

**PENGARUH PERLAKUAN PANAS CORE HASIL ADDITIVE
MANUFACTURING TERHADAP KEKAKUAN BENDING
KOMPOSIT SANDWICH**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Geofinda Desmanto
No. Mahasiswa : 18525057
NIRM : 1805300106

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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENGARUH PERLAKUAN PANAS *CORE* HASIL *ADDITIVE* *MANUFACTURING* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING* KOMPOSIT *SANDWICH*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

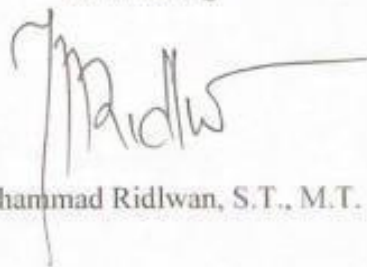
Nama : Geofinda Desmanto

No. Mahasiswa : 18525057

NIRM : 1805300106

Yogyakarta, 15 Mei 2023

Pembimbing



Ir. Muhammad Ridwan, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGARUH PERLAKUAN PANAS CORE HASIL PROSES ADDITIVE MANUFACTURING TERHADAP KEKAKUAN BENDING KOMPOSIT SANDWICH

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

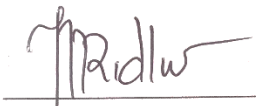
Nama : Geofinda Desmanto

No. Mahasiswa : 18525057

NIRM : 1805300106

Tim Penguji

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


Tanggal : 03/ 07/ 2023

Purtojo, S.T., M.Sc
Anggota I

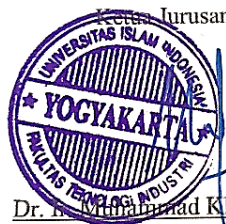

Tanggal : 26/ 06/ 2023

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


Tanggal : 03/ 07/ 2023

Mengetahui

Jurusan Teknik Mesin



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya bertanda tangan di bawah ini, Geofinda Desmanto selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “PENGARUH PERLAKUAN PANAS *CORE* HASIL *ADDITIVE MANUFACTURING* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING* KOMPOSIT *SANDWICH*” 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, 15 Mei 2023



Geofinda Desmanto
(18525057)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang sangat mendalam, Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan dan mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua Orang Tua saya yang saya cintai dan sangat saya sayangi (Bapak saya Edi Kusmanto dan Ibu saya Ruli Kendaryanti) dan yang saya sayangi kakak saya Fanidha Widya Puspitasari yang selalu mendukung, memberikan nasehat dan mendoakan saya dalam segala urusan.
2. Bapak pembimbing saya bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. yang selalu memberikan motivasi, saran, masukan, dan memberikan ilmu yang bermanfaat bagi saya. Dan dosen-dosen Teknik Mesin UII yang selalu membimbing, mendukung, dan membantu dalam memberikan ilmunya.

HALAMAN MOTTO

"Setiap orang memiliki proses yang berbeda-beda dalam menggapai kesuksesannya."

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

(QS Al-Baqarah 2:256)

“Sukses adalah menyukai diri sendiri, menyukai apa yang kita kerjakan, dan menyukai bagaimana kita melakukannya”

(Maya Angelou)

“Titik awal semua pencapaian adalah semangat”

(Napoleon Hill)

KATA PENGANTAR DAN UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur bagi Allah Rabb semesta alam Yang maha pengasih lagi Maha Penyayang, karena telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Perlakuan Panas *Core Hasil Additive Manufacturing Terhadap Kekakuan Bending Komposit Sandwich*”. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah hingga zaman yang penuh dengan ilmu seperti sekarang ini.

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

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak dorongan dan juga masukan dari berbagai banyak pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ungkapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT Rabb semesta alam, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Keluarga tercinta, Ayah Edi Kusmanto, Ibu Ruli Kendaryanti, kakak Fadigdha Bima Kustuma, Fanidha Widya Puspita Sari, Galuh Setiya Utama
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T. IPP., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin UII.
4. Bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan serta masukan agar penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan baik.
5. Bapak Ir. Donny Suryawan, S.T., M.Eng., IPP. Selaku dosen wali.
6. Seluruh staf pengajar, staf administratif, dan karyawan di Program Studi Teknik Mesin UII.
7. Rekan-rekan Teknik Mesin UII 2018 yang selalu menemani kegiatan perkuliahan di kampus maupun kegiatan diluar kampus.

8. Kepada saudara Faradina Aisyah yang sudah menemani saya dan memberikan dukungan sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
9. Semua pihak yang sudah membantu dan juga mendukung serta mendoakan penulis yang tidak bisa ditulis semua dalam kata pengantar atau ucapan terima kasih ini.

Penulis menyadari sepenuhnya Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran untuk kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini dimasa yang akan mendatang.

Akhir kata, semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua, Aamiin aamiin ya robbal ‘alamiin.

Yogyakarta, 15 Mei 2023

Geofinda Desmanto
(18525057)

ABSTRACT

Composite is a material composed of two or more materials with mechanical properties between different materials, produced through a mixing process. Essentially, a sandwich composite is a structure consisting of two parts: the top and bottom as the skins, and the middle part as the core. In this study, carbon fiber is used as the skin, with a PLA core bonded using epoxy resin through vacuum infusion method. The aim of this research is to investigate the effect of heat treatment on the 3D-printed core of a sandwich composite using microwave on bending stiffness. The core is produced using a 3D printing machine with PLA material and 20% infill, with a Gyroid fill pattern. Bending tests are conducted to determine the strength of each test specimen. The bending tests are carried out at the Material Engineering Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Universitas Gadjah Mada. Based on the bending tests conducted, it is found that the specimens without skin and without heat treatment have the highest value compared to the specimens with heat treatment. The highest bending stiffness value is obtained by the specimen without skin and without heat treatment, with a value of 4,962,244 Nmm^2 , while the lowest bending stiffness is observed in the 3-hour heat treatment, measuring 2,661,638 Nmm^2 . For the specimens with skin, the highest bending stiffness is 20,705,782 Nmm^2 , while the lowest stiffness occurs in the 3-hour heat treatment, measuring 9,926,471 Nmm^2 . The results of this study indicate that the heat treatment process on the sandwich composite core does not affect the increase in bending stiffness value.

Keywords: Composite Sandwich, Curing, Bending Test, Carbon Fiber, 3D Printing Core.

ABSTRAK

Komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik antara material yang berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran. Pada prinsipnya komposit sandwich merupakan struktur yang tersusun dari 2 bagian yaitu bagian atas serta bawah sebagai *skin* dan bagian tengah sebagai *core*. Pada penelitian ini menggunakan *carbonfiber (skin)*, dengan *core* PLA direkatkan menggunakan resin *epoxy* dengan metode *vacuum infusion*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas *core* 3D *printing* dengan komposit *sandwich* menggunakan *microwave* terhadap kekakuan bending. *Core* dibuat menggunakan mesin 3D *Print* dengan bahan PLA dengan infill 20% dan *fill pattern Gyroid*. Penelitian ini menggunakan pengujian *bending* untuk mengetahui kekuatan dari masing-masing spesimen uji. Pengujian *bending* dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Berdasarkan pengujian *bending* yang telah dilakukan menunjukkan bahwa spesimen menggunakan *skin* dan tidak menggunakan *skin* tanpa perlakuan panas memiliki nilai tertinggi jika dibandingkan dengan spesimen dengan perlakuan panas. Nilai kekakuan bending tertinggi pada spesimen tanpa dilapisi *skin* tanpa pemanasan dengan nilai 4.962.244 *Nmm*², sedangkan kekakuan *bending* terendah pada pemanasan 3 jam sebesar 2.661.638 *Nmm*². pada spesimen dengan dilapisi *skin*, kekakuan *bending* tertinggi sebesar 20.705.782 *Nmm*². Sedangkan kekakuan terendah terjadi pada pemanasan 3 jam sebesar 9.926.471 *Nmm*². Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses perlakuan panas terhadap *core* komposit *sandwich* tidak berpengaruh terhadap meningkatnya nilai kekakuan *bending*.

Kata kunci: Komposit *Sandwich*, *Curing*, Uji *Bending*, *Carbon Fiber*, 3D *Printing Core*.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR DAN UCAPAN TERIMA KASIH	vii
ABSTRACT.....	ix
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	2
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Dasar Teori.....	6
BAB 3 METODE PENELITIAN	14
3.1 Alur Penelitian	14
3.2 Peralatan dan Bahan.....	15
3.3 Dimensi Spesimen <i>Bending</i>	23
3.4 Susunan Lapisan Komposit <i>Sandwich</i>	25
3.5 Proses Pengerjaan	26
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Pengujian <i>Bending</i>	33

4.2	Hasil Pengujian	34
4.3	Analisis dan Perhitungan	37
4.4	Perhitungan	42
4.5	Pembahasan	43
BAB 5 PENUTUP		48
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya	49
DAFTAR PUSTAKA		50
LAMPIRAN		53

DAFTAR TABEL

Tabel 3- 1 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen Sebelum Dilakukan Proses <i>Vacuum Infusion</i>	24
Tabel 3- 2 Parameter Proses Pembuatan <i>Core</i>	26
Tabel 3- 3 Parameter Pretreatment	27
Tabel 3- 4 Parameter <i>Post Curing</i>	27
Tabel 4- 1 Data Hasil Pengujian <i>Bending</i>	35
Tabel 4- 2 Perbandingan Spesimen Setelah Proses <i>Vacuum Infusion</i>	36
Tabel 4- 3 Hasil Perhitungan <i>Bending</i> Spesimen	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Struktur Komposit <i>Sandwich</i>	6
Gambar 2-2 Serat Karbon.....	7
Gambar 2-3 Struktur <i>Gyroid</i>	8
Gambar 2-4 Mesin <i>3D Print</i>	9
Gambar 2-5 Metode <i>Vacuum Infusion</i>	9
Gambar 2-6 Proses <i>Curing</i>	10
Gambar 2-7 Pengujian <i>Bending</i>	11
Gambar 2-8 Jenis Kegagalan <i>Bending</i>	12
Gambar 3-1 Alur Penelitian.....	14
Gambar 3-2 <i>3D Printing</i>	15
Gambar 3-3 Filamen PLA	15
Gambar 3-4 Pompa <i>Vacuum</i>	16
Gambar 3-5 Tabung <i>Reservoir</i>	16
Gambar 3-6 Timbangan.....	17
Gambar 3-7 Katup Bensin	17
Gambar 3-8 <i>Vacuum Bag</i>	17
Gambar 3-9 <i>Infusion Mesh</i>	18
Gambar 3-10 <i>Peel Ply</i>	18
Gambar 3-11 Selang	18
Gambar 3-12 Selang Spiral.....	19
Gambar 3-13 <i>Sealant Tape</i>	19
Gambar 3-14 Serat Karbon.....	19
Gambar 3-15 Lem <i>Dextone</i>	20
Gambar 3-16 Resin <i>Epoxy</i>	20
Gambar 3-17 Hardener	20
Gambar 3-18 <i>Microwave</i>	21
Gambar 3-19 Jangka Sorong	21
Gambar 3-20 Gunting.....	21
Gambar 3-21 Gelas Plastik dan Stick	22
Gambar 3-22 <i>Thermogun</i>	22

Gambar 3-23 Sarung Tangan.....	22
Gambar 3-24 Dimensi Spesimen Uji <i>Bending Core 10 mm</i>	23
Gambar 3-25 Susunan Lapisan Komposit <i>Sandwich</i>	25
Gambar 3-26 Proses Pembuatan <i>Core PLA</i>	26
Gambar 3-27 Proses <i>Curing</i> (Pemanasan) <i>Core 3D Print</i>	27
Gambar 3-28 Susunan Komposit <i>Sandwich</i>	28
Gambar 3-29 Pemasangan Selang Spiral.....	28
Gambar 3-30 Pelapisan <i>Dextone</i>	29
Gambar 3-31 Memasukkan Bahan Kedalam <i>Vacuum Bag</i>	29
Gambar 3-32 Proses Pencampuran	30
Gambar 3-33 Proses <i>Vacuum Infusion</i>	30
Gambar 3-34 Spesimen <i>Post Curing</i>	31
Gambar 3-35 Spesimen Tanpa <i>Skin</i> Karbon.....	31
Gambar 3-36 Spesimen Menggunakan <i>Skin</i> Karbon.....	32
Gambar 4-1 Proses Pengujian <i>Three Point Bending</i>	33
Gambar 4-2 Hasil Pengujian Tanpa <i>Skin</i>	34
Gambar 4-3 Hasil Pengujian Dengan <i>Skin</i> Karbon	34
Gambar 4-4 Spesimen Komposit <i>Sandwich</i> Tanpa Pemanasan	37
Gambar 4-5 Spesimen Komposit <i>Sandwich</i> Pemanasan 1 Jam.....	38
Gambar 4-6 Spesimen Komposit <i>Sandwich</i> Pemanasan 2 Jam.....	39
Gambar 4-7 Spesimen Komposit <i>Sandwich</i> Pemanasan 3 Jam.....	39
Gambar 4-8 Spesimen Tanpa <i>Skin</i> Karbon Tanpa Pemanasan.....	40
Gambar 4-9 Spesimen Tanpa <i>Skin</i> Karbon Pemanasan 1 Jam	40
Gambar 4-10 Spesimen Tanpa <i>Skin</i> Karbon Pemanasan 2 Jam	41
Gambar 4-11 Spesimen Tanpa <i>Skin</i> Karbon Pemanasan 3 Jam	41
Gambar 4-12 Spesimen <i>Post Curing</i>	43
Gambar 4-13 Sketsa Spesimen Mengalami Deformasi.....	43
Gambar 4-14 Grafik Kekakuan <i>Bending</i>	44
Gambar 4-15 Grafik Kekakuan <i>Bending</i> Spesifik	45
Gambar 4-16 Grafik Tegangan <i>Bending</i> Maksimal	46
Gambar 4-17 Grafik Tegangan dan Defleksi	47

DAFTAR NOTASI

E	= Modulus Elastisitas Bending	(N/mm ²)
P	= Beban yang diberikan	(N)
L	= Jarak Point	(mm)
δ	= Defleksi	(mm)
I	= Momen Inersia	(kgm)
D	= Kekakuan Bending	(Nmm ²)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya zaman, teknologi mengalami kemajuan pesat dan memiliki pengaruh besar terhadap dunia industri manufaktur. Komposit adalah salah satu jenis material yang banyak digunakan sebagai bahan utama pembuatan badan mobil, motor, kapal laut, dan pesawat (Yeung & Kamineni, 2014). Komposit merupakan jenis material yang tersusun dari dua atau lebih material dengan sifat yang berbeda dari material penyusunnya (Prayoga, 2018).

