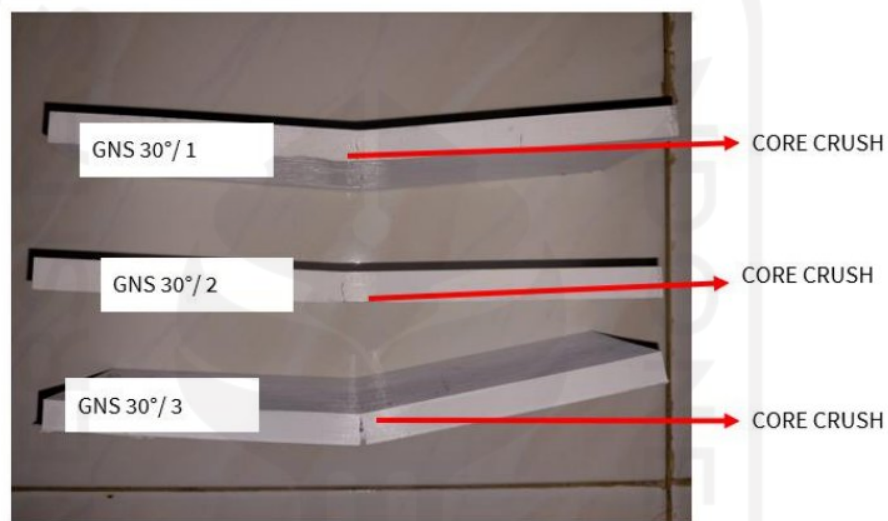
4.3.3 Analisis Modus Kegagalan Core Orientasi Printing 60°



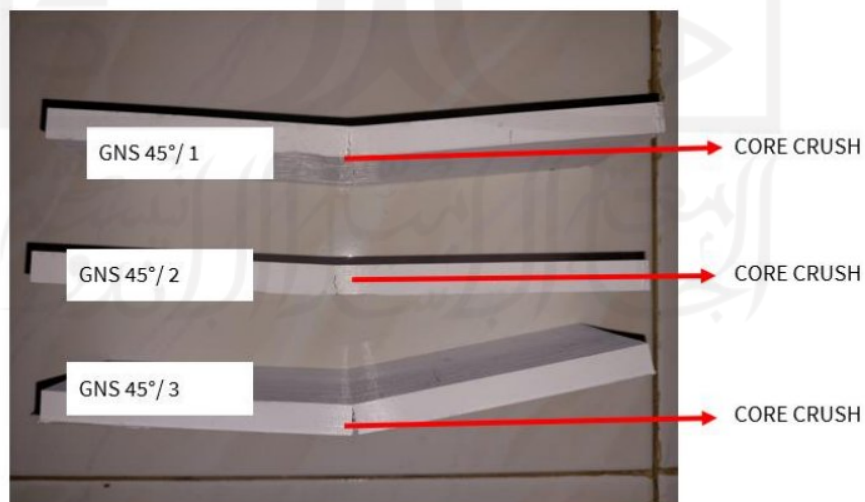
Gambar 4. 5 Spesimen Komposit Sandwich Orientasi Printing 60°

Gambar 4.5 menunjukkan modus kegagalan dari spesimen komposit sandwich dengan core 60° mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen GWS 60/1, 60/2, 60/3 yaitu *core gyroid* dengan orientasi *printing* 60° mengalami kegagalan *core crush*. Pada spesimen GWS 60/1 yaitu *core gyroid* dengan orientasi *printing* 45° mengalami kegagalan *core* kegagalan *face yield* yang dimana *core* sudah patah tetapi tidak sampai terbelah dan *skin* bagian bawah yang sudah putus menyebabkan penurunan kekuatan *bending*.

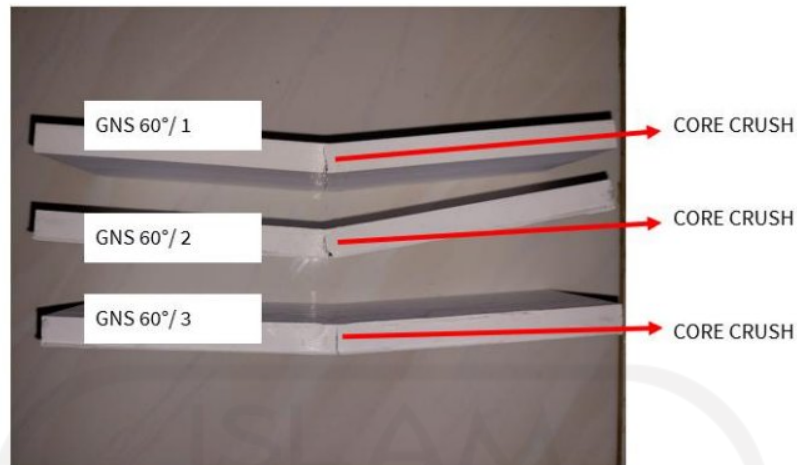
4.3.4 Analisis Modus Kegagalan Core Gyroid Tanpa Skin



Gambar 4. 6 Spesimen ASTM C393 tanpa *skin* 30°



Gambar 4. 7 Spesimen ASTM C393 tanpa *skin* 45°



Gambar 4. 8 Spesimen ASTM C393 tanpa *skin* 60°

Pada gambar 4. 6, 4. 7, 4. 8 menunjukkan modus kegagalan dari spesimen tanpa komposit dengan *core gyroid* mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen GNS 30, GNS 45, GNS 60 *core gyroid* dengan orientasi *printing* 30°, 45° 60° mengalami kegagalan *core crush*.

