

**STUDI PENGARUH JENIS PEREKAT DAN VARIASI SUHU
CURING TERHADAP KEKUATAN *BENDING* KOMPOSIT
SANDWICH MENGGUNAKAN *CORE 3D PRINTING***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Johan Pahlevi Rahmani

No. Mahasiswa : 17525069

NIRM : 2017040595

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**STUDI PENGARUH JENIS PEREKAT DAN VARIASI SUHU
CURING TERHADAP KEKUATAN *BENDING* KOMPOSIT
SANDWICH MENGGUNAKAN CORE 3D *PRINTING***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Johan Pahlevi Rahmani
No. Mahasiswa : 17525069
NIRM : 2017040595

Yogyakarta, 18 November 2022

Pembimbing.



Ir. Faisal Arif Nurgasang, S.T., M.Sc., IPP

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**STUDI PENGARUH JENIS PEREKAT DAN VARIASI SUHU
CURING TERHADAP KEKUATAN *BENDING* KOMPOSIT
SANDWICH MENGGUNAKAN *CORE 3D PRINTING***

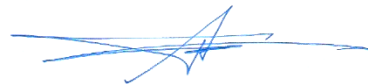
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Johan Pahlevi Rahmani
No. Mahasiswa : 17525069
NIRM : 2017040595

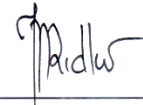
Tim Penguji

Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T.,
M.Sc., IPP
Ketua



Tanggal : 5 Des 2022

Muhammad Ridlwan, S.T., M.T
Anggota I



Tanggal : 07/12/2022

Agung Nugroho, S.T., M.T
Anggota II



Tanggal : 5/12/2022

Mengetahui



Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Johan Pahlevi Rahmani

NIM : 17525069

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknologi Industri

Judul Skripsi : *STUDI PENGARUH JENIS PEREKAT DAN VARIASI SUHU CURING TERHADAP KEKUATAN BENDING KOMPOSIT SANDWICH MENGGUNAKAN CORE 3D PRINTING.*

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari skripsi ini merupakan hasil plagiasi atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkannya sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan serta tata tertib yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak dipaksakan.

Yogyakarta, 9 Desember 2022


Johan Pahlevi Rahmani



HALAMAN PERSEMBAHAN



Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

Papi Fachrudin Sopalauw, Mami Yuslinda, Daddy Ruswin Indra Putra Soulisa dan Bunda Nurul Hidayati Sopalauw. Merekalah yang membuat segalanya menjadi mungkin, sehingga saya bisa sampai pada tahap dimana tugas akhir ini akhirnya selesai. Terima kasih atas segala pengorbanan, nasihat dan doa baik yang tidak pernah berhenti kalian berikan kepada saya.

HALAMAN MOTTO

“Kau lupa satu hal... bakat dapat membawamu jauh, tapi kerja keras dapat membawamu kemanapun”

(Hiruma Yuichi, Eyeshield 21)

“Orang yang hebat adalah orang yang memiliki kemampuan menyembunyikan kesusahan, sehingga orang lain mengira bahwa ia selalu senang”

(Imam Syafi’i)

“Kuliah jangan terlalu pintar cukup lulus aja, namun jangan terlalu bodoh juga nanti susah lulusnya”

(Unknown)

“Kegagalan tidak memberimu alasan untuk menyerah, selama kau percaya pada dirimu sendiri”

(Uzumaki Naruto, Naruto Shippuden)

“Takdir manusia memang sudah ditentukan sejak mereka lahir, tetapi dengan kerja keras kita dapat mengalahkan Takdir”

(Uzumaki Naruto, Naruto Shippuden The Movie 1)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb

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

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Kaprodi di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP, selaku dosen pembimbing di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan dukungan dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Papi Fachrudin Sopalauw, Mami Yuslinda, *Daddy* Ruswin Indra Putra Soulisa, Bunda Nurul Hidayati Sopalauw dan Mama Erny Sopalauw selaku orang tua serta Januar Kevin Sopalauw, Dessy Namira, Kensin Soulisa Ederisa 'Cece' Asuka Negara dan Ismail sebagai adik saya yang telah memberi doa, semangat, perhatian, dan kasih sayang yang tulus.
5. Intan Dwi Pawestri selaku *support system*, yang selalu memberi semangat juang, memberi motivasi dan selalu menemani di kala suka maupun duka.
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
7. Teman-teman Teknik Mesin 2017, dan semua pihak yang membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman bimbingan Dimas, Hendra, Rifki, Ari, dan Rafki.

Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan, sangat jauh dari kata sempurna. Hal tersebut karena penulis masih dalam tahap belajar.