Berdasarkan struktur, komposit *sandwich* adalah jenis material yang tersusun dari dua material yang memiliki sifat mekanik antar material berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran. Berdasarkan struktur komposit *sandwich* tersusun dari dua bagian yaitu pada bagian pelapis sebagai skin dan tengah sebagai *core*. Komposit *sandwich* memiliki banyak definisi, tetapi hal utama pada komposit *sandwich* adalah *core* yang ringan sehingga memperkecil massa jenis dari material tersebut serta kekuatan pada lapisan skin akan memberikan kekuatan pada komposit *sandwich* (Setiawan et al., 2020).

Fused Deposition Modeling (FDM) merupakan Teknologi 3D *print* yang paling banyak digunakan, yang menggunakan bahan filamen seperti *Polyethylene Terephthalate* (PET), *Polylactic Acid* (PLA), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dan sebagainya. Jenis filament yang bervariasi akan memberikan fleksibilitas pemilihan material dalam membuat produk 3D *Printing*. 3D *Printing* menghasilkan produk yang cepat, bentuk yang kompleks dan relative murah, sehingga para peneliti tertarik untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik pada produk 3D *Printing*.

Curing adalah proses pemanasan material komposit agar resin memiliki daya ikat yang tinggi pada serat, proses ini dilakukan diatas suhu ruangan (Utomo & Drastiawati, 2021). *Curing Time* adalah parameter penting dalam proses manufaktur komposit karena pemanasan terlalu cepat atau tidak sempurna mengakibatkan berkurangnya sifat ketahanan fatik, termal, kekuatan matriks dan sebagainya (M. I. Putra & Nugroho, 2021). Pada penelitian ini menggunakan

core dengan jenis *gyroid*, dengan menggunakan alat 3D *Print* sesuai dengan standar uji ASTM C393. Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui perubahan bentuk dan kekakuan pada *core* komposit *sandwich*. Maka dari itu perlu penelitian tentang pengaruh perlakuan panas *core* Hasil 3D *Print* dengan komposit *sandwich* menggunakan *infill gyroid* 20% untuk mengetahui pengaruhnya setelah dilakukan pengujian *bending*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh perlakuan panas *core* 3D *print* dengan komposit *sandwich* terhadap kekakuan *bending*?
2. Bagaimana analisis kegagalan yang terjadi pada spesimen setelah pengujian *bending*?

1.3 Batasan Masalah

1. Pengujian mekanik yang dilakukan dengan menggunakan standar ASTM C393.
2. Jenis material *core* yang diteliti adalah PLA dengan *skin* serat karbon menggunakan metode *vacuum infusion*.
3. Pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D print dengan infill 20% dan *fill pattern gyroid*.
4. Variasi *heat treatment*.
5. Lapisan *skin* menggunakan *carbon fiber*.
6. Resin yang digunakan Epoxy EPR 168 TDS.
7. Pengujian *bending* dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan penelitian ini sebagai berikut:

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas *core* 3D print dengan komposit *sandwich* terhadap kekakuan *bending*.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

1. Mengetahui sifat mekanik komposit *sandwich*.
2. Dapat menghemat biaya dan bahan pada produksi dari material yang lain.
3. Mengetahui bagaimana proses pembuatan komposit *sandwich* dengan menggunakan metode *vacuum infusion*.
4. Mengetahui pengaruh perlakuan panas *core 3D print* dengan komposit.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan penelitian atau perancangan, manfaat penelitian atau perancangan dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan kajian Pustaka mengenai dasar teori yang melandasi pembuatan skripsi.

BAB III Metode Penelitian

Pada bab ini berisikan diagram alir penelitian, alat dan bahan, prosedur penelitian, dan pengujian spesimen.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisikan analisa data, hasil pengujian *bending*, dan penampilan grafik.

BAB V Penutup

Pada bab ini berisikan tentang Kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka pertama yang mendasari Penelitian ini membahas pengaruh orientasi printing (3D *print*) dan jenis material *core* terhadap kekakuan *bending*. Pada penelitian tersebut menggunakan dua perbandingan *infill* yaitu *infill gyroid pattern*, dan *honeycomp pattern*. Hasil yang didapat pada penelitian tersebut adalah *infill honeycomp* memiliki tegangan *bending* yang paling tinggi dari pada *infill gyroid* saat dicetak miring. Dalam hal teknis, penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik komposit *sandwich* dengan pengaruh orientasi *printing* dan jenis material *core* setelah dilakukan proses pengujian *bending* (A. S. W. K. Putra, 2022).

Kajian Pustaka kedua yang mendasari penelitian ini membahas pengaruh variasi ketebalan dan jenis 3D *printed core* terhadap kekakuan *bending*. Pada penelitian tersebut menggunakan 2 jenis perbandingan material yaitu material ABS dan Nylon dengan menggunakan ASTM C393 untuk mengetahui pengaruh kekakuan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ketebalan mempengaruhi kekakuan *bending*. Nilai tertinggi kekakuan *bending* ABS komposit sebesar $8.441.850 \text{ Nmm}^2$ pada ketebalan *core* 10 mm dan nilai tertinggi kekakuan *bending* Nylon komposit sebesar $10.069.021 \text{ Nmm}^2$ pada ketebalan *core* 10 mm (Pratama, 2022)

Kajian Pustaka ketiga yang mendasari penelitian ini membahas tentang studi pengaruh jenis perekat dan variasi suhu *curing* terhadap kekakuan *bending* komposit *sandwich* menggunakan *core 3d printing*. Dalam hal analisa teknik, tujuannya untuk mengetahui pengaruh perekat dan pengaruh *curing* terhadap kekuatan *bending*. Penelitian tersebut menggunakan material ABS dengan 3 perbandingan perekat yaitu spray 3M, aibon, epoxy. Kemudian spesimen diberikan perlakuan post *curing* dengan 3 perbandingan suhu yaitu 27°C, 40°C, dan 60°C selama 60 menit. Pengujian tersebut menggunakan standar ASTM C393 dengan metode *three point bending*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan perekat dapat mempengaruhi tegangan *bending*, kekakuan

bending, kekakuan bending spesifik. Nilai Tertinggi tegangan *bending* setelah dilakukan *post curing* komposit sebesar 11,38 dengan suhu 40°C (Rahmani, 2022).

Kajian Pustaka keempat yang mendasari penelitian ini membahas tentang pengaruh orientasi 3D *print* dan jenis material *core* komposit *sandwich* terhadap kekakuan bending. Dalam hal analisa teknik, tujuannya untuk mengetahui pengaruh perlakuan proses *printing* terhadap kekakuan bending antara *core* (*gyroid*) dengan (*carbonfiber*) dengan variasi derajat *printing* 30°, 45°, dan 60°. Hasil dari penelitian ini 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. Pada Penelitian tersebut menggunakan metode *vacuum infusion* (Naufal, 2023).

Kajian Pustaka kelima yang mendasari penelitian ini membahas pengujian bending pada komposit *sandwich* dengan metode *hand layup* menggunakan 2 perbandingan *infill* yaitu *infill core* 10% dan *infill* 20%. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa komposit *sandwich* dengan *infill* 20% lebih baik dibanding dengan *infill* 10% (Adriansyah, 2021).

2.2 Dasar Teori

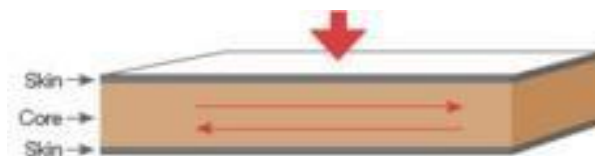
2.2.1 Komposit

Komposit adalah material gabungan dari dua atau lebih material yang terikat secara makroskopis. Komposit memiliki dua bagian terpenting sebagai penyusunnya. Yang pertama yaitu matrik sebagai pengikat contohnya yaitu resin *epoxy*, yang kedua yaitu *filler* berfungsi sebagai penguat berupa serat maupun partikel, contohnya *carbon fiber* dan *fiberglass*. Karakteristik dari komposit sendiri dipengaruhi oleh jenis *filler* yang digunakan contohnya yaitu serat karbon sebagai penguat yang dapat meningkatkan keuletan, kekuatan, kekakuan, dan kelenturan maupun sifat mekanik lainnya (Pramono et al., 2019)

Material komposit berpenguat serat memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan material komposit yang berpenguat partikel, komposit serat sendiri terdiri dari serat sebagai *filler* (penguat) dan umumnya menggunakan *polymer* (resin) sebagai matrik pengikatnya. Matrik juga berfungsi sebagai pengisi volume dan sebagai pelindung serat.

2.2.2 Komposit Sandwich

Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu bagian struktur lapisan dan bagian struktur *sandwich*. Pada prinsipnya komposit *sandwich* tersusun dari 2 bagian yaitu bagian pelapis sebagai *skin* dan bagian tengah sebagai *core*. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang lebih ringan tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang tinggi (A. Hidayat et al., 2016).



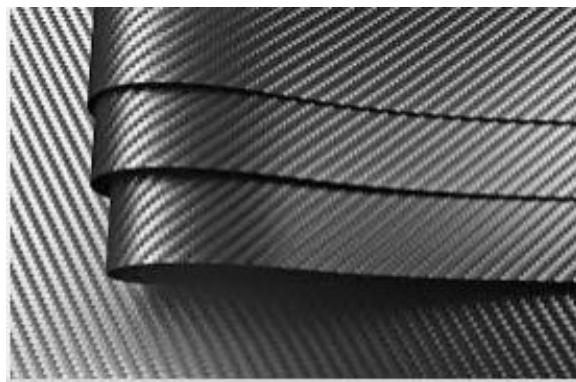
Gambar 2-1 Struktur Komposit Sandwich

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

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

2.2.2.1 Skin

Skin merupakan bagian terpenting dari komposit *sandwich* dimana *skin* terletak pada bagian yang melapisi *core*. *Skin* beberapa fungsi yaitu menahan *tensile* dan *compressive stress*. Biasanya *skin* memiliki tingkat kekuatan yang rendah. Jenis material yang dapat dijadikan bahan untuk pembuatan *skin* yaitu alumunium, baja, logam, *polymer* dan *stainless steel* (Nugroho, 2011).



Gambar 2-2 Serat Karbon

2.2.2.2 Core

Core merupakan bagian inti dari komposit *sandwich*, dimana pada bagian ini harus cukup kaku agar jarak antara permukaan terjaga. Dengan kekakuan *core* diharapkan mampu menahan geseran agar tidak terjadinya *slip* antar permukaan (Hidayat et al., 2016). Material dengan tingkat kekakuan yang rendah tidak cocok untuk di jadikan *core*, karena dapat menyebabkan kekuatan lapisan komposit *sandwich* berkurang.



Gambar 2-3 Struktur Gyroid

Berbagai jenis bentuk *core* telah banyak diterapkan pada struktur *sandwich*. Bentuk *core* yang paling banyak digunakan pada struktur *sandwich* yaitu struktur *gyroid* dan *hexagonal*. Dimana struktur *gyroid* merupakan struktur yang terinspirasi dari alam contohnya struktur pada tulang belakang burung dan sayap kupu-kupu yang memiliki keunggulan pada rasio kekakuan dengan berat yang sangat baik (Naufal, 2023) .

2.2.2.3 Matriks

Matriks diperlukan untuk menyatukan sebuah *skin* dan *core* pada komposit *sandwich*. *Matrik* adalah bahan pengikat antara *skin* dan *core*. Secara umum *matriks* sifat elastis dan kekakuan yang rendah dibandingkan dengan bahan penguat lainnya (A. Hidayat et al., 2016).

2.2.3 3D Print

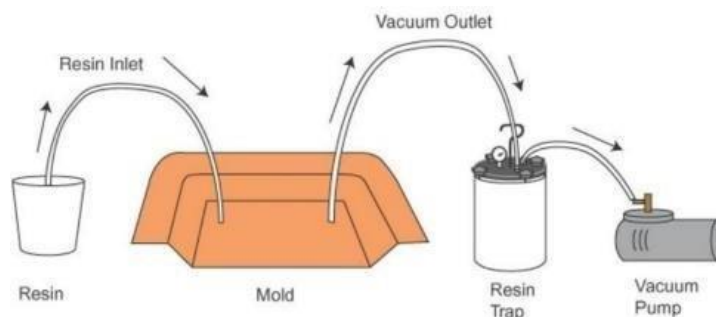
Additive Layer Manufacturing atau dikenal sebagai *3D Print* merupakan salah satu teknologi yang memiliki peran besar dalam proses pembuatan objek tiga dimensi. *3D print* dapat mencetak *modelling*, purwarupa/ permodelan, desain produk, mainan anak-anak, alat-alat penunjang kesehatan, dan model perhiasan. *3D pinter* menjadi salah satu tren teknologi informasi dan komunikasi masa kini. Hal ini dapat dilihat dari kebutuhan manusia yang semakin modern (K. S. Putra & Sari, 2018). Cara kerja mesin *3D printing* sama dengan cara kerja printer laser yaitu dengan dimulai dari sejumlah lapisan yang dicetak di atas lapisan lainnya.



Gambar 2-4 Mesin 3D Print

2.2.4 Vacuum Infusion

Vacuum Infusion merupakan salah satu metode untuk proses pembuatan material komposit dengan memanfaatkan kevakuman udara. *Vacuum Infusion* dapat disebut sebagai proses cetakan tertutup, karena cetakan tersebut akan ditutup dengan plastik *bag* yang kemudian di beri perekat (*Sealing-tape*) agar udara dalam cetakan tervakum, sehingga aliran resin akan masuk mengisi cetakan. Pada proses ini bertujuan untuk meminimalisir atau mengurangi adanya gelembung udara yang terperangkap, resin yang masuk secara berlebihan di dalam cetakan tersebut (S. Hidayat, 2020). Metode *vacuum infusion* bila dibandingkan dengan metode *hand lay-up* dan *vacuum bagging* memiliki penguatan konsentrasi yang lebih tinggi dan adhesi yang lebih baik antara lapisan.



Gambar 2- 5 Metode *Vacuum Infusion*

Metode *Vacuum Infusion* memiliki kelebihan dari proses pembuatannya yaitu tidak membutuhkan terlalu banyak tenaga manusia, dapat menambah kekuatan hasil komposit dan menghasilkan resin yang lebih merata pada proses pembuatan komposit. Selain itu Metode *Vacuum Infusion* juga memiliki

kekurangan yaitu dari segi biaya peralatan produksi yang cukup mahal (S. W. E. Utomo, 2020).

2.2.5 Proses *Curing*

Proses *Curing* merupakan proses pemanasan atau polimerisasi material komposit agar resin memiliki daya ikat yang tinggi pada serat yang dilakukan pada temperatur diatas temperatur kamar. Meningkatnya temperature *curing* menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan *curing* dan dapat memberikan ikatan silang (*cross-linking*) pada material komposit, tetapi kekuatan material komposit menurun (Utomo & Drastiawati, 2021).