4.4 Perhitungan

Berdasarkan data yang didapat melalui pengujian *bending*, maka langkah selanjutnya, yaitu mencari nilai dari tiap beban *bending*, tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekuatan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik dari tiap kode spesimen. Untuk rumus menggunakan perhitungan komposit *sandwich*:

1. Tegangan *Bending* Maksimal

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

2. Modulus Elastisitas

$$E_b = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \delta \cdot I_{sandwich}} \quad (2.3)$$

3. Kekakuan *Bending*

$$D = \frac{p \cdot L^3}{48 \cdot \delta} \quad (2.4)$$

4. Kekakuan *Bending* Spesifik

$$\frac{D}{W} \quad (2.5)$$

Keterangan:

σ = Tegangan *bending* maksimal (MPa)

P = Beban yang diberikan (N)

L = Jarak *point* (mm)

b = Lebar spesimen uji (mm)

h = Ketebalan spesimen uji (mm)

δ = Defleksi (mm)

D = Kekakuan *bending* (Nmm²)

W = Berat spesimen uji (g)

4.5 Pembahasan

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dan Kekakuan *Bending*

Jenis	Orientasi	Berat (g)	Beban <i>Bending</i> (N)	T max (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Kekakuan <i>Bending</i> (Nmm ²)	Kekakuan Spesifik (Nmm ² /g)
GNS 30	30/1	47,11	580	26,09	3.741,84	4.168.920	88.493,31
	30/2	47,77	540	24,45	4.084,36	4.511.939	94.451,30
	30/3	42,24	560	24,74	3.366,61	3.818.676	90.404,27
GNS 45	45/1	43,37	620	28,41	4.122,52	4.507.073	103.921,44
	45/2	43,73	600	27,17	3.781,19	4.186.264	95.729,81
	45/3	42,09	570	25,46	3.880,45	4.360.379	103.596,56
GNS 60	60/1	44,69	540	24,35	3.741,48	4.158.860	93.060,19
	60/2	45,07	570	25,34	3.345,73	3.778.619	83.838,89
	60/3	45,64	690	31,85	6.571,40	7.126.577	156.147,60
GWS 30	30/1	67,25	1.300	53,97	8.632,47	18.277.530	271.784,83
	30/2	67,98	1.280	59,27	7.154,48	11.352.975	167.004,64
	30/3	74,57	1.060	40,90	5.932,67	14.903.217	199.855,39
GWS 45	45/1	60,67	1.380	57,13	10.802,79	19.536.480	322.012,20
	45/2	64,53	1.620	63,35	16.693,84	38.294.169	593.432,03
	45/3	63,29	1.100	43,82	8.736,44	17.674.974	279.269,61
GWS 60	60/1	68,26	1.200	45,95	7.269,01	17.059.028	249.912,51
	60/2	65,98	1.020	41,48	9.061,00	12.473.268	189.046,19
	60/3	68,25	1.460	56,56	7.893,20	18.773.503	275.069,64

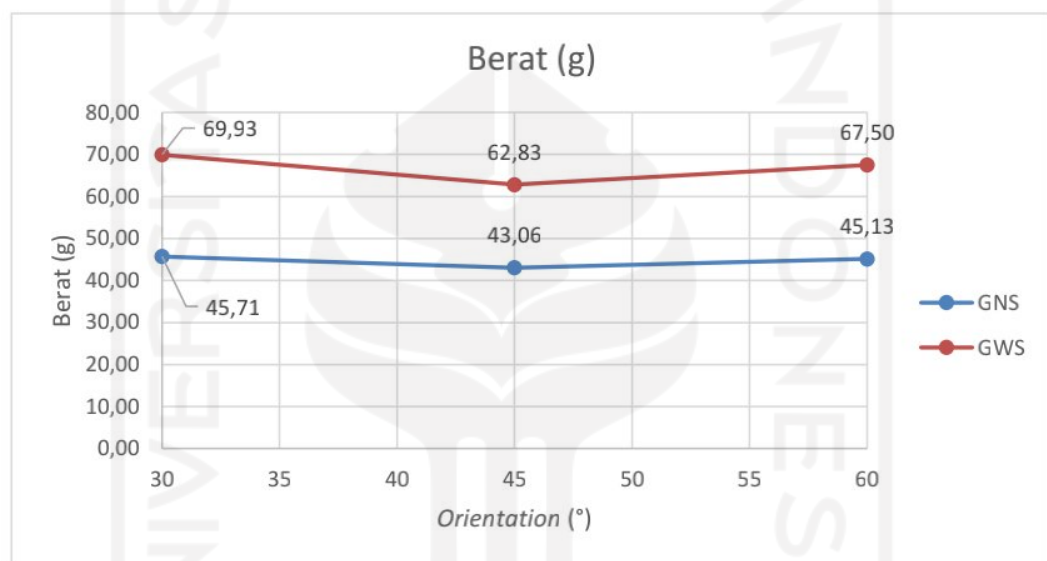
Dapat dilihat dari tabel 4. 3, kekakuan *bending* tertinggi didapatkan pada spesimen tanpa komposit *sandwich* kode GNS 60/3 (60°) yaitu *core gyroid* dengan orientasi *printing* 60° memiliki nilai sebesar 7.126.576 Nmm², sedangkan untuk spesimen komposit *sandwich* yang tertinggi yaitu GWS 45/2 (45°) *core gyroid* dengan orientasi *printing* 45° dengan nilai sebesar 38.294.168 Nmm².

4.5.1 Berat

$$\Sigma = \frac{\text{jumlah keseluruhan tiap spesimen}}{3}$$

Tabel 4. 4 Perbandingan Berat GWS & GNS

Perbandingan Berat GWS & GNS (g)				
Orientasi	GWS	GNS	Selisih	Keterangan
30	69,93	45,71	24,23	Naik 1,53 kali
45	62,83	43,06	19,77	Naik 1,46 kali
60	67,50	45,13	22,36	Naik 1,50 kali