Yogyakarta, 18 November 2022

Johan Pahlevi Rahmani



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis perekat dan curing terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan *core 3D print*. Spesimen uji yang dicetak merujuk pada standar ASTM C393, menggunakan filament ABS. Spesimen uji divariasikan pada jenis perekat yaitu *spray 3M*, aibon dan epoxy, serta curing dengan suhu 27°C, 40°C, 60°C. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada jenis perekat, untuk tegangan bending, modulus elastisitas, kekakuan dan kekakuan spesifik tertinggi diperoleh pada jenis perekat epoxy. Hasil pengujian yang telah dilakukan pada *curing*, didapatkan hasil tegangan bending sebesar 11,38 MPa pada suhu *curing* 40°C. Namun modulus elastisitas sebesar 242,77 N/mm², kekakuan bending sebesar 1.006.209,32 Nmm² dan kekakuan spesifik sebesar 66.198,38 Nmm²/gram diperoleh pada suhu curing 27°C.

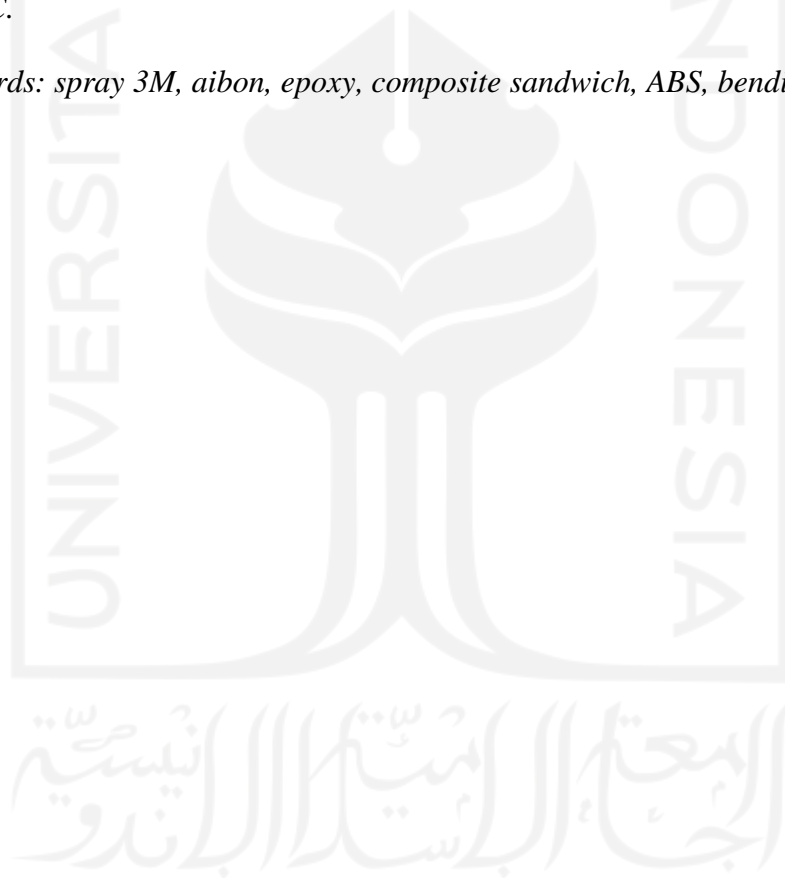
Kata Kunci: *spray 3M*, aibon, epoxy, komposit *sandwich*, ABS, kekuatan *bending*



ABSTRACT

This study aims to determine the effect of the type of adhesive and curing on the bending strength of core 3D printed sandwich composites. The printed test specimens refer to the ASTM C393 standard, using ABS filament. The test specimens were varied on the type of adhesive, namely 3M spray, aibon and epoxy, as well as curing at 27°C, 40°C, 60°C. Based on the results of tests that have been carried out on the type of adhesive, the highest bending stress, modulus of elasticity, stiffness and specific stiffness were obtained for the type of epoxy adhesive. The results of the tests that have been carried out on curing, obtained a bending stress of 11.38 MPa at a curing temperature of 40°C. However, a modulus of elasticity of 242.77 N/mm², a bending stiffness of 1,006,209.32 Nmm² and a specific stiffness of 66,198.38 Nmm²/gram were obtained at a curing temperature of 27°C.

Keywords: spray 3M, aibon, epoxy, composite sandwich, ABS, bending strength



DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar.....	vi
Abstrak	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Notasi	xvi
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Komposit	7
2.2.2 Komposit <i>Sandwich</i>	7
2.2.3 3D Print	9
2.2.4 <i>Vacuum Infusion</i>	10
2.2.5 Pengujian Kekakuan(Uji <i>Bending</i>).....	10
2.2.6 Penggunaan <i>Adhesive</i> di Komposit <i>Sandwich</i>	12
2.2.7 Proses <i>Curing</i>	13
2.2.8 Modus Kegagalan Komposit <i>Sandwich</i>	13