Gambar 2-6 Proses *Curing*

Proses *Curing* dilakukan dengan memanaskan bahan benda uji pada temperature tertentu. Namun bila dipanaskan di atas Tg (*glass transition temperature*) material akan menjadi ulet dan saat temperature dinaikkan maka material akan meleleh dan mencair (Prastyadi, 2017).

2.2.6 Pengujian *Bending*

Uji lengkung (*Bending Test*) merupakan proses untuk mengukur kekuatan dan keuletan dalam menahan beban suatu material dimana pada prosesnya pemberian beban secara maksimal bertujuan untuk melihat perubahan bentuk (deformasi) dan hasil pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu material dan menentukan apakah material tersebut cocok untuk digunakan dalam aplikasi tertentu.

Besar kekuatan *bending* suatu materil dipengaruhi oleh jenis materialnya dan cara pembebanannya. Ketika suatu benda ditekan atau dilengkungkan, bagian atasnya akan mengalami tekanan sedangkan bagian bawahnya mengalami tegangan tarik. Untuk material komposit, kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya (Aprillio, 2022).



Gambar 2-7 Pengujian *Bending*

Hasil yang didapatkan dari pengujian *bending* biasana berupa data beban maksimal, defleksi (perpindahan relatif pada ujung spesimen yang di tekuk), dan tegangan *bending*. Data ini akan digunakan untuk melakukan perhitungan kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik, dengan rumus sebagai berikut:

- Tegangan Maksimal

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

- Kekakuan *Bending*

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

- Kekuatan *Bending* Spesifik

$$D. \text{Spesifik} = D/W \quad (2.3)$$

Keterangan:

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

P = Beban yang diberikan (N)

L = Jarak point (mm)

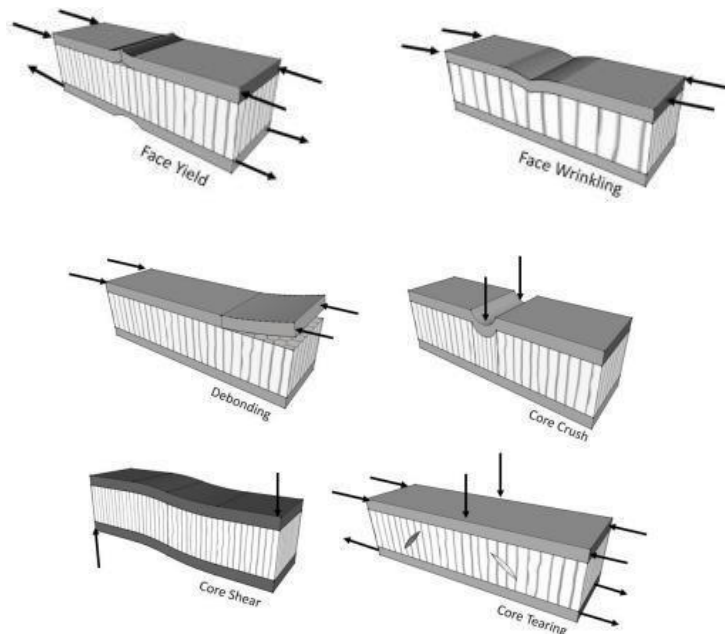
δ = Defleksi (mm)

I = Momen inersia (kgm)

D = Kekakuan *Bending* (Nmm^2)

2.2.7 Modus Kegagalan Pengujian *Bending* Komposit *Sandwich*

Dalam bentuk pengaplikasiannya pada bidang rekayasa, komposit *sandwich* mengalami berbagai macam beban mekanik, seperti misalnya beban tarik, tekan, lentur, geser, dan puntir. Tidak jarang material komposit mengalami beban yang berlebih, yang dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan pada material ini. Menurut (Petras, n.d) ada beberapa kegagalan yang terjadi pada komposit *sandwich*:



Gambar 2-8 Jenis Kegagalan *Bending*

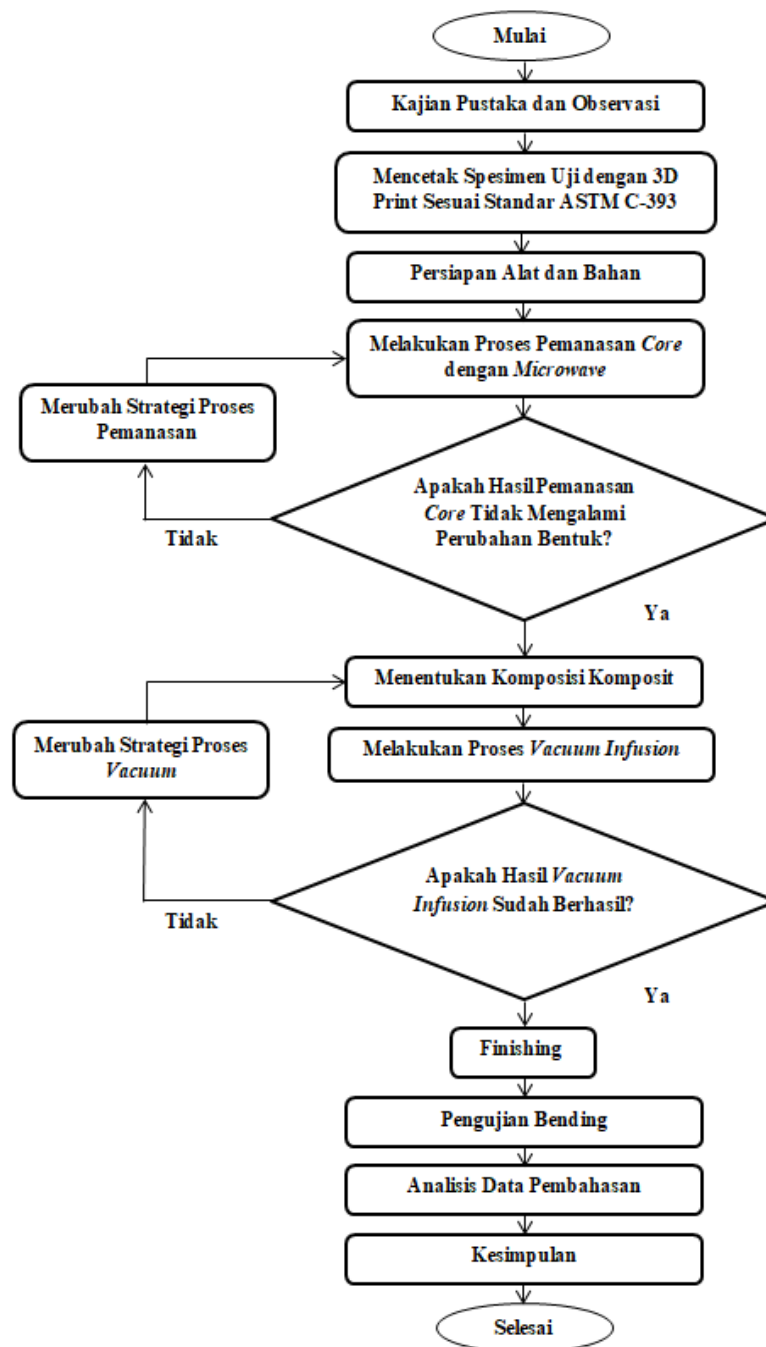
Pada kegagalan *skin* komposit *sandwich* yang pertama yaitu *face yield* terjadi ketika tegangan normal melebihi tegangan luluh material *skin*. Jika material *skin* bersifat getas, maka kegagalan *face yield* kemungkinan besar terjadi pada *skin* bagian atas karena lebih kritis terhadap tegangan tekan. Kegagalan *face wrinkling* merupakan fenomena *buckling* yang terjadi pada *skin* atas akibat tegangan tekan dan kurangnya *support* dari *core* karena dimensi struktur *core* yang terlalu besar (densitas rendah).

Pada kegagalan *core* terdapat 4 jenis kegagalan, dimana pada kegagalan *debonding* merupakan kegagalan yang terjadi pada lapisan *skin* yang terlepas dari bagian *core* spesimen. Kemudian *core crush* merupakan kegagalan yang terjadi karena adanya perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen. Untuk kegagalan *core shear* bentuk kegagalan yang terjadi adalah spesimen berubah bentuk akibat pembebanan yang diberikan. Sedangkan kegagalan *core tearing* merupakan bentuk kegagalan yang terjadi pecahnya atau terlepasnya bagian *core* spesimen akibat gaya gesek pada bagian tengah spesimen (Petras, n.d.).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3-1 Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

1. *3D Printing*

Pada gambar 3-2 dibawah ini merupakan mesin *3D Print* Eder CR-10S Pro yang berfungsi sebagai alat untuk membuat *core* dengan infill *Gyroid*.



Gambar 3-2 *3D Printing*

2. PLA

Pada gambar 3-3 dibawah ini merupakan filamen PLA (*Polylactid Acid*) yang berfungsi sebagai bahan untuk membuat *core* dengan infill *Gyroid*. Filamen PLA yang digunakan merupakan merk dari Sun dengan diameter 1,75 dan *printing* temperature 195°C – 220 °C.



Gambar 3-3 Filamen PLA

3. *Vacuum Pump*

Pada gambar 3-4 dibawah ini adalah *vacuum pump* yang bermerk Krisbow dengan tenaga sebesar ½ HP. Befungsi sebagai penghisap udara pada saat proses *vacuum infusion* dilakukan.



Gambar 3-4 Pompa Vacuum

4. Tabung Reservoir (*Catch Pot*)

Pada gambar 3-5 dibawah ini merupakan tabung *reservoir* (*catch pot*) memiliki 2 input yang berfungsi sebagai tempat menampung sisa dari resin saat resin mengisi cetakan yang sudah di vakumkan serta untuk mencegah sisa resin memasuki pompa yang bisa menyebabkan kerusakan pada pompa dan juga dapat membaca tekanan saat melakukan proses *vacuum*.



Gambar 3-5 Tabung Reservoir

5. Timbangan

Pada gambar 3-6 dibawah ini merupakan timbangan yang berfungsi untuk menakar campuran eposksi dan *hardener*. Dan juga diperlukan untuk menimbang berat spesimen sebelum dilapisi komposit dan sesudah dilapisi komposit.



Gambar 3-6 Timbangan

6. Katup Bensin

Pada gambar 3-7 dibawah ini merupakan katup bensin yang berfungsi sebagai pembuka dan penutup untuk saluran udara dari cetakan.



Gambar 3-7 Katup Bensin

7. *Vacuum Bag*

Pada gambar 3-8 dibawah ini merupakan *vacuum bag* yang berfungsi sebagai tempat diletakkannya spesimen komposit yang akan dilakukan proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-8 *Vacuum Bag*

8. *Infusion Mesh*

Pada gambar 3-9 dibawah ini merupakan *infusion mesh* yang berfungsi untuk mempercepat penyebaran percampuran aliran resin dan hardener agar segera memenuhi bagian dari spesimen.



Gambar 3-9 *Infusion Mesh*

9. *Peel Ply*

Pada gambar 3-10 dibawah ini merupakan *peel ply* yang berfungsi sebagai pembatas antara *Infusion Mesh* dengan serat karbon agar pada saat proses pelepasan spesimen dapat dilepas dengan mudah.



Gambar 3-10 *Peel Ply*

10. Selang

Pada gambar 3-11 dibawah ini merupakan selang yang berfungsi untuk mengalirkan resin dari wadah kedalam plastik *vacuum* dan sebagai saluran *vacuum* pada *vacuum pump* ke reservoir trap.



Gambar 3-11 Selang

11. Selang Spiral

Pada gambar 3-12 dibawah ini merupakan selang spiral yang berfungsi sebagai jalur resin agar menyebar memenuhi bagian yang harus terkena resin.



Gambar 3-12 Selang Spiral

12. Sealent Tape

Pada gambar 3-13 merupakan *sealent tape* yang berfungsi sebagai perekat plastik *vacuum* agar tidak terjadi kebocoran pada proses *vacuum infusion*. Cara kerjanya yaitu sama seperti *double tape*.



Gambar 3-13 Sealent Tape

13. Serat Karbon

Pada gambar 3-14 dibawah ini merupakan serat karbon kevlar *fiber fabric* 3k 2x2 200gsm plain & twill berfungsi sebagai *skin* pada penelitian ini.



Gambar 3-14 Serat Karbon

14. Lem Dextone

Pada gambar 3-15 dibawah ini merupakan lem dextone yang berfungsi sebagai perekat antara *core 3D printing* dan serat karbon. Tujuannya agar serat karbon lebih menempel pada *core*.



Gambar 3-15 Lem Dextone

15. Resin Epoxy

Pada gambar 3-16 dibawah ini merupakan resin *epoxy*. Resin *epoxy* adalah senyawa kimiawi yang dihasilkan dari proses polimerisasi epoksida. Berfungsi sebagai media perekat antara lapisan *skin* (serat karbon) dengan *core* (spesimen).



Gambar 3-16 Resin Epoxy

16. Hardener

Pada gambar 3-17 dibawah ini merupakan hardener berfungsi dapat membantu mempercepat proses pengerasan pada epoksi.



Gambar 3-17 Hardener

17. Microwave

Pada gambar 3-18 dibawah ini merupakan microwave yang berfungsi sebagai alat untuk memanaskan makanan. Pada penelitian ini digunakan untuk memanaskan *core* (spesimen).



Gambar 3-18 Microwave

18. Jangka Sorong

Pada gambar 3-19 dibawah ini merupakan jangka sorong yang berfungsi sebagai alat untuk mengukur ketebalan, lebar spesimen sebelum dilapisi *skin* dan setelah dilapisi *skin*.



Gambar 3-19 Jangka Sorong

19. Gunting

Pada gambar 3-20 dibawah ini merupakan gunting yang berfungsi untuk membuka spesimen setelah proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-20 Gunting

20. Gelas Plastik dan Stick Pengaduk

Pada gambar 3-21 dibawah ini merupakan gelas plastic dan stick pengaduk yang berfungsi untuk tempat mencampuran resin *epoxy* dengan hardener.



Gambar 3-21 Gelas Plastik dan Stick

21. *Thermogun*

Pada gambar 3-22 dibawah ini merupakan *thermogun* berfungsi untuk mengukur suhu.