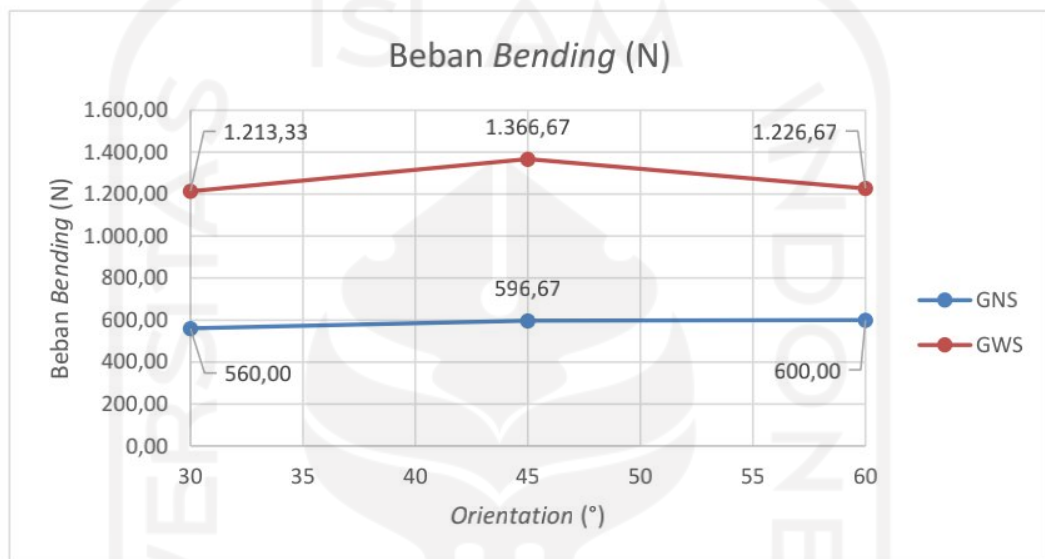
Gambar 4. 9 Grafik Berat

Gambar di atas menunjukkan grafik beban *bending* maksimal yang terjadi pada setiap spesimen untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh orientasi *core* pada sudut yang berbeda terhadap beban berat maksimal yang terjadi. Berdasarkan data hasil perhitungan dan nilai yang ditunjukkan pada tabel 4. 4 terdapat perbedaan nilai beban berat maksimal dari tiap spesimen. Dimana nilai tertinggi didapatkan pada spesimen komposit *sandwich* dengan *core gyroid* sudut 30° dengan nilai berat sebesar 69,93 g. Sedangkan spesimen tanpa komposit nilai tertinggi didapatkan *core gyroid* dengan orientasi *printing* 30° dengan berat 45,71 g.

4.5.2 Beban *Bending*

Tabel 4. 5 Perbandingan Beban *Bending* GNS & GWS

Perbandingan Beban <i>Bending</i> GNS & GWS (N)				
Orientasi	GWS	GNS	Selisih	Keterangan
30	1.213,33	560,00	653,33	Naik 2,17 kali
45	1.366,67	596,67	770,00	Naik 2,29 kali
60	1.226,67	600,00	626,67	Naik 2,04 kali



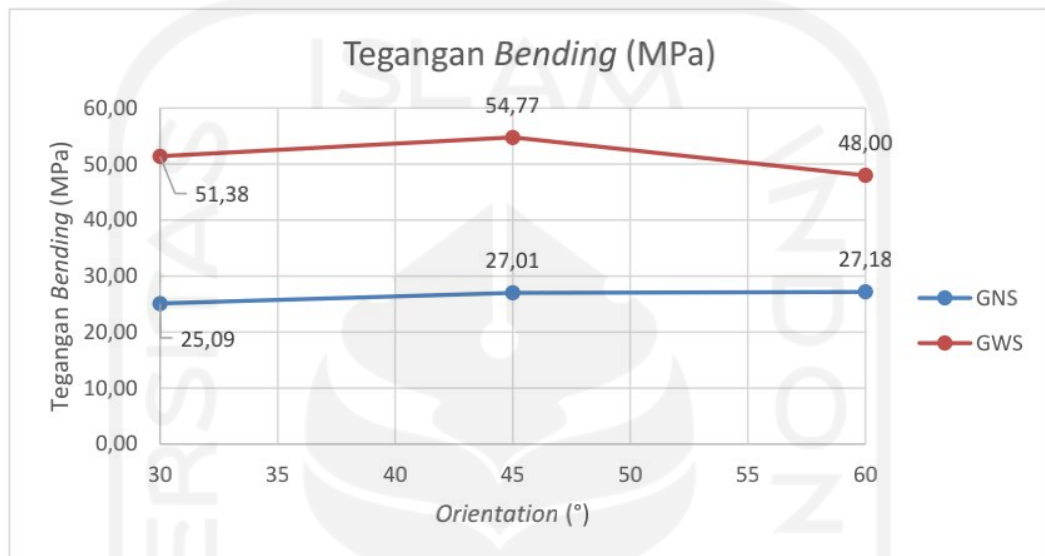
Gambar 4. 10 Grafik Beban *Bending*

Gambar di atas menunjukkan grafik beban *bending* maksimal yang terjadi pada setiap spesimen untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh orientasi *core* pada sudut yang berbeda terhadap beban *bending* maksimal yang terjadi. Berdasarkan data hasil perhitungan dan nilai yang ditunjukkan pada tabel 4. 5 terdapat perbedaan nilai beban *bending* maksimal dari tiap spesimen. Dimana nilai tertinggi di dapatkan pada spesimen komposit *sandwich* dengan *core gyroid* sudut 45° dengan nilai tegangan *bending* sebesar 1.366,67 N. Sedangkan spesimen tanpa komposit nilai tertinggi didapatkan *core gyroid* dengan orientasi *printing* 60° dengan nilai tegangan *bending* sebesar 600 N.