Bab 3 Metode Penelitian.....	17
3.1 Alur Penelitian	17
3.2 Parameter Penelitian	19
3.2.1 Parameter Variasi dan Tetap Spesimen Perekat	19
3.2.2 Parameter Variasi dan Tetap Spesimen <i>Curing</i>	20
3.3 Peralatan dan Bahan.....	21
3.4 Spesifikasi Teknik Resin Epoxy	26
3.5 Dimensi Spesimen	27
3.6 Komposisi Komposit <i>Sandwich</i>	27
3.7 Proses Pengerjaan	28
3.7.1 Pembuatan <i>Core</i> menggunakan Mesin 3D <i>Print</i>	28
3.7.2 Proses <i>Vacuum Infusion</i>	28
3.7.3 Proses <i>Curing</i>	32
3.7.4 Hasil Setelah <i>Vacuum Infusion</i>	33
3.8 Pengujian <i>Bending</i>	33
Bab 4 Hasil dan Pembahasan	35
4.1 Pengaruh Variasi Perekat Terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Kekakuan Spesifik.....	35
4.1.1 Pengaruh Jenis Perekat Terhadap Tegangan <i>Bending</i>	35
4.1.2 Pengaruh Jenis Perekat Terhadap Modulus Elastisitas	37
4.1.3 Pengaruh Jenis Perekat Terhadap Kekakuan.....	39
4.1.4 Pengaruh Jenis Perekat Terhadap Kekakuan Spesifik.....	41
4.1.5 Analisa Modus Kegagalan Variasi Perekat.	43
4.2 Pengaruh <i>Curing</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Modulus Elastisitas, Modulus Elastisitas, Kekakuan dan Kekakuan Spesifik	45
4.2.1 Pengaruh <i>Curing</i> Terhadap Tegangan <i>Bending</i>	45
4.2.2 Pengaruh <i>Curing</i> Terhadap Modulus Elastisitas	47
4.2.3 Pengaruh <i>Curing</i> Terhadap Kekakuan	49
4.2.4 Pengaruh <i>Curing</i> Terhadap Kekakuan Spesifik.	51
4.2.5 Analisa modus Kegagalan Variasi Suhu <i>Curing</i>	52
Bab 5 Penutup.....	55
5.1 Kesimpulan	55

5.2	Saran untuk penelitian selanjutnya	55
	Daftar Pustaka	56
	Lampiran 1.....	59
	Lampiran 2.....	61
	Lampiran 3.....	63
	Lampiran 4.....	64



DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Parameter tetap dan variasi pada spesimen perekat	19
Tabel 3- 2 Parameter tetap dan variasi pada spesimen <i>curing</i>	20
Tabel 3- 3 Daftar alat.....	21
Tabel 3- 4 Bahan Penelitian	23
Tabel 4- 1 Data variabel tegangan <i>bending</i> variasi perekat.....	35
Tabel 4-2 Data variabel modulus elastisitas spesimen perekat	37
Tabel 4-3 Data variabel kekakuan spesimen perekat	39
Tabel 4-4 Data variabel kekakuan spesifik spesimen Perekat.....	41
Tabel 4- 5 Data variabel tegangan <i>bending</i> spesimen <i>curing</i>	45
Tabel 4-6 data variabel modulus elastisitas spesimen curing.....	47
Tabel 4-7 Data variabel kekakuan spesimen <i>curing</i>	49
Tabel 4-8 Data variabel kekakuan spesifik spesimen Perekat.....	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Komposit <i>Sandwich</i>	1
Gambar 2- 1 Ilustrasi Komposit berdasarkan penguatnya.....	7
Gambar 2-2 Susunan Komposit <i>Sandwich</i>	8
Gambar 2-3 Cara Kerja 3D Print.....	9
Gambar 2-4 <i>Vacuum infusion</i>	10
Gambar 2-5 Alat uji <i>Three Point Bending</i>	11
Gambar 2-6 Pengujian Lentur pada komposit <i>sandwich</i>	11
Gambar 2-7 Perekat epoxy, aibon dan <i>spray</i> 3M.....	12
Gambar 2-8 Proses <i>curing</i> spesimen komposit <i>sandwich</i>	13
Gambar 2-9 <i>Face yield</i>	14
Gambar 2-10 <i>Face wrinkling</i>	14
Gambar 2-11 <i>Debonding</i>	15
Gambar 2-12 <i>Core crush</i>	15
Gambar 2-13 <i>Core shear</i>	16
Gambar 2- 14 <i>Core tearing</i>	16
Gambar 3-1 Diagram alur penelitian.....	18
Gambar 3-2 <i>Datasheet</i> resin epoxy Eposchone.....	26
Gambar 3-3 Dimensi Spesimen.....	27
Gambar 3-4 Komposisi komposit <i>sandwich</i>	27
Gambar 3- 5 Pembuatan <i>Core</i> dengan Menggunakan Mesin 3D <i>Print</i>	28
Gambar 3-6 Spesimen yang sudah diberi perekat dan selotip kertas	29
Gambar 3-7 Spesimen yang telah diolesi perekat(<i>adhesive</i>) dan karbon.....	29
Gambar 3-8 Susunan plastik vakum dan <i>butyl tape</i>	30
Gambar 3-9 Susunan Strimin, <i>peel ply</i> dan <i>core</i> di plastik vakum	30
Gambar 3-10 Susunan akhir vakum <i>infusion</i>	31
Gambar 3-11 Membuat campuran resin dan katalis.....	31
Gambar 3-12 Proses vakum <i>infusion</i>	32
Gambar 3-13 Proses <i>curing</i>	32
Gambar 3-14 Hasil setelah vakum <i>infusion</i>	33
Gambar 3- 15 Jarak <i>span</i> untuk pengujian	33