Gambar 3-22 *Thermogun*

22. Sarung Tangan

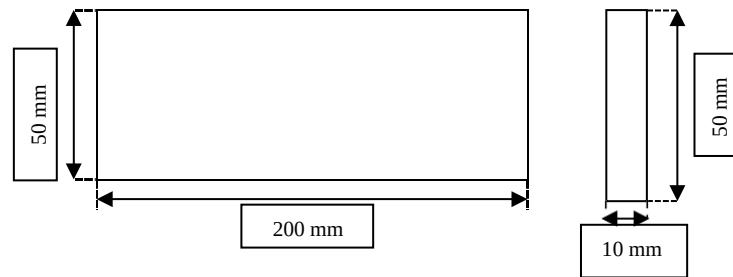
Pada gambar 3-23 dibawah ini merupakan sarung tangan yang berfungsi untuk mengambil spesimen yang sedang dipanaskan keluar dari microwave.



Gambar 3-23 Sarung Tangan

3.3 Dimensi Spesimen *Bending*

Penelitian ini menggunakan standar ASTM C393 pada spesimen komposit *sandwich*, dengan menggunakan bahan *core* PLA serta *infill* 20% dengan *fill pattern gyroid*.



Gambar 3-24 Dimensi Spesimen Uji *Bending Core 10 mm*

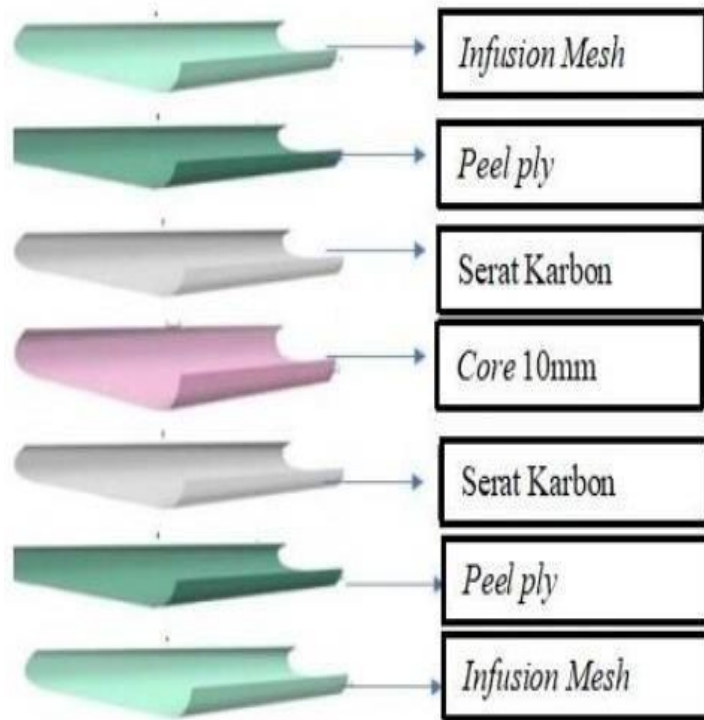
Pada gambar 3-24 diatas menunjukkan dimensi spesimen yang akan dibuat pada penelitian ini mengacuh pada standar ASTM C393. Pada penelitian ini dibuat *core* dari bahan PLA (*Poly lactid Acid*) dengan ketebalan 10mm, serta desain 3D print tanpa dilapisi komposit sebagai pembanding sebelum dilakukan *vacuum infusion* dan sesudah *vacuum infusion*.

Tabel 3-1 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen Sebelum Dilakukan Proses *Vacuum Infusion*

Kode Spesimen	Tebal	Lebar	Berat	Material Core	Material Skin
	(mm)	(mm)	(g)		
GRNS0_1	10,17	50,01	46	PLA	NO SKIN
GRNS0_2	9,99	50,29	44	PLA	
GRNS0_3	9,97	50,23	44	PLA	
GRNS1_1	9,93	49,51	46	PLA	
GRNS1_2	9,97	49,51	44	PLA	
GRNS1_3	10,11	49,46	44	PLA	
GRNS2_1	10,14	49,48	46	PLA	
GRNS2_2	10,15	49,39	46	PLA	
GRNS2_3	10,19	49,39	46	PLA	
GRNS3_1	10,07	49,26	46	PLA	
GRNS3_2	10,10	49,56	44	PLA	
GRNS3_3	10,05	49,47	44	PLA	
GRS1_1	9,93	49,51	46	PLA	SKIN
GRS1_2	9,97	49,51	44	PLA	
GRS1_3	10,11	49,46	44	PLA	
GRS2_1	10,14	49,48	46	PLA	
GRS2_2	10,15	49,39	44	PLA	
GRS2_3	10,19	49,39	44	PLA	
GRS3_1	10,07	49,26	46	PLA	
GRS3_2	10,10	49,56	46	PLA	
GRS3_3	10,05	49,47	46	PLA	

Pada tabel 3-1 diatas menunjukkan perhitungan dimensi awal spesimen sebelum dilakukan proses *vacuum infusion*. Dapat dilihat pada spesimen GRNS1 yaitu *core gyroid* dengan waktu pemanasan 1 jam memiliki tebal 9,93 mm, lebar 49,51 mm dan berat 46 gr sebelum spesimen dilakukan proses komposit *sandwich*. Pada tiap variasi waktu pemanasan dibuat sebanyak 3 spesimen, maka jumlah spesimen yang dibuat adalah 21 spesimen.

3.4 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

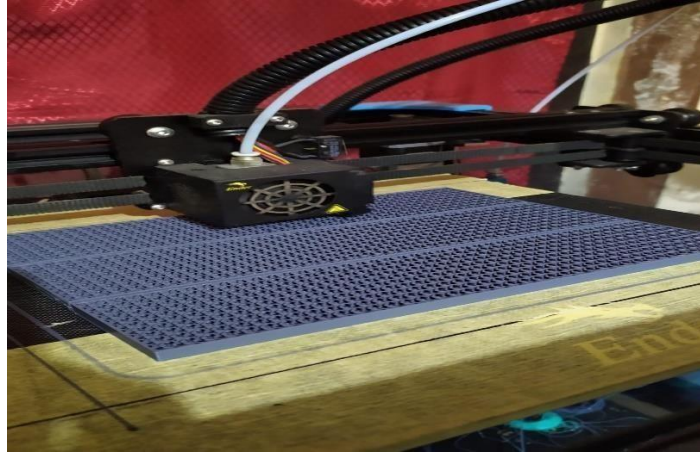


Gambar 3-25 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

Pada gambar 3-25 diatas menunjukkan susuan 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 Print



Gambar 3-26 Proses Pembuatan Core PLA

Pada gambar 3-26 diatas menunjukkan proses pembuatan Core PLA yang dimensinya mengikuti standar ASTM C393 dengan menggunakan mesin 3D Print.

Tabel 3-2 Parameter Proses Pembuatan Core

Kode	Infill (%)	Suhu Bed (°C)	Suhu Nozzle (°C)	Speed (%)
PLA	20	50	220	100

Pada tabel 3-2 diatas menunjukkan parameter prose pengeprintan spesimen uji yag dibuat dengan menggunakan bahan PLA (*Poly lactid Acid*), dengan infill 20%, suhu bed 50 °C, suhu nozzle 220 °C, speed 100%, dengan menggunakan *gyroid* sebagai *fill patternnya*.

3.5.2 Proses Curing (pemanasan) Core 3D Print

1. Menyiapkan spesimen yang akan dilakukan pemanasan dengan *curing*.
2. Melakukan pemanasan dengan menggunakan *microwave* dan mengukur suhu 60°C serta variasi waktu.

3. Setelah hampir 10 menit *microwave* dipanaskan dilakukan pengukuran suhu menggunakan *thermogun* untuk mencari suhu optimal yang diinginkan yaitu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ dan 70°C .
4. Memasukan spesimen yang akan diuji tanpa *skin* komposit kedalam oven selama 60 menit.



Gambar 3-27 Proses *Curing* (Pemanasan) *Core 3D Print*

5. Mengeluarkan spesimen setelah dilakukan *curing* untuk dilakukan pendinginan dengan suhu ruangan.
6. Mengulangi langkah no 2 sampai 5 sebanyak lima kali untuk variasi *curing* spesimen 120 menit, 180 menit tanpa *skin* dan 60 menit, 120 menit dan 180 menit yang akan dilakukan *skin* komposit *carbon fiber*.
7. Membersihkan dan merapihkan alat dan bahan yang telah di gunakan dalam proses *curing*.

Tabel 3-3 Parameter *Pretreatment*

Variasi Waktu	Suhu $^{\circ}\text{C}$
60 menit	60
120 menit	
180 menit	

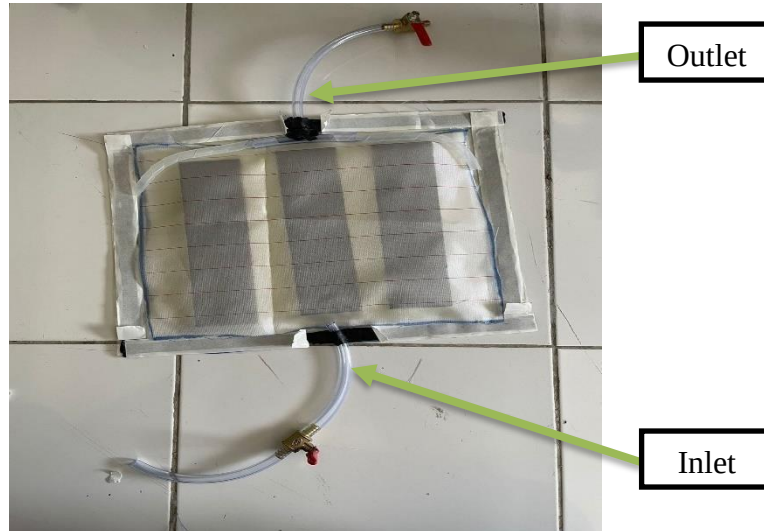
Tabel 3-4 Parameter *Post Curing*

Variasi Waktu	Suhu $^{\circ}\text{C}$
60 menit	60°C
	70°C

Pada tabel 3-3 menunjukkan parameter pretreatment *core 3D print* dengan variasi waktu 60 menit, 120 menit, dan 180 menit serta ketetapan suhu 60°C . Dan pada tabel 3-4 menunjukkan parameter post curing dengan variasi suhu sebesar 60°C dan 70°C serta ketetapan waktu 60 menit.

3.5.3 Proses Vacuum Infusion

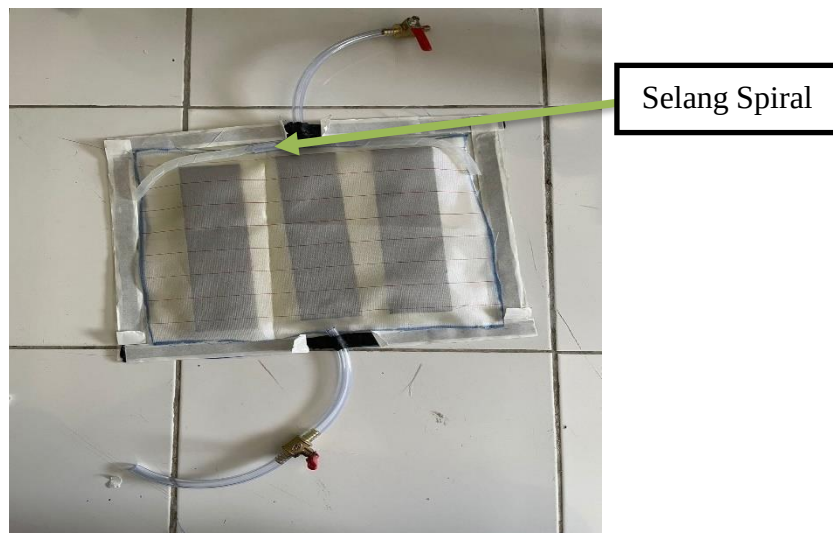
1. Menyusun serat karbon, *infusion mesh*, *butyl tape*, dan *peel ply*



Gambar 3-28 Susunan Komposit *Sandwich*

Pada gambar 3-28 diatas menunjukkan susuan komposit *sandwich* sesuai dengan gambar 3-25 dengan menggunakan satu lapisan serat karbon dibagian atas dan bawah.

2. Pemasangan Selang Spiral



Gambar 3-29 Pemasangan Selang Spiral

Pemasangan selang spiral berbentuk huruf U bertujuan untuk pada saat proses pemvakuman resin dapat menyebar ke semua media yang akan dilapisi komposit *sandwich*.

3. Pelapisan *Dextone*



Gambar 3-30 Pelapisan *Dextone*

Pada proses ini dilakukan sebelum semua bahan dimasukkan kedalam *vacuum bag*, proses ini bertujuan untuk mencegah agar *core* dan serat karbon menempel lebih kuat. Takaran dari dextone yang digunakan pada penelitian ini adalah 12:0,1 dimana 12gram epoksi dextone dan 0,1gram *hardener* dextone.

4. Menyusun Bahan Kedalam Plastik *Vacuum*



Gambar 3-31 Memasukkan Bahan Kedalam *Vacuum Bag*

Pada proses ini seluruh bahan yang akan digunakan untuk proses pemvakuman kedalam plastic *vacuum* tersusun sesuai dengan urutan pada gambar 3- 25.

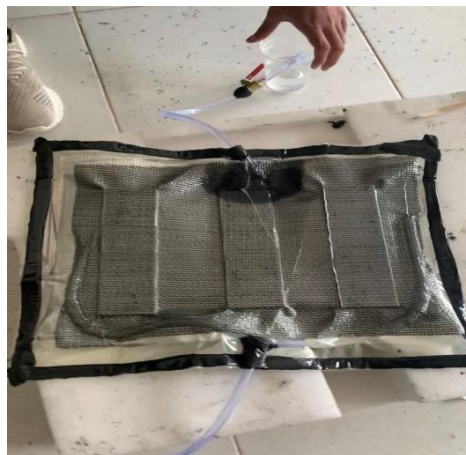
5. Proses Pencampuran Epoksi dan *Hardener*



Gambar 3-32 Proses Pencampuran

Pada gambar 3-32 menunjukkan proses pencampuran resin epoksi dan *hardener* dengan perbandingan 100:30

6. Proses *Vacuum Infusion*



Gambar 3-33 Proses *Vacuum Infusion*

Pada gambar 3-33 dapat dilihat bahwa pada proses *vacuum infusion* menggunakan satu *inlet* dan satu *outlet*.