4.5.3 Tegangan *Bending*

Tabel 4. 6 Perbandingan Tegangan *Bending* GWS & GNS

Perbandingan Tegangan <i>Bending</i> GWS & GNS (MPa)				
Orientasi	GWS	GNS	Selisih	Keterangan
30°	51,38	25,09	26,29	Naik 2,05 kali
45°	54,77	27,01	27,75	Naik 2,03 kali
60°	48,00	27,18	20,82	Naik 1,77 kali



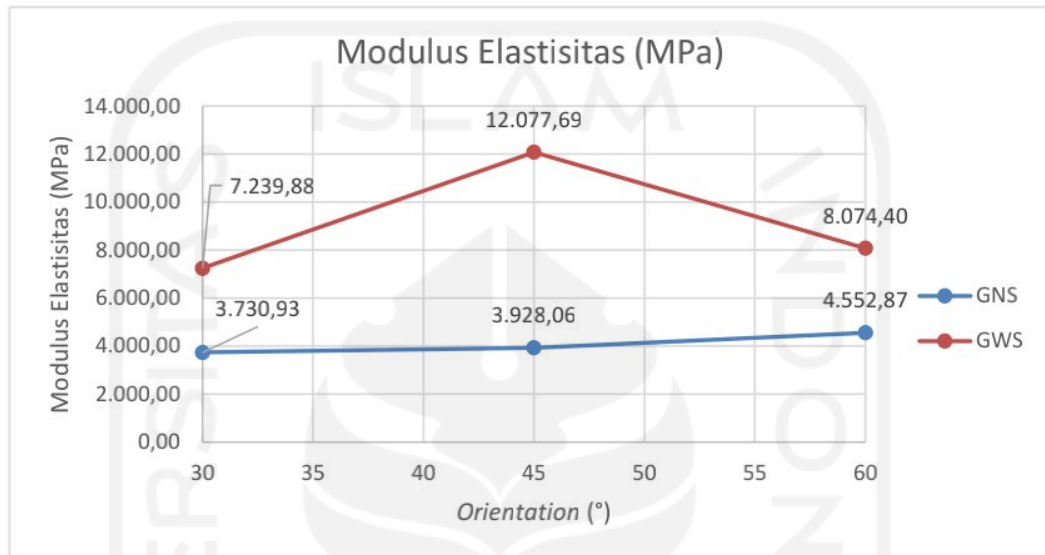
Gambar 4. 11 Grafik Tegangan *Bending*

Gambar di atas menunjukkan grafik tegangan *bending* untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh orientasi *printing core* pada sudut yang berbeda terhadap tegangan *bending* yang terjadi. Berdasarkan data hasil perhitungan dan nilai yang ditunjukkan pada tabel 4. 6 terdapat perbedaan nilai kekakuan *bending* dari tiap spesimen. Dimana nilai tertinggi didapatkan pada spesimen *core gyroid* dengan orientasi *printing* 45° komposit *sandwich* dengan nilai tegangan *bending* sebesar 54,77 MPa. Sedangkan tanpa komposit tertinggi didapatkan *core gyroid* dengan orientasi *printing* 60° bernilai sebesar 27,18 MPa.

4.5.4 Modulus Elastisitas

Tabel 4. 7 Perbandingan Modulus Elastisitas GWS & GNS

Perbandingan Modulus Elastisitas GWS dan GNS (MPa)				
Orientasi	GWS	GNS	Selisih	Keterangan
30	7.239,88	3.730,93	3.508,94	Naik 1,94 kali
45	12.077,69	3.928,06	8.149,64	Naik 3,07 kali
60	8.074,40	4.552,87	3.521,53	Naik 1,77 kali



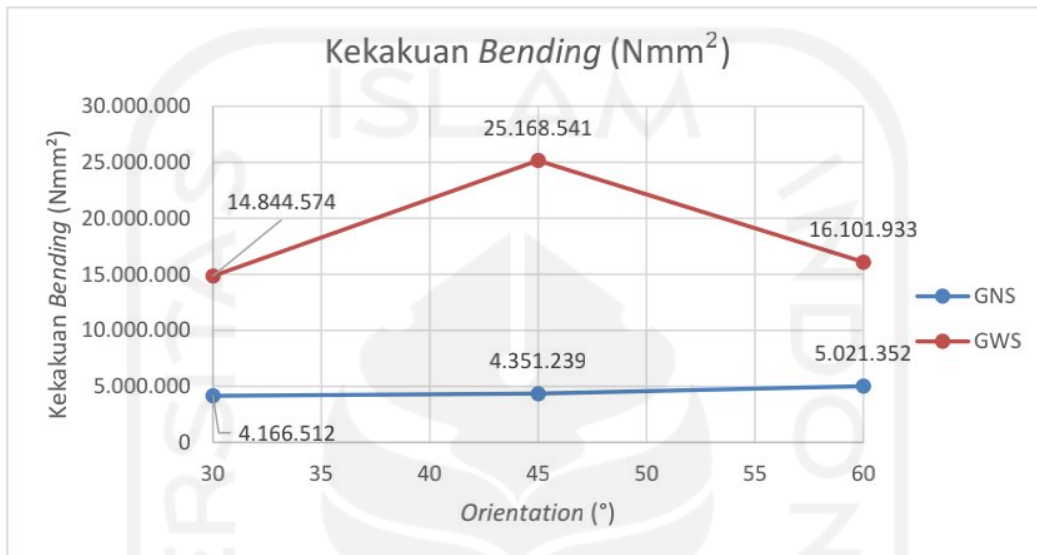
Gambar 4. 12 Modulus Elastisitas

Pada gambar di atas dapat ditunjukkan hasil dari grafik modulus elastisitas dan untuk mengetahui pengaruh tiap orientasi pada sudut yang berbeda terhadap beban *bending* yang terjadi. Berdasarkan tabel dan gambar di atas dapat ditunjukkan hasil yang tertinggi untuk menggunakan komposit *sandwich* terdapat pada orientasi sudut 45° sebesar 12.077,69 N dan untuk tanpa komposit terdapat pada sudut 60° sebesar 4.552,87 N.