Gambar 3- 16 Spesimen yang diberi beban <i>bending</i>	34
Gambar 3-17 Spesimen hasil uji <i>bending</i>	34
Gambar 4-1 Pengaruh variasi perekat terhadap tegangan <i>bending</i> komposit <i>sandwich</i>	36
Gambar 4-2 Pengaruh perekat terhadap modulus elastisitas komposit <i>sandwich core 3D printing</i>	38
Gambar 4-3 pengaruh variasi perekat terhadap nilai kekakuan komposit <i>sandwich</i>	40
Gambar 4-4 Pengaruh variasi perekat terhadap nilai sekakuan spesifik komposit <i>sandwich</i>	42
Gambar 4-5 Analisa Modus kegagalan spesimen perekat <i>spray 3M</i>	43
Gambar 4-6 Analisa modus kegagalan spesimen perekat aibon	44
Gambar 4-7 Analisa modus kegagalan spesimen perekat epoxy	44
Gambar 4-8 Pengaruh <i>curing</i> terhadap tegangan <i>bending</i> komposit <i>sandwich</i> ...	46
Gambar 4-9 Pengaruh <i>curing</i> terhadap modulus elastisitas komposit <i>sandwich</i> .	48
Gambar 4-10 Pengaruh <i>curing</i> terhadap nilai kekakuan komposit <i>sandwich</i>	50
Gambar 4-11 Pengaruh <i>curing</i> terhadap nilai kekakuan spesifik.....	51
Gambar 4-12 Modus kegagalan spesimen uji dengan suhu <i>curing</i> 27° C.....	52
Gambar 4-13 Analisa Modus Kegagalan Spesimen Uji dengan <i>Curing</i> 40°C.....	53
Gambar 4-14 Analisis modus kegagalan spesimen uji dengan <i>curing</i> 60°C.....	54

DAFTAR NOTASI

σ_b	= Tegangan <i>Bending</i> (N/mm^2)
E_b	= Modulus Elastisitas <i>Bending</i> (N/mm^2)
P	= Beban yang diberikan (N)
L	= Jarak antara titik tumpuan (mm)
b	= Lebar spesimen (mm)
h	= Tebal spesimen (mm)
D	= Kekakuan (GPa)
δ	= Defleksi (mm)
m	= Massa Spesimen(gram)
I	= Momen inersia (mm^4)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir perkembangan teknologi sudah semakin maju, salah satunya adalah UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*). Saputra & Pramujati (2013) berpendapat bahwa UAV pesawat tanpa awak yang dioperasikan melalui kendali jarak jauh. Berdasarkan jenisnya UAV dibagi menjadi 2, yaitu *multicopter* dan *fixed wing*.

Fixed wing merupakan jenis UAV yang mempunyai sayap tetap, sayap tetap pada *fixed wing* UAV merupakan komponen penggerak utama. Material yang dipakai untuk pembuatan sayap *fixed wing* biasanya memiliki sifat yang kaku, tidak mudah patah dan tahan terhadap getaran maka dari itu aluminium merupakan bahan yang sering dipakai untuk pembuatan sayap *fixed wing* (Suzanna, 2013). Pada penelitian ini diharapkan adanya pergantian bahan dari aluminium menjadi 3D *Print* dengan metode komposit *sandwich* yang bertujuan untuk mendapatkan sifat material yang lebih ringan dari aluminium tetapi memiliki kekuatan tinggi.

Diharjo (2011) menyampaikan bahwa komposit *sandwich* tersusun dari dua bagian utama yaitu *core* dan *skin*, susunan Komposit *sandwich* dapat dilihat pada gambar 1.1. Komposit *sandwich* sudah banyak diaplikasikan ke berbagai jenis produk seperti kapal, pesawat dan lain sebagainya. Komposit *sandwich* memiliki sifat kekakuan tinggi, ringan, tahan terhadap panas dan memiliki redaman suara tinggi dan mudah dibentuk (Wang et al., 2010).