3.4.1 Hasil Proses Pengerjaan

Hasil dari proses pembuatan spesimen dengan 3D *Printing* dan hasil dari proses *Vacuum Infusion* adalah sebagai berikut:

- Proses *Post Curing*

1. Spesimen *Post Curing*

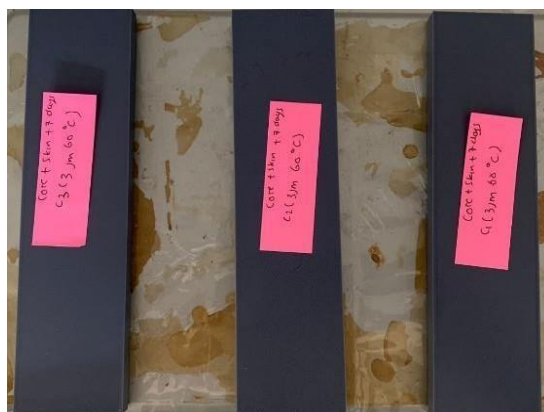


Gambar 3-34 Spesimen *Post Curing*

Pada gambar 3-34 diatas menunjukkan spesimen dengan perlakuan panas proses *post curing* dan proses *vacuum infusion*.

- Proses *Pretreatment*

1. Spesimen Tanpa dilapisi *Skin*



Gambar 3-35 Spesimen Tanpa *Skin* Karbon

Pada gambar 3-35 diatas menunjukkan spesimen uji tanpa *Skin* karbon. Spesimen yang hanya berupa hasil dari 3D *printing* tanpa dilapisi komposit karbon.

2. Spesimen Dengan *Skin* Karbon



Gambar 3-36 Spesimen Menggunakan *Skin* Karbon

Pada gambar 3-36 diatas menunjukkan gambar spesimen uji yang telah dilakukan proses *vacuum infusion* dan telah dilakukan proses pemotongan pada tiap spesimen. Untuk keterangan gambar 3- 36 dengan kode (GRS+ waktu pemanasan_ nomor spesimen).

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Bending

Pengujian spesimen yang dilakukan adalah pengujian *bending*, yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekakuan maksimal dari kekakuan maksimal dari 12 spesimen yang tidak dilapisi *skin* dan 10 spesimen yang dilapisi *skin*. Pengujian *bending* ini merujuk pada standar ASTM C393 yang dilakukan di Lab Bahan Teknik UGM. Pada gambar 4-1 menunjukkan proses pengujian *three point bending*.



Gambar 4-1 Proses Pengujian *Three Point Bending*

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

1. Siapkan spesimen yang akan di uji dengan kestandaran ASTM C393 yang sudah dirapihkan sesuai variasi nya masing-masing.
2. Letakan spesimen uji yang sudah dibuat pada alat uji *bending* dengan jarak antar titik tumpuan 100 mm dengan panjang 200 mm.
3. Mesin uji *bending* akan memberikan beban maksimal secara perlahan hingga spesimen mengalami patah.
4. Hasil pengujian akan otomatis tercatat pada kertas yang sudah disediakan oleh penguji di panel mesin uji.

4.2 Hasil Pengujian

Dari proses pengujian *three point bending* pada spesimen uji yang dilakukan pada Laboratorium Bahan Teknik UGM mendapatkan Hasil Seperti pada gambar 4-2 dan gambar 4-3 di bawah ini.



Gambar 4-2 Hasil Pengujian Tanpa *Skin*



Gambar 4-3 Hasil Pengujian Dengan *Skin* Karbon

Pada gambar 4-2 dan gambar 4-3 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)	Teg. Bending (MPa)
1	GRNS0_1	10,17	50,01	0,98	5,01	28,42
2	GRNS0_2	9,99	50,29	0,78	5,88	23,31
3	GRNS0_3	9,97	50,23	0,77	5,47	23,13
4	GRNS1_1	9,93	49,51	0,96	6,53	29,50
5	GRNS1_2	9,97	49,51	0,87	5,50	26,52
6	GRNS1_3	10,11	49,46	0,79	6,48	23,44
7	GRNS2_1	10,14	49,48	0,98	8,24	28,89
8	GRNS2_2	10,15	49,39	0,96	8,14	28,30
9	GRNS2_3	10,19	49,39	0,97	7,48	28,37
10	GRNS3_1	10,07	49,26	0,83	6,64	24,92
11	GRNS3_2	10,10	49,56	0,75	6,21	22,25
12	GRNS3_3	10,05	49,47	0,79	6,58	23,72
13	GRS0	10,56	51,38	1,67	5,75	43,72
14	GRS1_1	10,99	50,16	1,10	5,96	27,24
15	GRS1_2	11,01	50,13	1,18	10,68	29,13
16	GRS1_3	11,06	50,26	1,18	9,18	28,79
17	GRS2_1	11,27	50,11	1,26	7,98	29,70
18	GRS2_2	10,96	50,08	1,28	13,26	31,92
19	GRS2_3	11,21	50,31	1,32	13,24	31,32
20	GRS3_1	11,52	50,51	1,38	11,97	30,88
21	GRS3_2	11,19	50,42	1,34	12,07	31,84
22	GRS3_3	11,31	50,37	1,40	8,73	32,59

Pada tabel 4-1 menunjukkan hasil data yang didapatkan setelah melakukan proses pengujian *bending*. Dapat dilihat bahwa beban maksimal tertinggi yang diterima oleh spesimen pada kode GRS3_3 yaitu *gyroid* dengan proses pemanasan selama 3 jam menggunakan proses komposit *sandwich* dengan nilai 1,40 KN, Untuk defleksi tertinggi didapatkan pada spesimen GRS2_2 yaitu *gyroid* dengan proses pemanasan 2 jam menggunakan komposit *sandwich* dengan nilai 13,26 mm dan untuk tegangan *bending* tertinggi didapatkan pada spesimen GRS3_3 dengan nilai sebesar 32,59 MPa.

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

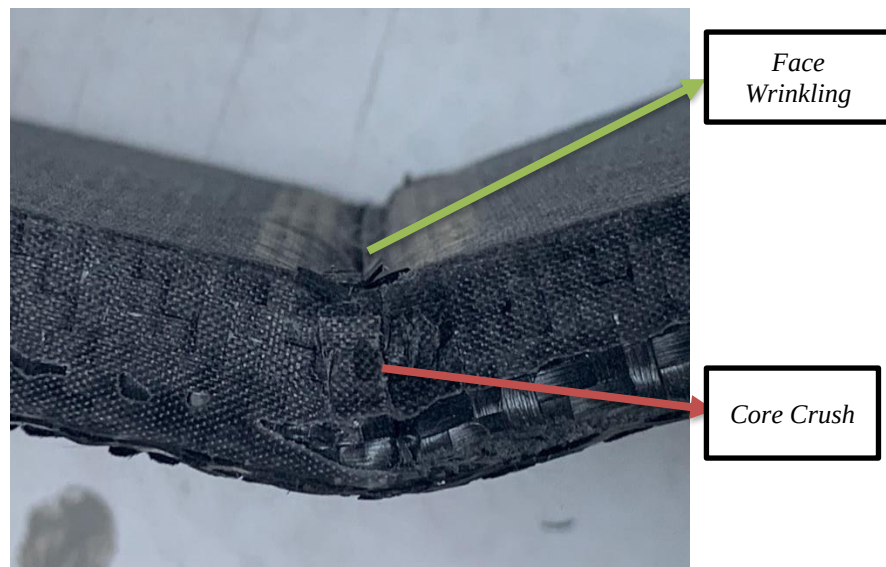
No.	Variasi Spesimen	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Lebar Awal (mm)	Lebar Akhir (mm)	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)
1	GRNS0_1	10,17	10,17	50,01	50,01	46	46
2	GRNS0_2	9,99	9,99	50,29	50,29	44	44
3	GRNS0_3	9,97	9,97	50,23	50,23	44	44
4	GRNS1_1	9,93	9,93	49,51	49,51	46	46
5	GRNS1_2	9,97	9,97	49,51	49,51	44	44
6	GRNS1_3	10,11	10,11	49,46	49,46	44	44
7	GRNS2_1	10,14	10,14	49,48	49,48	46	46
8	GRNS2_2	10,15	10,15	49,39	49,39	46	46
9	GRNS2_3	10,19	10,19	49,39	49,39	46	46
10	GRNS3_1	10,07	10,07	49,26	49,26	46	46
11	GRNS3_2	10,10	10,10	49,56	49,56	44	44
12	GRNS3_3	10,05	10,05	49,47	49,47	44	44
13	GRS0	10,00	10,56	49,8	51,38	44	53,1
14	GRS1_1	9,93	10,99	49,51	50,16	46	56,93
15	GRS1_2	9,97	11,01	49,51	50,13	44	56,74
16	GRS1_3	10,11	11,06	49,46	50,26	44	60,66
17	GRS2_1	10,14	11,27	49,48	50,11	46	58,51
18	GRS2_2	10,15	10,96	49,39	50,08	46	57,97
19	GRS2_3	10,19	11,21	49,39	50,31	46	58,79
20	GRS3_1	10,07	11,52	49,26	50,51	46	62,38
21	GRS3_2	10,10	11,19	49,56	50,42	44	60,38
22	GRS3_3	10,05	11,31	49,47	50,37	44	60,46

Pada tabel 4-2 diatas menunjukkan perubahan dimensi dan juga berat spesimen sebelum dan sesudah dilapisi komposit *sandwich* dengan menggunakan metode *vacuum infusion*. Dapat dilihat spesimen GRS2_1 yaitu *core* yaitu *core gyroid* dengan proses pemanasan 2 jam tebal awal sebelum dilapisi komposit sebesar 10,14 mm setelah dilapisi komposit dengan proses *vacuum infusion* menjadi 11,27 mm, untuk lebar awal sebelum dilapisi komposit sebesar 49,48 mm setelah dilapisi komposit sebesar 50,11 mm dan berat awal sebesar 46 g menjadi 58,61 g.

4.3 Analisis dan Perhitungan

Kegagalan komposit *sandwich* merupakan kerusakan yang terjadi pada saat komposit *sandwich* diberikan beban yang melampaui batasan kekuatannya. Berdasarkan hasil pengujian dari 10 spesimen yang diuji, pada umumnya spesimen mengalami kegagalan *face wrinkling* yang dimana kegagalan ini terjadi pada *skin* komposit *sandwich* yang relative tipis terhadap tebal *core*. Kegagalan ini dapat mengakibatkan penurunan kekuatan *bending* secara drastis.

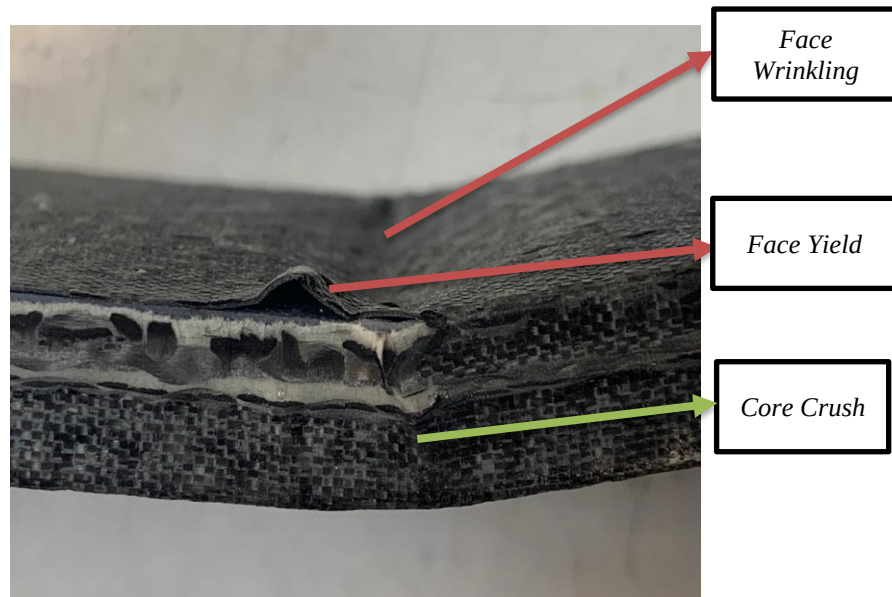
4.3.1 Analisis Modus Kegagalan Core Tanpa Pemanasan



Gambar 4-4 Spesimen Komposit *Sandwich* Tanpa Pemanasan

Pada gambar 4-4 diatas dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit *sandwich* dengan *core* tanpa pemanasan mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen GRS0 mengalami kegagalan *face wrinkling* yang diikuti dengan kegagalan *core crush* yang dimana pada *core* terjadi retakan tetapi tidak sampai patah atau terbelah. Pada kegagalan *face wrinkling* yaitu fenomena *buckling* yang terjadi pada *skin* atas akibat tegangan tekan dan kurangnya *support* dari *core* dan *skin* bagian samping sudah putus menyebabkan penurunan kekuatan *bending*.

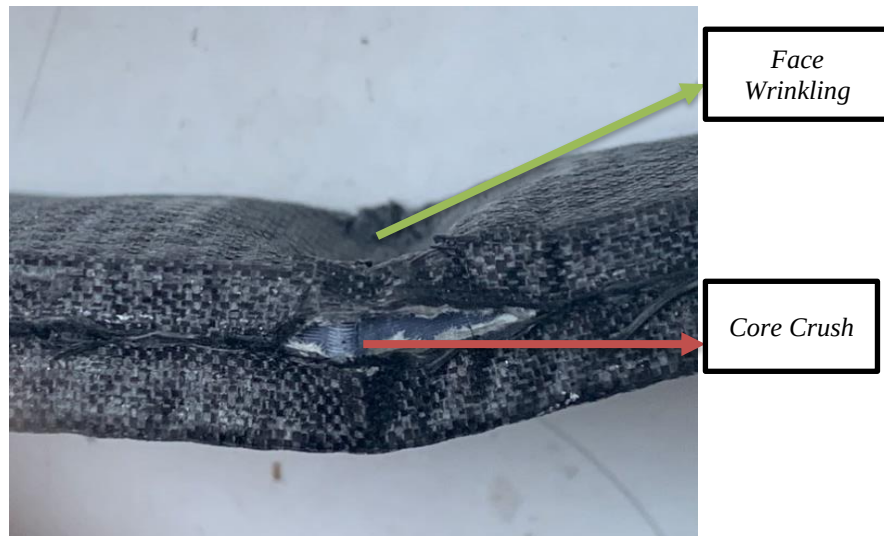
4.3.2 Analisis Modus Kegagalan Core Pemanasan 1 Jam



Gambar 4-5 Spesimen Komposit *Sandwich* Pemanasan 1 Jam

Pada gambar 4-5 diatas dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit *sandwich* dengan *core* pemanasan 1 jam mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen GRS1_1 yaitu *core gyroid* dengan pemanasan 1 jam mengalami kegagalan *face wrinkling* dan *core crush*, dimana kegagalan *face wrinkling* merupakan fenomena *buckling* yang terjadi pada *skin* atas akibat tegangan tekan dan kurangnya *support* dari *core* dimensi struktur *core* yang terlalu besar dan kegagalan selanjutnya *core crush* yaitu *core* sudah patah akan tetapi belum sampai terbelah.