4.5.5 Kekakuan *Bending*

Tabel 4. 8 Tabel Perbandingan *Bending* GWS & GNS

Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> GWS & GNS (Nmm ²)				
Orientasi	GWS	GNS	Selisih	Keterangan
30	14.844.573	4.166.511	10.678.062	Naik 3,56 kali
45	25.168.540	4.351.238	20.817.301	Naik 5,78 kali
60	16.101.932	5.021.351	11.080.580	Naik 3,21 kali



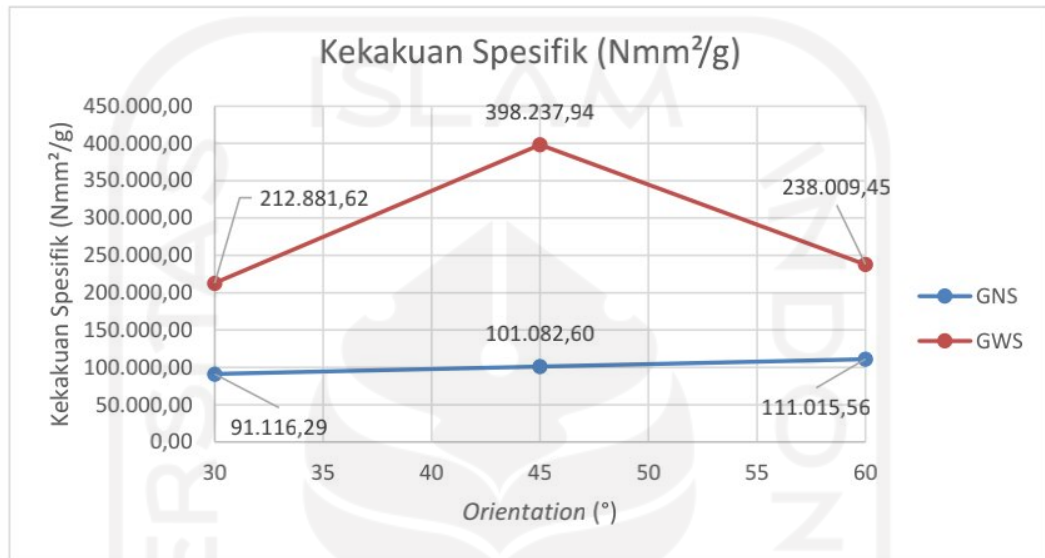
Gambar 4. 13 Grafik Kekakuan *Bending*

Gambar di atas menunjukkan grafik kekakuan *bending* untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh orientasi *printing core* pada orientasi yang berbeda terhadap kekakuan *bending* yang terjadi. Berdasarkan data dari tabel 4. 8 kekakuan *bending* maksimal tertinggi didapatkan pada spesimen komposit *sandwich* dengan *core gyroid* dengan orientasi *printing* 45° dengan nilai sebesar 25.168.540 Nmm². Sedangkan spesimen tanpa komposit yang tertinggi adalah *core gyroid* dengan orientasi *printing* 60° nilai sebesar 5.021.351 Nmm².

4.5.6 Kekakuan *Bending* Spesifik

Tabel 4. 9 Perbandingan Kekakuan *Bending* Spesifik

Perbandingan Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik GNS & GWS (Nmm ² /g)				
Orientasi	GWS	GNS	Selisih	Keterangan
30	212.881,62	91.116,29	121.765,32	Naik 2,34 kali
45	398.237,94	101.082,60	297.155,34	Naik 3,94 kali
60	238.009,45	111.015,56	126.993,88	Naik 2,14 kali



Gambar 4. 14 Grafik kekakuan *bending* spesifik

Gambar di atas menunjukkan grafik kekuatan *bending* spesifik untuk membandingkan dan mengetahui pengaruh orientasi *printing core* pada spesimen yang berbeda terhadap kekakuan *bending* yang terjadi. Berdasarkan data dari tabel 4. 9 dimana untuk *core gyroid* dengan orientasi *printing* 45° komposit *sandwich* adalah nilai tertinggi dengan nilai sebesar 398.237,94 Nmm²/g. Untuk spesimen tanpa komposit tertinggi didapatkan pada spesimen *core gyroid* dengan orientasi *printing* 60° dengan nilai sebesar 111.015,56 Nmm²/g. Hasil yang tidak linear ini disebabkan karena meskipun proses pemvakuman sama namun terdapat perbedaan dalam kualitas *skin carbonfiber* yang berbeda.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

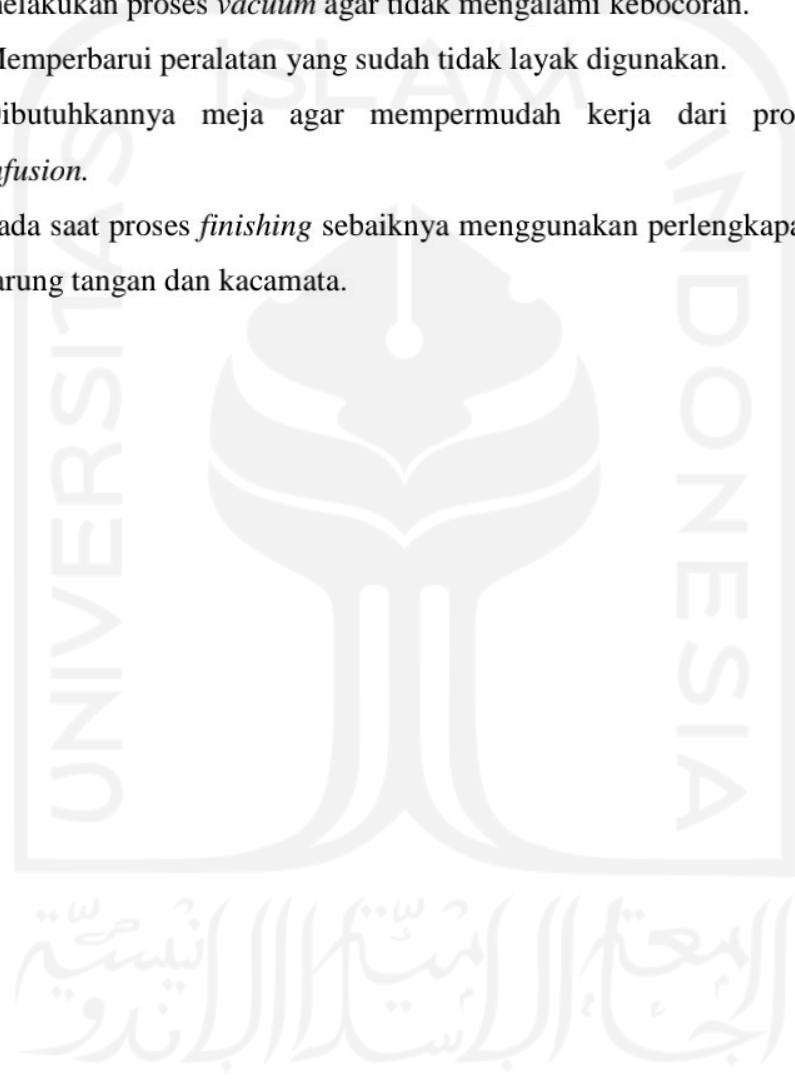
Dari penelitian yang telah dilakukan, hasil pengaruh orientasi *printing* dan jenis material *core* terhadap kekakuan *bending* komposit *sandwich carbonfiber* maka diketahui bahwa:

1. Proses *printing core gyroid* orientasi 45° menghasilkan berat spesimen yang paling ringan diantara orientasi 30° dan 60°, begitu juga setelah dilapisi dengan *skin carbonfiber*.
2. Analisis kegagalan *core* yang terjadi pada spesimen *nonskin* memiliki kesamaan dimana semua spesimen mengalami *core crush*. Sedangkan untuk spesimen yang dilapisi dengan *skin* juga memiliki kesamaan dimana semua spesimen mengalami *core crush* dan *face wrinkling*. Namun, untuk kegagalan *face yield* hanya terjadi pada spesimen GWS 30°/1, GWS 30°/2, GWS 30°/3, GWS 45°/1, dan GWS 60°/1.
3. Hasil analisis dan perhitungan beban *bending*, tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik pada spesimen yang menggunakan *skin* memiliki nilai lebih tinggi jika dibandingkan dengan tidak menggunakan *skin*. Untuk nilai dapat dilihat pada gambar grafik 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14.
4. Nilai kekakuan spesifik pada spesimen *nonskin* sebesar 91.116,29 Nmm²/g pada orientasi 30°, 101.082,60 Nmm²/g pada orientasi 45°, 111.015,56 Nmm²/g pada orientasi 60°, dimana nilai kekakuan spesifiknya tidak berbeda jauh antara jenis spesimennya. Namun untuk spesimen yang dilapisi dengan *skin*, nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi terdapat pada spesimen orientasi 45° sebesar 398.237,94 Nmm²/g, sedangkan pada orientasi 30° memiliki nilai sebesar 212.881,62 Nmm²/g dan pada orientasi 60° sebesar 238.009,45 Nmm²/g. Hal yang tidak linear seperti ini dapat disebabkan karena meskipun parameter pemvakuman yang digunakan sama namun dapat menghasilkan kualitas *skin carbonfiber* yang berbeda.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

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

1. Sebelum dilakukannya pencampuran dari resin epoksi dan *hardener* harus lebih teliti lagi dengan takaran yang sesuai dengan standar.
2. Jauhkan media *vacuum bag* dari benda-benda tajam di sekitar saat melakukan proses *vacuum* agar tidak mengalami kebocoran.
3. Memperbarui peralatan yang sudah tidak layak digunakan.
4. Dibutuhkannya meja agar mempermudah kerja dari proses *vacuum infusion*.
5. Pada saat proses *finishing* sebaiknya menggunakan perlengkapan K3 seperti sarung tangan dan kacamata.



DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C393-00, Standard Test Method for Flexural Properties of *Sandwich* Constructions. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United State.
- Adriansyah, Y. I. (2021). Analisis Uji *Bending* Komposit *Sandwich* Yang Digabungkan 3D *Printing*.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/30579>
- Ashfan Farahma. (2022). Pengaruh Ketebalan *Core* (3d *Print*) Dengan Bahan Pla (Polyactic-Acid) Terhadap Uji *Bending* Spesimen Komposit *Sandwich* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion*.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/37976>
- Beliu, H. N., Pell, Y. M., & Jasron, J. U. (2016). Analisa Kekuatan Tarik dan *Bending* pada Komposit Widuri-Polyester (No. 2). 3(2), 11–20.
<https://doi.org/10.1234/ljtmu.v3i2.471>
- 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. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1), Article 1.
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/13638>
- Marsono, M., Ali, A., & Luwis, N. (2019). Karakteristik Mekanik Panel *Honeycomb Sandwich* Berbahan Komposit *Fibreglass* dengan Dimensi *Cell-Pitch* 40mm dan *Cell-Height* 30mm. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 3(2), Article 2.
https://doi.org/10.26760/jrh.v3i2.3144_56
- Marsono, M., Anggraeni, N. D., & Faisal, F. A. (2021). Kaji Eksperimental Sifat Mekanik *Honeycomb Sandwich* Komposit Serat Karbon dengan Uji *Bending*. *METAL: Jurnal Sistem Mekanik Dan Termal*, 5(2), 114–125.
<https://doi.org/10.25077/metal.5.2.114-125.2021>
- Mutasiana, H. R. (2014). Pengaruh Variasi Ketebalan *Core* Terhadap Karakteristik *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Cantula Dengan *Core Honeycomb* Kardus Tipe A-Flute. *Jurnal Nosel*, 2(3), Article 3.
<https://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/ptm/article/view/8134>
- M.yani, Suroso, B., & Rajali, R. (2019). *Mechanical Properties* Komposit Limbah Plastik. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(1), 74–83.
<https://doi.org/10.30596/rmme.v2i1.3071>