Gambar 1-1 Komposit *Sandwich*

Wisnu & Ariawan (2011) berpendapat bahwa suatu komposit *sandwich* dengan sifat mekanik yang baik, selain memerlukan *skin* dan *core* yang kuat, diperlukan juga suatu perekat(*adhesive*) yang tepat agar dapat menciptakan ikatan yang kuat antara *skin* dan *core*, serta menjadi penerus beban yang baik dari *skin* menuju *core*. Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Olivianides, (2021) komposit *sandwich* dengan menggunakan *core* 3D print, hasil dari penelitian tersebut menunjukkan terlepasnya ikatan antara *skin* dan *core* atau disebut dengan *debonding*. Pada penelitian yang dilakukan oleh penulis, penulis menambahkan perekat(*adhesive*) pada komposit *Sandwich* untuk mencegah atau mengurangi terjadinya *debonding*.

Serat karbon merupakan serat sintetis dengan kekuatan *bending* dan daya hantar listrik yang tinggi, serat karbon juga merupakan serat yang sangat sering dipakai di bidang komposit(Setiyawan et al., 2020). Setiyawan et al, (2020) pernah meneliti kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan *skin* serat karbon, hasil dari penelitian ini mendapatkan nilai tegangan *bending* maksimum sebesar 38,54 Mpa. Pada penelitian ini, penulis menggunakan serat karbon pada bahan *skin* komposit *sandwich* untuk mengetahui kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan *Core* 3D *Print*ting

Curing merupakan proses pemanasan material komposit agar resin mempunyai daya ikat yang tinggi pada serat, proses ini dilakukan diatas temperatur Ruang(Utomo & Drastiawati, 2021). Peningkatan temperatur *curing* menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan *curing* sehingga dapat memberikan *cross-linking* pada material komposit tetapi kekakuan material menurun(Utomo & Drastiawati, 2021). Lailatul et al., (2021) telah meneliti *curing* pada komposit *sandwich*, hasil penelitian menunjukkan perbedaan nilai kekuatan *bending* antara spesimen *curing* dan tidak *curing*. Pada penelitian ini, penulis melakukan *curing* pada komposit *sandwich* dengan variasi suhu *curing* 27°C, 40°C, 60°C dengan waktu 60menit agar mengetahui pengaruh *curing* terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich* *core* 3D *print*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis ingin melakukan penelitian tentang pengaruh variasi perekat(*adhesive*) dan *curing* terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich* *core* 3D *print*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh jenis perekat dan suhu *curing* terhadap kekuatan *bending* pada komposit *sandwich* yang dibuat menggunakan *core* 3D *printing* dan *skin* dari carbon fiber?

1.3 Batasan Masalah

1. Spesimen yang digunakan mengacu pada standar ASTM C393.
2. Lama waktu *curing* adalah 1 jam (60 menit).
3. Perekat yang digunakan adalah *spray* 3m, aibon dan epoxy.
4. Suhu *curing* yang digunakan adalah 27°C, 40°C dan 60°C.
5. Pengujian *bending* yang digunakan adalah metode *three point bending*.
6. Material *core* yang digunakan adalah material ABS dengan infill 100 .%
7. Karbon yang digunakan adalah tipe *twill*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi menggunakan perekat lem aibon, spray 3M dan epoxy terhadap Kekuatan *bending* komposit *sandwich*.
2. Mengetahui pengaruh variasi *curing* pada suhu 27°C, 40°C dan 60°C terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich*.
3. Mengurangi atau mencegah resiko *debonding* pada *skin* dan *core* komposit *sandwich*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjadi referensi untuk penelitian terkait komposit *sandwich* yang dibuat menggunakan *core* 3D *printing* dan *skin carbon fiber* melalui proses *curing* dan penambahan perekat, serta menjadi material alternatif dari aluminium untuk pembuatan *fixed wing* UAV.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian atau perancangan, manfaat penelitian atau perancangan, dan sistematika penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan tinjauan 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*, analisa modus kegagalan, penampilan grafik.

BAB V Penutup

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian yang diteliti oleh Li & Wang, (2017) dengan judul “*Bending behavior of Sandwich composite structures with tunable 3D-printed core materials*”. Pada penelitian ini dilakukan percobaan dengan membuat Komposit *sandwich*, dengan menggunakan *core 3D print* dengan pola *honeycomb*, sehingga mendapatkan kekuatan lentur yang diinginkan dalam komponen struktural. Berdasarkan penelitian tersebut, penulis mencoba membuat komposit *Sandwich* menggunakan *core 3D Print* dan *skin carbon fiber*.