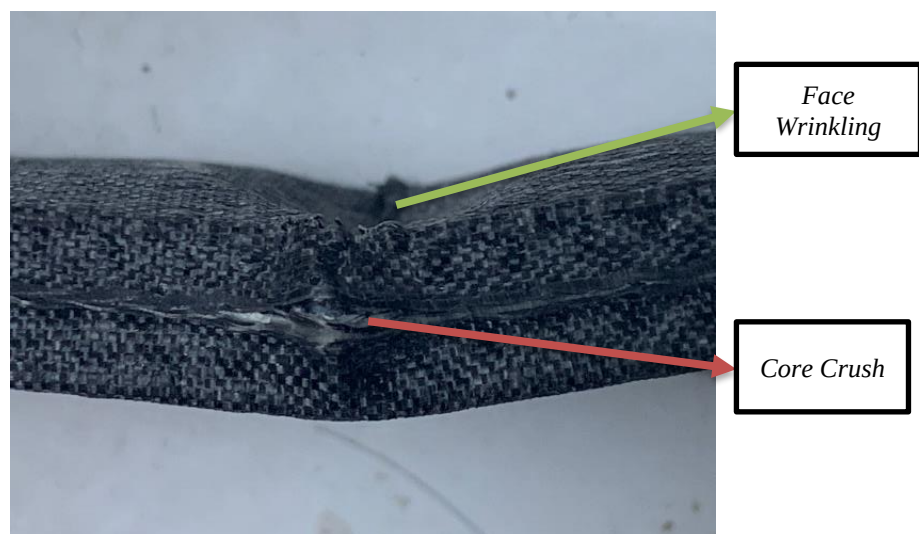
4.3.3 Analisis Modus Kegagalan Core Pemanasan 2 Jam



Gambar 4-6 Spesimen Komposit *Sandwich* Pemanasan 2 Jam

Pada gambar 4-6 diatas dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit *sandwich* dengan *core* pemanasan 2 jam mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen GRS2 mengalami kegagalan *face wrinkling* yang diikuti dengan kegagalan *core crush* yang dimana pada *core* terjadi retakan tetapi tidak sampai patah atau terbelah. Pada kegagalan *face wrinkling* yaitu fenomena *buckling* yang terjadi pada *skin* atas akibat tegangan tekan dan kurangnya *support* dari *core* dan *skin* bagian samping sudah putus menyebabkan penurunan kekuatan *bending*.

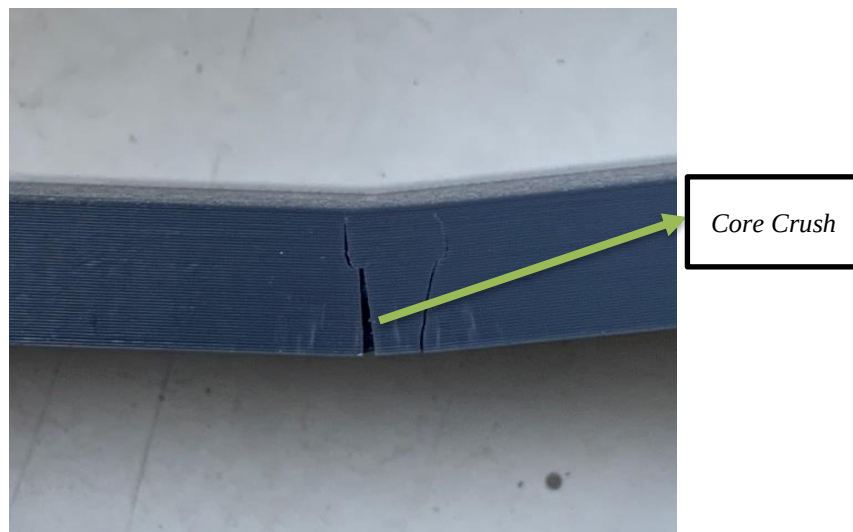
4.3.4 Analisis Modus Kegagalan Core Pemanasan 3 Jam



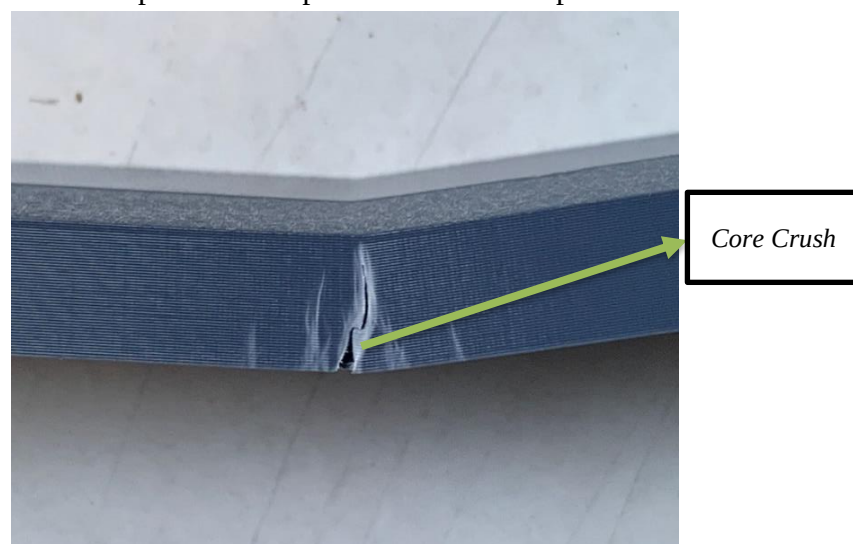
Gambar 4-7 Spesimen Komposit *Sandwich* Pemanasan 3 Jam

Pada gambar 4-7 diatas dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit *sandwich* dengan *core* pemanasan 3 jam mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen GRS3 yaitu *core gyroid* dengan pemanasan 3 jam mengalami kegagalan *face wrinkling* yang diikuti dengan kegagalan *core crush* yang dimana pada *core* terjadi retakan tetapi tidak sampai patah. Kemudian kegagalan *face wrinkling* kurangnya *support* dari *core*. *Skin* bagian samping sudah putus menyebabkan penurunan kekuatan *bending*.

4.3.5 Analisis Modus Kegagalan Core Gyroid Tanpa Skin Tanpa Pemanasan



Gambar 4-8 Spesimen Tanpa Skin Karbon Tanpa Pemanasan



Gambar 4-9 Spesimen Tanpa Skin Karbon Pemanasan 1 Jam



Gambar 4-10 Spesimen Tanpa *Skin* Karbon Pemanasan 2 Jam



Gambar 4-11 Spesimen Tanpa *Skin* Karbon Pemanasan 3 Jam

Pada gambar 4-8, 4-9, 4-10, 4-11 diatas dapat dilihat diatas dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen tanpa komposit mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen GRNS0, GRNS1, GRNS2, GRNS3 *core* gyroid dengan pemanasan 1 jam, 2 jam, 3 jam mengalami kegagalan *core crush*.

4.4 Perhitungan

Dari data yang didapat melalui pengujian *bending*, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai rata-rata kekakuan *bending* dan kekakuan *bending* spesifik dengan menggunakan rumus pada bab 2 dengan persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3.

Tabel 4-3 Hasil Perhitungan *Bending* Spesimen

No.	Kode Spesimen	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending Max	Kekakuan Bending	Kekakuan Bending Spesifik
		W	P _{yield}	δ yield	σ	D	D/W
		g	N	(mm)	Mpa	N.mm ²	N.mm ² /g
1	GRNS0	44,7	736	3,09	24,95	4.962.244	111.012
2	GRNS1	44,7	773	4,19	26,48	3.843.477	85.984
3	GRNS2	46	911	5,64	28,52	3.365.100	73.154
4	GRNS3	44,7	741	5,8	23,63	2.661.638	59.544
5	GRS0	53,5	1461	1,47	43,72	20.705.782	387.024
6	GRS1	58,1	1031	1,9	28,38	11.304.825	194.575
7	GRS2	58,4	1139	2,16	30,98	10.985.725	188.112
8	GRS3	61,1	1215	2,55	31,77	9.926.471	162.463

Dari tabel 4-3 diatas menunjukkan hasil perhitungan kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik dari spesimen yang telah dilakukan pengujian *three point bending* menggunakan mesin *universal testing machine*. Dapat dilihat pada spesimen tanpa komposit *sandwich* kode GRNS0 yaitu *core gyroid* tanpa pemanasan memiliki nilai kekakuan *bending* sebesar 4.962.244 Nmm² dan kekakuan *bending* spesifiknya memiliki nilai sebesar 111.012 Nmm²/g, sedangkan untuk spesimen komposit *sandwich* tertinggi kode GRS0 yaitu *core gyroid* dengan tanpa pemanasan dengan nilai sebesar 20.705.782 Nmm². Nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi dengan kode GRS0 memiliki nilai sebesar 387.024 Nmm²/g dengan waktu tanpa pemanasan.

4.5 Pembahasan

4.5.1 Post Curing



Gambar 4-12 Spesimen *Post Curing*

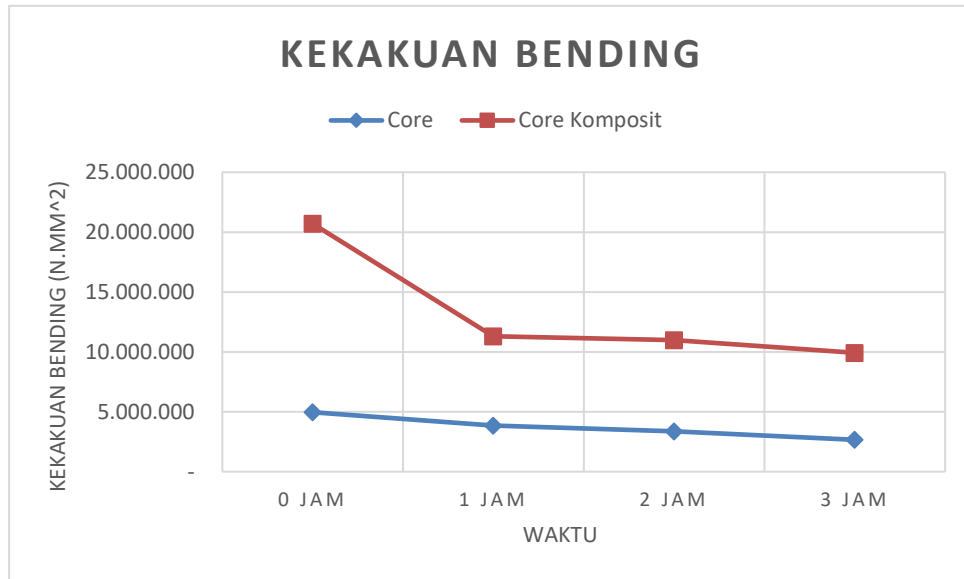
Pada gambar 4-12 diatas menunjukkan fenomena yang terjadi pada spesimen dengan perlakuan panas *post curing* dimana spesimen mengalami deformasi yang menyebabkan kerusakan struktur (meleleh) pada spesimen. Hal tersebut sesuai pernyataan (Prastyadi, 2017) dimana ketika suhu ditingkatkan akan menyebabkan material menjadi leleh dan mencair. Berikut ini adalah sketsa spesimen yang mengalami deformasi.



Gambar 4-13 Sketsa Spesimen Mengalami Deformasi

Pada gambar 4-13 diatas menunjukkan sketsa spesimen mengalami deformasi, dimana pada garis yang berwarna hitam merupakan bentuk awal spesimen. Dan untuk garis yang berwarna merah merupakan deformasi spesimen.

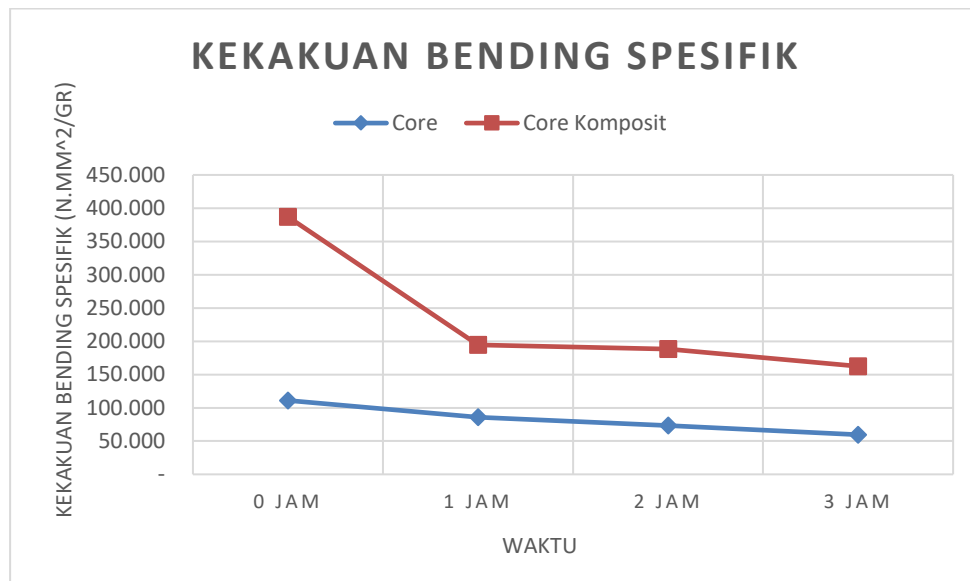
4.5.2 Kekakuan *Bending*



Gambar 4-14 Grafik Kekakuan *Bending*

Pada gambar 4-14 diatas menunjukkan grafik kekakuan *bending*, dimana pada grafik garis yang berwarna merah menunjukkan spesimen komposit *sandwich* sedangkan garis yang berwarna biru menunjukkan spesimen tanpa komposit *sandwich*. Dari grafik dapat dibaca kekakuan *bending* yang paling tinggi di dapatkan pada spesimen komposit *sandwich* dengan waktu tanpa pemanasan dengan nilai kekakuan *bending* sebesar 20.705.782 Nmm^2 dan kekakuan *bending* yang paling rendah didapatkan pada spesimen dengan pemanasan 3 jam dengan nilai kekakuan sebesar 9.926.471 Nmm^2 . Dari data kekakuan *bending* rata-rata, dimana perlakuan panas terhadap *core* dengan komposit tidak berpengaruh terhadap meningkatnya nilai kekakuan *bending*. Sedangkan spesimen tanpa komposit *sandwich* nilai tertinggi didapatkan dengan spesimen tanpa pemanasan dengan nilai kekakuan *bending* sebesar 4.962.244 Nmm^2 dan nilai kekakuan *bending* yang terendah didapatkan pada spesimen dengan waktu pemanasan 3 jam sebesar 3.557.028 Nmm^2 . Dari data kekakuan *bending* rata- rata, dimana perlakuan panas pada *core* dapat mempengaruhi struktur *core gyroid* yang menyebabkan penurunan hasil nilai kekakuan *bending*.