- Nurul Lailatul, Nurtiasto, T. S., Pratomo, R. A., Nugroho, A., & Balqis, A. M. (2021). Studi Sifat Mekanik Komposit *Sandwich Divinycell Foam* dengan Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) untuk *Float* Pesawat Amfibi. *Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan (Senaster)*, 2(1), 1–9.
- Pratama, H. A. (2022). Pengaruh Ketebalan dan Jenis *3D Printed Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Skin* Serat Karbon. Yogyakarta: Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
- Prayoga, A. (2018). Pengaruh Ketebalan *Skin* Terhadap Kekuatan *Bending* dan Tarik Komposit *Sandwich* Dengan *Honeycomb Polypropylene* Sebagai *Core*. 18(1),6.
- Putra, A. S. W. K. (2022). Pengaruh Orientasi *Printing* (3D *Print*) dan Jenis Material *Core* Terhadap *Bending* Komposit *Sandwich Carbonfiber*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
- Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan Teknologi *3D Printing* Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. *Seminar Nasional Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi*, 917–922.
- Setiyawan, D., Respati, S. M. B., & Dzulfikar, M. (2020). Analisa Kekuatan Komposit *Sandwich* Karbon Fiber Dengan *Core Styrofoam* Ssebagai Material pada Model Pesawat Tanpa Awak (Uji Tarik & Uji *Bending*). *Majalah Ilmiah MOMENTUM*, 16(1), Article 1.
<https://doi.org/10.36499/jim.v16i1.3345>
- Utomo, W. B. & Drastiawati, N. S. (2021). Pengaruh Variasi Jenis *Core*, Temperatur Curing dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Karbon Dengan Metode *Vacuum Infusion*. 09, 10.

LAMPIRAN



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Pmax	Defleksi	Tegangan
		(mm)	(mm)	(KN)	(mm)	Bending (MPa)
1	GNS 30/1	10.57	50.74	0.58	14.24	24.55
2	GNS 30/2	10.47	51.38	0.54	12.25	23.01
3	GNS 30/3	10.62	51.17	0.56	15.01	23.29
4	GNS 45/1	10.52	50.28	0.62	14.08	26.74
5	GNS 45/2	10.58	50.30	0.60	14.67	25.58
6	GNS 45/3	10.65	50.34	0.57	13.38	23.96
7	GNS 60/1	10.57	50.62	0.54	13.29	22.92
8	GNS 60/2	10.67	50.39	0.57	15.44	23.85
9	GNS 60/3	10.47	50.39	0.69	9.91	29.98
10	GWS 30/1	11.02	50.58	1.30	7.28	50.79
11	GWS 30/2	10.42	50.72	1.28	11.54	55.78
12	GWS 30/3	11.40	50.85	1.06	7.28	38.50
13	GWS 45/1	10.99	51.00	1.38	7.23	53.77
14	GWS 45/2	11.32	50.89	1.62	4.33	59.62
15	GWS 45/3	11.20	51.03	1.10	6.37	41.24
16	GWS 60/1	11.45	50.79	1.20	7.20	43.25
17	GWS 60/2	11.08	51.08	1.02	8.37	39.04
18	GWS 60/3	11.40	50.65	1.46	7.96	53.23

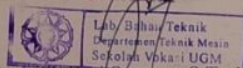
Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 15 Oktober 2022
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 15 Oktober 2022

Staf Laboratorium Bahan Teknik
Pengujian & Analisa

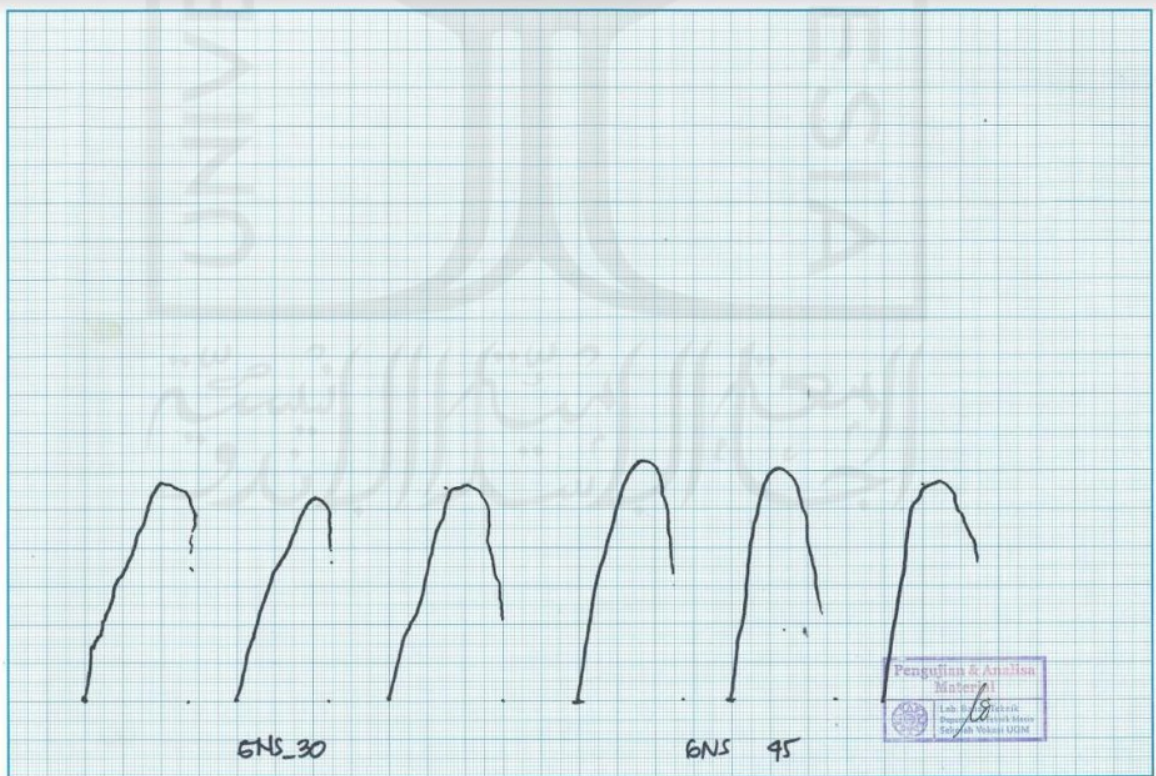
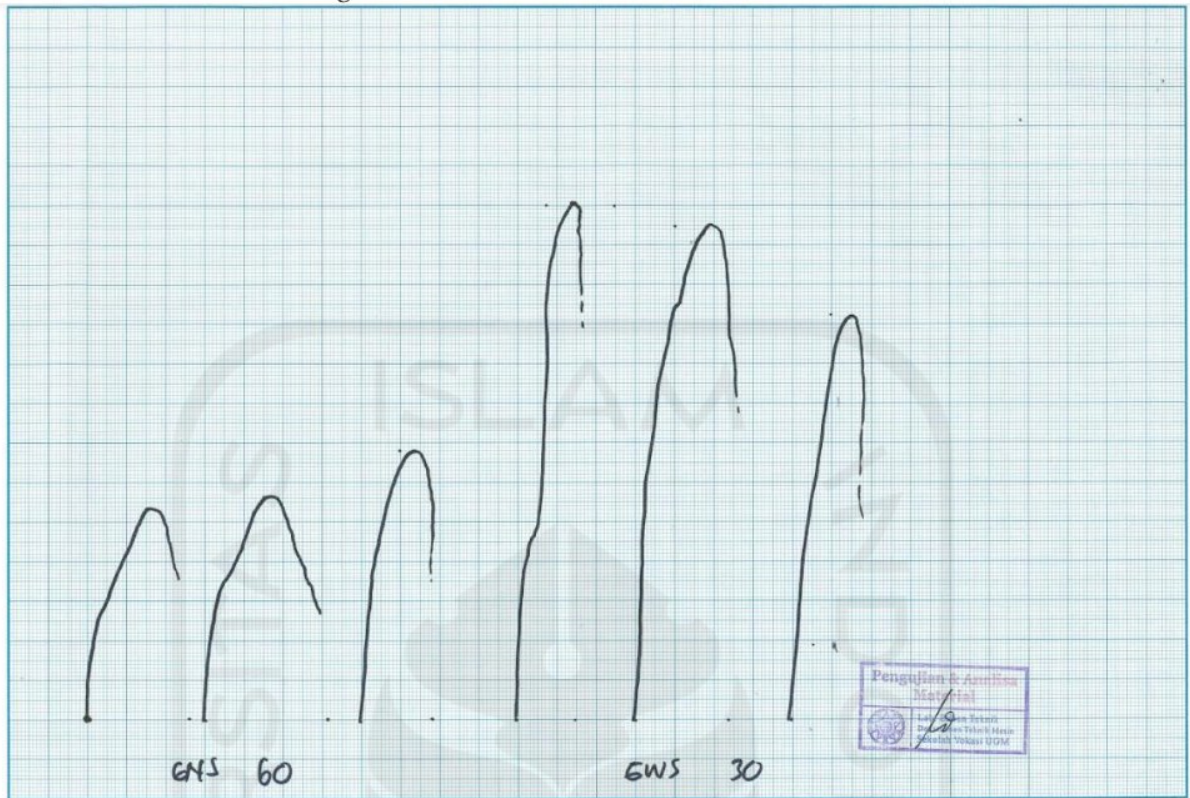