Penelitian dengan judul “Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan Material Komposit *Sandwich* dengan Metode *Vacuum Infusion* Sebagai Material Kapal” yang diteliti oleh Muchtiwibowo et al, (2016). Tujuan penelitian yaitu untuk mendapatkan data analisa teknis dan ekonomis pembuatan Komposit *sandwich* menggunakan metode *vacuum infusion*. Dari segi analisa teknis bertujuan membandingkan hasil kekuatan lentur dan impak pada variasi komposit *Sandwich*. Sedangkan dari analisa ekonomis, membandingkan keuntungan dan manfaat perbandingan dari komposit *sandwich* dengan komposit biasa. Berdasarkan penelitian tersebut, penulis menggunakan metode *vacuum infusion* untuk pembuatan komposit *sandwich*.

Penelitian berjudul “*Evaluation and Comparison of Mechanical Properties of Natural Fiber Abaca-sisal Composite*” oleh Venkatesan & Bhaskar, (2020). Pada penelitian ini, telah dilakukan pengujian *Bending* menggunakan standar ASTM D790 dengan metode *three point bending*. Saat pengujian *three point bending*, beban yang diberikan berada tepat di bagian tengah spesimen uji dengan menggunakan 2 tumpuan. Pembebanan dilakukan sampai spesimen uji mengalami bengkok atau patah, agar dapat mengetahui kekuatan maksimal dari spesimen uji. Dari penelitian ini, penulis mencoba menggunakan metode *three point bending* untuk menguji spesimen komposit *sandwich*.

Penelitian dengan judul “Pengaruh Jenis Adhesive Terhadap kekuatan *Bending* Komposit *Sandwich* Cantula-rHDPE” oleh Wisnu & Ariawan, (2011). Penelitian ini berfokus pada pengaruh perekat (*adhesive*) terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich* r-HDPE cantula. Perekat yang digunakan dalam penelitian ini adalah epoxy (*versamid*), *chloroprene*(aibon) dan *cyanoacrylate* (alteco). Hasil kekuatan lentur tertinggi didapat sebesar 25,70MPa dengan menggunakan perekat cyanoacrylate (alteco). Sedangkan nilai lentur terendah jatuh pada *chloroprene* (aica-aibon) dengan hasil 7,09 MPa. Berdasarkan penelitian ini, penulis melakukan penambahan perekat pada komposit *sandwich*, dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan *bending* komposit *sandwich core 3D print*.

Penelitian dengan judul “Studi Sifat Mekanik Komposit *Sandwich Divinycell Foam* dengan Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion*(VARI) Untuk Float Pesawat Amfibi” oleh Lailatul et al, (2021). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dari komposit *Sandwich* dengan jumlah layer-core-layer; 4:1:2. Kemudian sebagian spesimen diberikan perlakuan *post curing* selama 60 menit pada temperatur 75°C. hasil *Bending* tertinggi dengan pengujian *Three Point bending* menggunakan standar ASTM C 393 ada pada spesimen *post-curing* sebesar 25,16 MPa. Berdasarkan dari penelitian ini, penulis melakukan penelitian lebih lanjut terkait *curing* dengan menggunakan suhu di 27°C, 40°C, 60°C dengan waktu 60 menit.

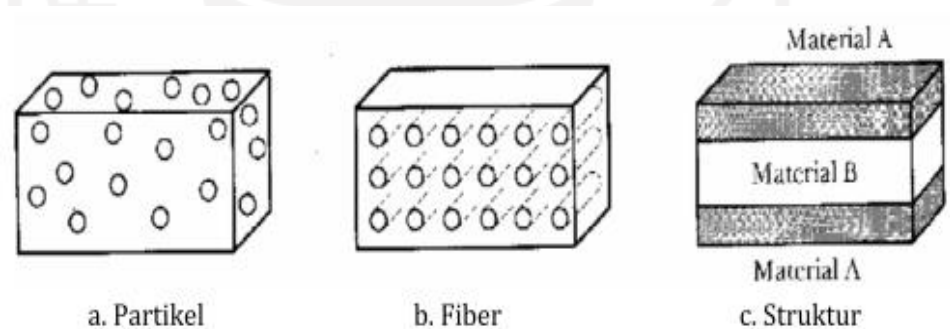
Diketahui dari penelitian dengan judul “Analisis Pengaruh Jumlah Lapisan *Skin* Pada Komposit *Sandwich* Terhadap Uji *Bending*” yang diteliti oleh Oliviandes, (2021). Pada penelitian ini *fiberglass* pada komposit *Sandwich* divariasikan dengan jumlah lapisan *fiberglass*, untuk membandingkan nilai kekakuan. Setelah diteliti terdapat kegagalan pada komposit *Sandwich* berupa *debonding*(*skin* terlepas dari *core*). Berdasarkan penelitian ini, penulis mencoba menambahkan perekat, untuk mengurangi atau mencegah terjadinya *debonding* pada komposit *Sandwich*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Nayiroh(2013) berpendapat komposit merupakan jenis bahan hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan, dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan yang disebut bahan komposit.