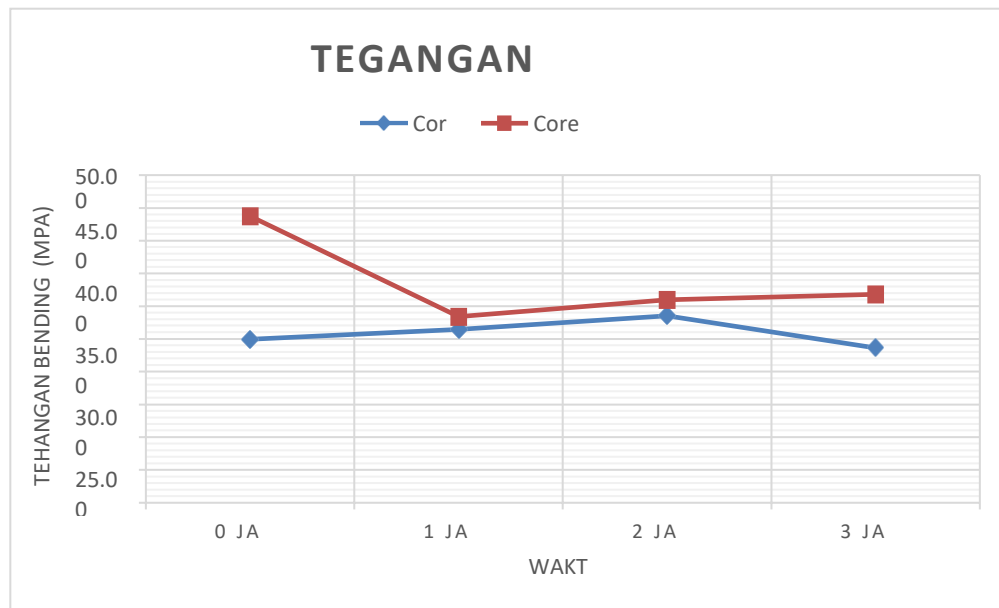
4.5.3 Kekakuan *Bending* Spesifik



Gambar 4-15 Grafik Kekakuan *Bending* Spesifik

Pada gambar 4-15 diatas menunjukkan grafik kekakuan *bending* spesifik, dimana pada grafik garis yang berwarna merah menunjukkan spesimen komposit *sandwich* sedangkan garis yang berwarna biru menunjukkan spesimen tanpa komposit *sandwich*. Dari grafik dapat dibaca kekakuan *bending* spesifik yang paling tinggi di dapatkan pada spesimen komposit *sandwich* dengan waktu tanpa pemanasan dengan nilai kekakuan *bending* spesifik sebesar 387.024 Nmm²/g dan kekakuan *bending* spesifik yang paling rendah didapatkan pada spesimen dengan pemanasan 3 jam dengan nilai kekakuan spesifik sebesar 162.463 Nmm²/g. Sedangkan spesimen tanpa komposit nilai tertinggi didapatkan dengan spesimen tanpa pemanasan dengan nilai kekakuan *bending* sebesar 111.012 Nmm²/g.

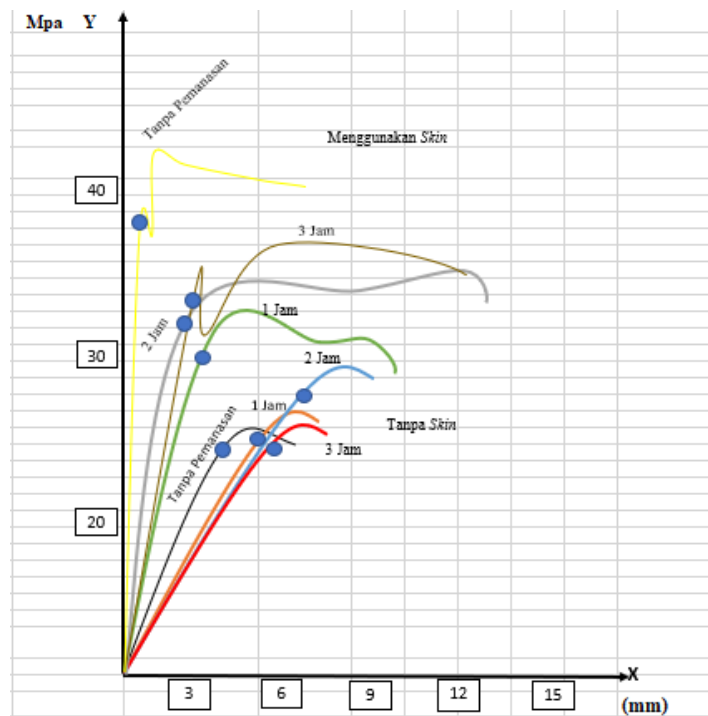
4.5.4 Tegangan *Bending*



Gambar 4-16 Grafik Tegangan *Bending* Maksimal

Pada gambar 4-16 diatas menunjukkan grafik tegangan *bending*, dimana pada grafik garis yang berwarna merah menunjukkan spesimen komposit *sandwich* sedangkan garis yang berwarna biru menunjukkan spesimen tanpa komposit *sandwich*. Dari grafik dapat dibaca tegangan *bending* yang paling tinggi di dapatkan pada spesimen komposit *sandwich* dengan waktu tanpa pemanasan dengan nilai tegangan *bending* sebesar 43,72 Mpa dan tegangan *bending* yang paling rendah didapatkan pada spesimen dengan pemanasan 1 jam dengan nilai tegangan *bending* sebesar 28,38 Mpa. Sedangkan spesimen tanpa komposit nilai tertinggi didapatkan dengan waktu pemanasan 2 jam dengan nilai tegangan *bending* sebesar 28,52 Mpa.

4.5.5 Tegangan dan Defleksi



Gambar 4-17 Grafik Tegangan dan Defleksi

Pada gambar 4-17 diatas menunjukkan grafik tegangan dan defleksi, dimana pada grafik terlihat apabila spesimen yang menggunakan *skin* terjadi tegangan yang lebih besar. Kemudian, perlakuan panas yang dilakukan pada spesimen menunjukkan peningkatan nilai defleksi sehingga spesimen menjadi lebih ulet, hal itu dapat dilihat pada spesimen GRS 3 berwarna coklat yang menggunakan *skin* dan dilakukan *heat treatment* selama 3 jam, dibandingkan dengan spesimen tanpa pemanasan yaitu GRS0 berwarna kuning dapat menahan tegangan tinggi namun memiliki nilai defleksi yang rendah atau kaku.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Perlakuan panas tidak berpengaruh terhadap kekakuan bending pada core komposit. Hasil analisis nilai rata-rata kekakuan *bending* pada spesimen menggunakan *skin* dan tidak menggunakan *skin* tanpa perlakuan panas memiliki nilai tertinggi jika dibandingkan dengan spesimen dengan perlakuan panas. Nilai kekakuan *bending* tertinggi pada spesimen tanpa dilapisi *skin* tanpa pemanasan dengan nilai 4.962.244 Nmm², sedangkan kekakuan *bending* terendah pada pemanasan 3 jam sebesar 2.661.638 Nmm². pada spesimen dengan dilapisi *skin*, kekakuan *bending* tertinggi sebesar 20.705.782 Nmm². Sedangkan kekakuan terendah terjadi pada pemanasan 3 jam sebesar 9.926.471 Nmm². Nilai kekakuan *bending* pada spesimen *skin* memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen yang tidak menggunakan *skin*.
2. Analisis kegagalan core pada spesimen yang dilapisi *skin* menunjukkan bahwa semua spesimen mengalami *face wrinkling* dan *core crush*. Namun, kegagalan *face yield* hanya terjadi pada spesimen GRS1. Hal yang sama terjadi pada spesimen tanpa dilapisi *skin*, dimana semua spesimen mengalami *core crush*.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

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

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan pengujian SEM untuk mengetahui pengaruh *curing* terhadap struktur *gyroid*.
2. Dalam proses penempelan spesimen dengan serat karbon, sebaiknya spesimen dibersihkan terlebih dahulu agar serat karbon dapat menempel dengan baik.
3. Jauhkan media *vacuum bag* dari benda-benda tajam disekitar saat melakukan proses *vacuum* agar tidak mengalami kebocoran.
4. Pada saat proses *finishing* sebaiknya menggunakan perlengkapan K3 yang sesuai seperti kacamata dan sarung tangan.

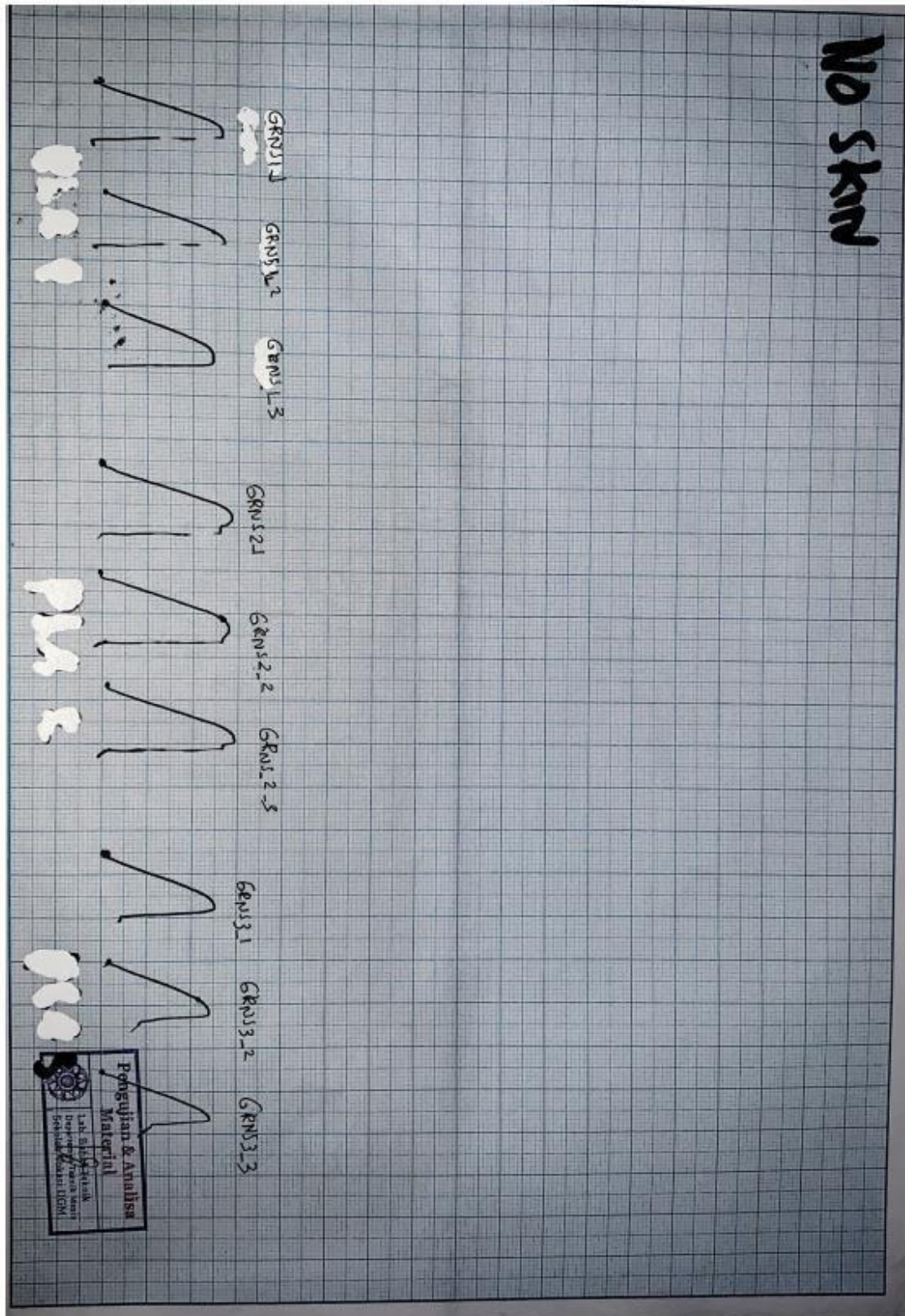
DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah, Y. I. (2021). Analisis Uji *Bending* Komposit *Sandwich* Yang Digabungkan *3D Printing*.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/30579>
- Aprillio, Y. (2022). Pengaruh Diameter *Honeycomb Ribs* Pada Produk *Acrylonitrile Butadiene Styrene (Abs) 3d Printing Fused Filament Fabrication (Fff)* Yang Diperkuat Komposit *Carbon Fiber*.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/41697>
- 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.
- 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>
- Hidayat, S. (2020). Aplikasi Perangkat *Vacuum Infusion* Untuk Pembuatan Komponen Berbahan Komposit.
- Naufal, R. B. R. R. (2023). Pengaruh Orientasi *Printing (3D Print)* Pada Jenis Material *Core* Komposit *Sandwich* Dengan Sudut Pengeprintan 30°, 45°, 60° Dan *Skin Carbonfiber* Terhadap Kekakuan *Bending*.
- Nugroho, A. T. P. (2011). Pengaruh Tebal *Skin* Dan *Core* Terhadap Kekuatan *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Rami—*Polyester* Dengan *Core* Sekam Padi—*Ureaformaldehyde*.
<https://digilib.uns.ac.id/dokumen/24716/Pengaruh-tebal-skin-dan-core-terhadap-kekuatan-bending-komposit-sandwich-serat-rami-polyester-dengan-core-sekam-padi-urea-formaldehyde>

- Pramono, C., Hastuti, S., Ivandiyanto, D. I., & Trihardanto, A. A. (2019). Analisis Sifat *Bending* dan Impak Komposit Berpenguat Serat Pohon Pisang. *Prosiding Seminar Sains Nasional dan Teknologi*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.36499/psnst.v1i1.2813>
- Prastyadi, C. (2017). Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur, Waktu *Curing* dan *Post-Curing* Terhadap Karakteristik Tekan Komposit *Polyester* - Partikel *Hollow Glass Micropheres (HGM) IM30K* [Undergraduate, Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. <https://repository.its.ac.id/3156/>
- Pratama, A. H. (2022). Pengaruh Ketebalan Dan Jenis *3d Printed Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Skin* Serat Karbon. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/41206>
- Prayoga, A. (2018). Pengaruh Ketebalan *Skin* Terhadap Kekuatan *Bending* dan Tarik Komposit *Sandwich* Dengan *Honeycomb Polypropylene* Sebagai *Core*. 18(1).
- Putra, A. S. W. K. (2022). Pengaruh Orientasi *Printing (3D Print)* dan Jenis Material *Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Carbonfiber*.
- 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.
- Putra, M. I., & Nugroho, G. (2021). Pengaruh *Curing Time* Terhadap Sifat Mekanis Komposit *Epoxy/Carbon Fiber* dan *Epoxy/ Glass Fiber* dengan Metode Manufaktur *Bladder Compression Moulding*. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.22146/jmdt.57205>

- Rahmani, J. P. (2022). *Studi Pengaruh Jenis Perekat Dan Variasi Suhu Curing Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Menggunakan Core 3d Printing*. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/41698>
- Setiyawan, D., Respati, S. M. B., & Dzulfikar, M. (2020). Analisa Kekuatan Komposit *Sandwich* Karbon *Fiber* Dengan Core *Styrofoam* Sebagai 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 *Carbon* Dengan Metode *Vacuum Infusion*. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(02), 45–54.
- Yeung, K. K. H., & Kamineni, P. (2014). *Mechanical Properties of Boron and Kevlar-49 Reinforced Thermosetting Composites and Economic Implications*. *Journal of Engineering Sciences*, 10, 19–29.