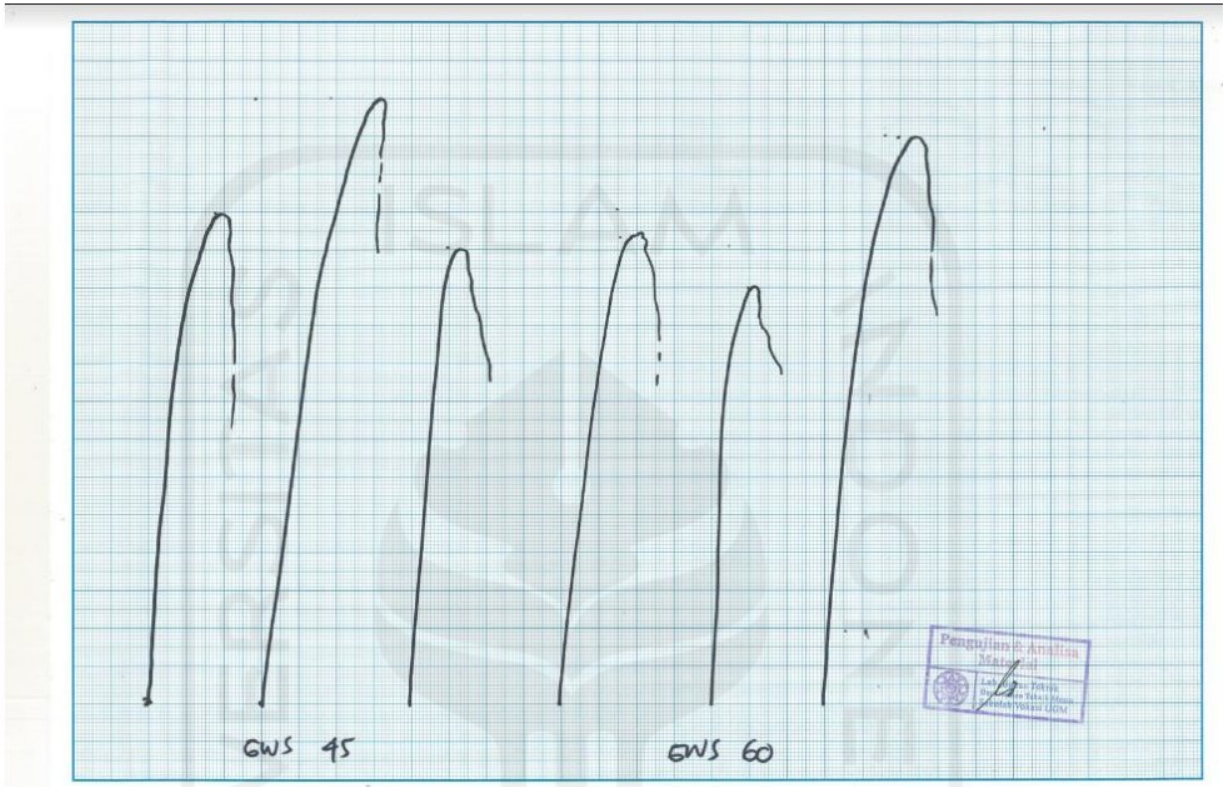
Dr. Liliik Dwi Seryama, S.T., M.T

NIP. 197703312002121002

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

Grafik Mesin Bending:





UNIVERSITY OF
SIA
الجمهورية الإسلامية الباندونيسية