Komposit sendiri memiliki banyak keunggulan, diantaranya lebih ringan, lebih murah, kekuatan dan kekakuan lebih tinggi, tahan korosi dan memiliki biaya perakitan yang lebih murah dibandingkan dengan material konvensional yang sering kita temui. Menurut Nayiroh, (2013) berdasarkan penguatnya komposit dibagi menjadi 3 jenis yaitu *Particulate composite* (penguat berbentuk partikel), *fibre composite*(penguat yang berbentuk serat) dan *structural composite*(penggabungan beberapa material komposit)

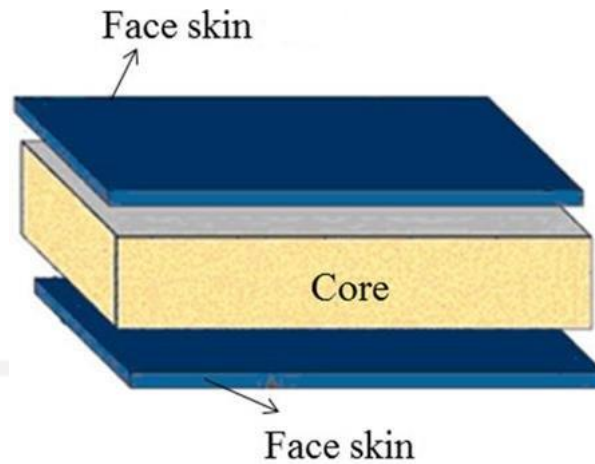


Gambar 2- 1 Ilustrasi Komposit berdasarkan penguatnya

Sumber: Nayiroh, (2013)

2.2.2 Komposit *Sandwich*

Pada prinsipnya, konsep konstruksi *sandwich* adalah meningkatkan kekakuan (*stiffness*) pada suatu panel tanpa adanya tambahan berat. Secara teoritis konstruksi komposit *Sandwich* merupakan konstruksi *single skin* dengan tebal yang dibagi dua, dan dipisahkan oleh lapisan inti yang ringan dan tebal(Muchtiwibowo et al., 2016).



Gambar 2-2 Susunan Komposit *Sandwich*

Sumber: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/07316844221105287>

Berikut susunan komposit *Sandwich*:

1. *Skin*

Skin berfungsi untuk menahan beban tarik dan tekan. *Skin* biasanya mempunyai tingkat kekakuan yang rendah. Material konvensional seperti aluminium, baja, juga stainless steel bisa digunakan untuk bagian ini (Nugroho, 2011).

2. *Core*

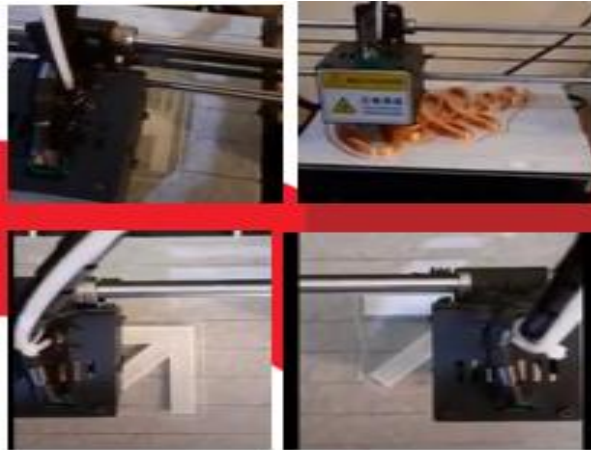
Core adalah bagian inti dari komposit *Sandwich*, bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Hidayat et al., (2016) berpendapat, *core* yang memiliki kekakuan harus mampu menahan beban geser agar tidak terjadi *slip* pada permukaan *skin*. Pembuatan *core* harus dibuat dari material yang memiliki kekakuan, agar kekakuan pada komposit *sandwich* tidak berkurang.

3. *Matriks*

Untuk menyatukan sebuah *skin* dan *core* pada komposit *sandwich* dibutuhkan matriks. Hidayat et al, (2016) berpendapat matriks adalah bahan pengikat antara *skin* dan *core*. Pada umumnya, matriks memiliki sifat elastis dan memiliki kekuatan rendah dibandingkan dengan material penguat lain.

2.2.3 3D Print

Pencetakan 3D adalah salah satu dari berbagai proses di mana materi bergabung atau dipadatkan di bawah kontrol komputer untuk membuat objek tiga dimensi (Putra & Sari, 2018).