LAMPIRAN



No skin

GRISO-1

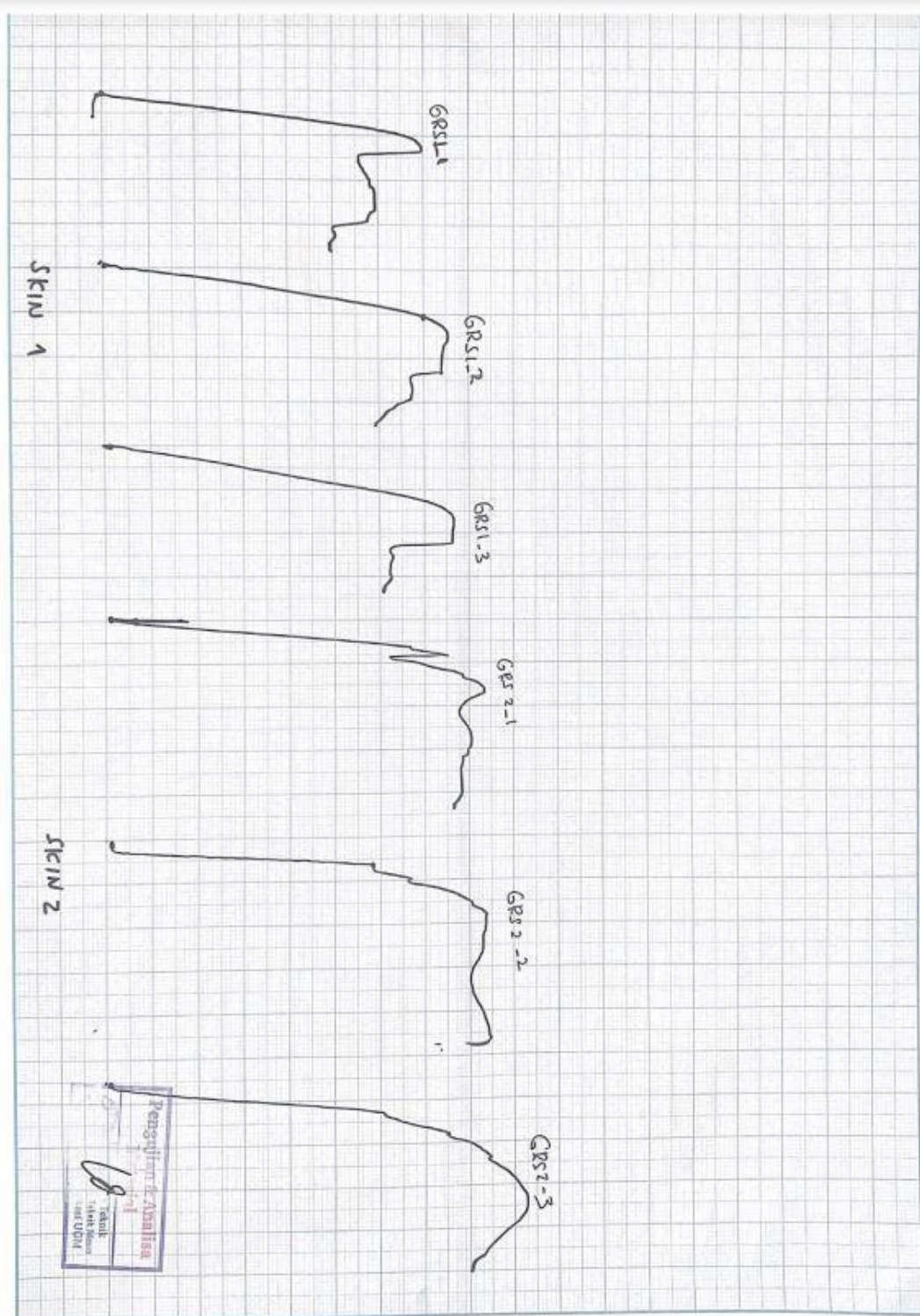


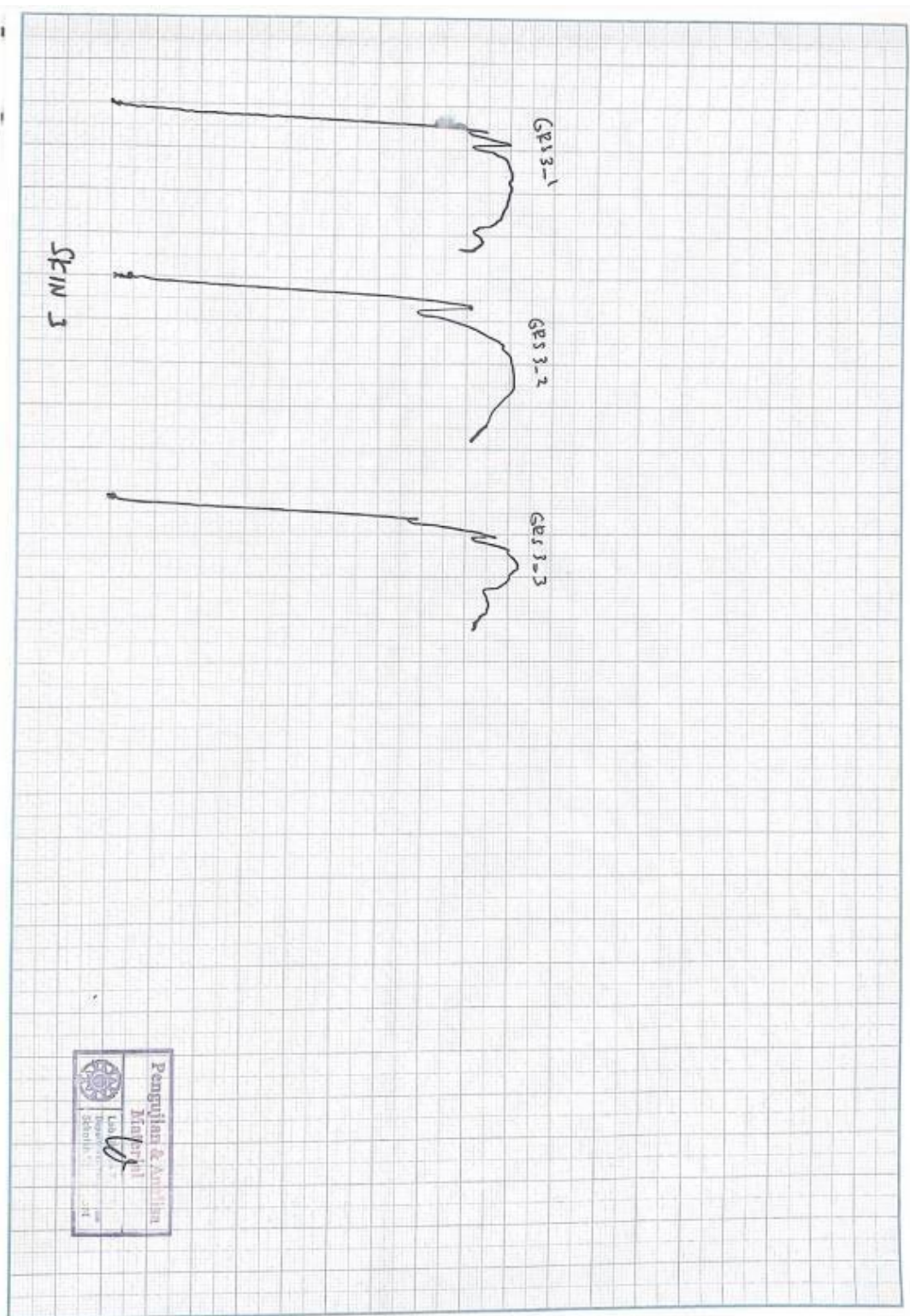
GRISO-2

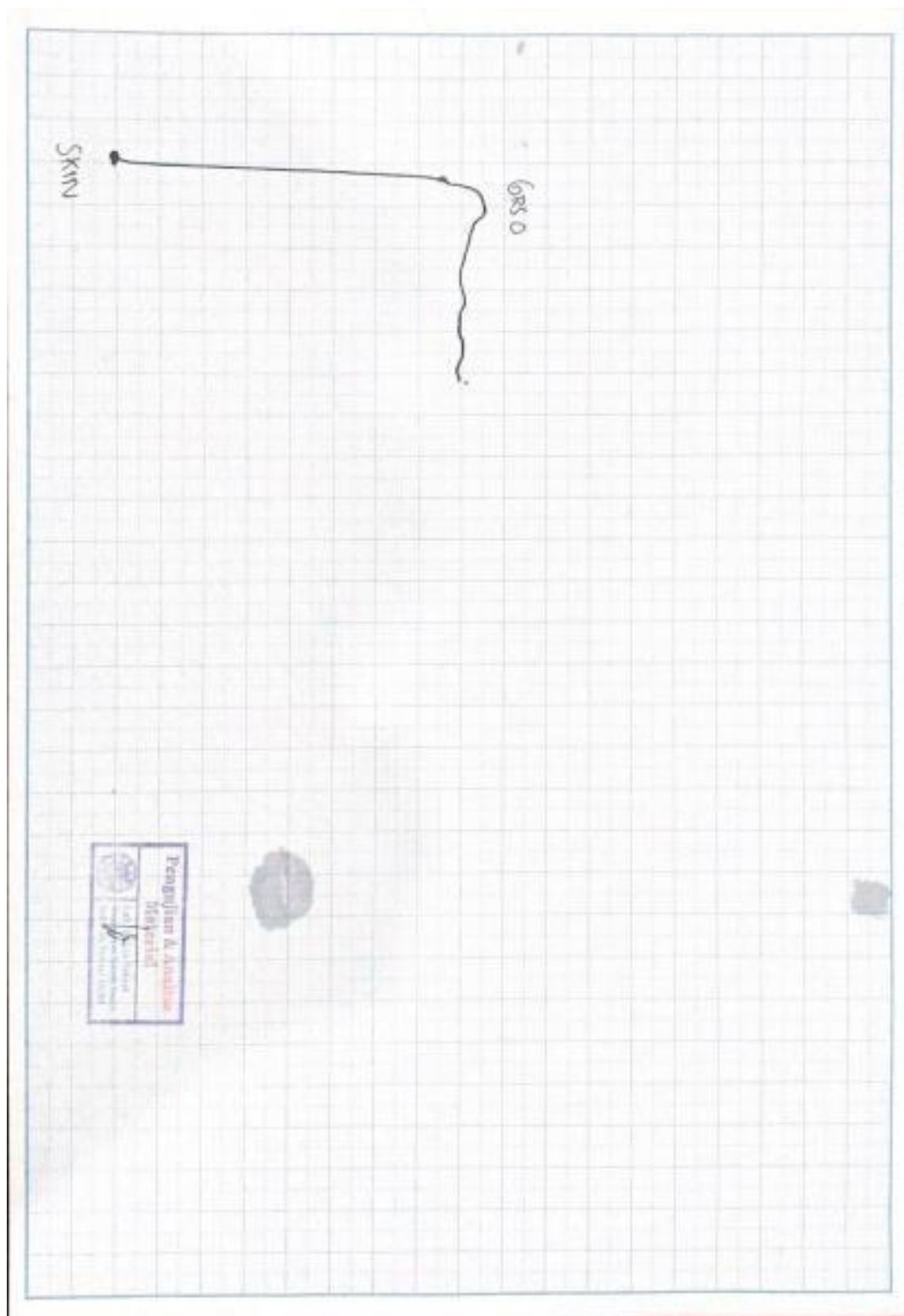


GRISO-3











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)	Teg. Bending (MPa)
1	GRS1_1	10.99	50.16	1.10	5.96	27.24
2	GRS1_2	11.01	50.13	1.18	10.68	29.13
3	GRS1_3	11.06	50.26	1.18	9.18	28.79
4	GRS2_1	11.27	50.11	1.26	7.98	29.70
5	GRS2_2	10.96	50.08	1.28	13.26	31.92
6	GRS2_3	11.21	50.31	1.32	13.24	31.32
7	GRS3_1	11.52	50.51	1.38	11.97	30.88
8	GRS3_2	11.19	50.42	1.34	12.07	31.84
9	GRS3_3	11.31	50.37	1.40	8.73	32.59

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 14 Februari 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 14 Februari 2023

Staf Laboratorium Bahan Teknik


Lili Dwi Setyana
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

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

NIP. 197703312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

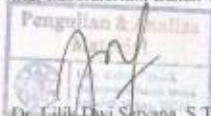
No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Teg. Bending (MPa)
1	GRNS0_1	10.17	50.01	0.98	5.01	28.42
2	GRNS0_2	9.99	50.29	0.78	5.88	23.31
3	GRNS0_3	9.97	50.23	0.77	5.47	23.13
4	GRNS1_1	9.93	49.51	0.96	6.53	29.50
5	GRNS1_2	9.97	49.51	0.87	5.50	26.52
6	GRNS1_3	10.11	49.46	0.79	6.48	23.44
7	GRNS2_1	10.14	49.48	0.98	8.24	28.89
8	GRNS2_2	10.15	49.39	0.96	8.14	28.30
9	GRNS2_3	10.19	49.39	0.97	7.48	28.37
10	GRNS3_1	10.07	49.26	0.83	6.64	24.92
11	GRNS3_2	10.10	49.56	0.75	6.21	22.25
12	GRNS3_3	10.05	49.47	0.79	6.58	23.72

Keterangan:

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

Yogyakarta, 2 Februari 2023

Staff Laboratorium Bahan Teknik



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

NIP. 197703312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Variasi Inti	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Teg. Bending (MPa)
1	GRS 0	10,56	51,38	1,67	5,75	43,72

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 22 Mei 2023
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 22 Mei 2023

Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisis

Material

Dr. Ikhlas Dwi Setiawan, S.T., M.T.

NIP. 197705312002311002

Lembar ini tidak untuk digandakan