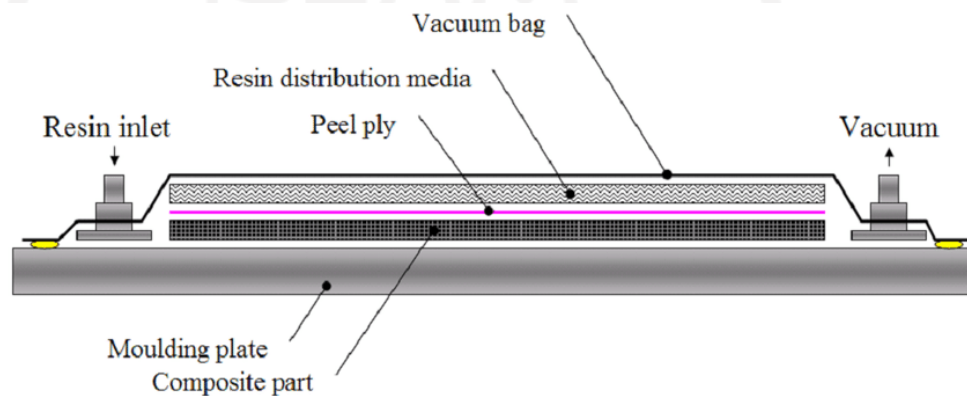
Gambar 2-3 Cara Kerja 3D Print

Sumber: (Widiandari et al., 2021)

Desain produk 3D dapat dibuat dengan bantuan komputer atau scanner 3D, proses ini menganalisa dan mengumpulkan data dari objek nyata untuk kemudian bentuk dan penampilannya dibuat digital sebagai model tiga dimensi. 3D printing memiliki banyak kelebihan salah satunya verifikasi yang cepat dan bagian volume produksi yang rendah, namun 3D printing juga memiliki kelemahan salah satunya adalah ketidakmampuan untuk menghasilkan bagian dengan sifat material yang setara dengan yang dibuat subtraktif atau Teknik formatif.

2.2.4 Vacuum Infusion

Menurut Dinur, (2019) *vacuum infusion* adalah salah satu metode pembuatan material komposit, dengan prinsip kerja memanfaatkan tekanan sebagai alat untuk menekan lapisan dari matriks, serat dan lapisan lainnya pada cetakan atau *core* sehingga menyatu menjadi bahan komposit.. *Vacuum infusion* memiliki saluran masuk (*in late*) dan saluran keluar (*out late*) dengan jumlah sesuai kebutuhan. pada saluran *in late* digunakan sebagai aliran masuk resin, sedangkan saluran *out late* digunakan sebagai aliran keluar resin.



Gambar 2-4 *Vacuum infusion*

Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Normal-procedure-for-vacuum-infusion-process-9_fig1_325017393

Vacuum infusion memiliki kelebihan beberapa kelebihan dan kekurangan. Menurut Eka et al, (2016) kelebihan vacuum infusion diantaranya hasil lapisan yang tipis, resin lebih merata dan menambah kekuatan hasil komposit. Untuk kekurangannya sendiri Eka et al, (2016) berpendapat bahwa *vacuum infusion* memiliki kekurangan dari segi biaya peralatan dan produksi yang mahal.

2.2.5 Pengujian Kekakuan(Uji *Bending*)

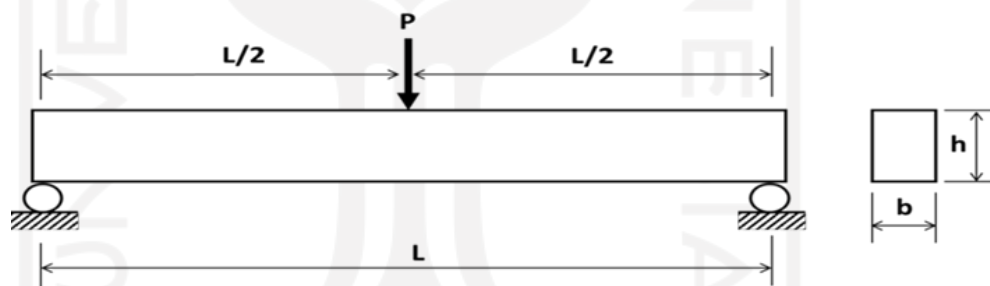
Pengujian *bending* adalah proses pembebanan suatu material pada titik tengah suatu material yang ditahan pada dua penyangga kiri dan kanan. Ketika material uji dikenai beban maksimum, ia mengalami perubahan bentuk, yang disebut deformasi. Untuk mengetahui material mana yang baik hasil ujinya(Izma Adriansyah, 2021).



Gambar 2-5 Alat uji *Three Point Bending*

Sumber: Laboratorium Logam Politeknik Sanatha Dharma

Pembebanan luas penampang dan momen inersia pada komposit *Sandwich* berbeda pada perhitungan batang pejal. Luas penampang dan momen inersia komposit *Sandwich* dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 2-6 Pengujian Lentur pada komposit *sandwich*

Rumus - rumus yang digunakan untuk menghitung hasil uji *Bending* sebagai berikut:

- A. Besar Tegangan maksimal

$$\sigma b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

- B. Modulus Elastisitas

$$Eb = \frac{P \times L^3}{48 \times I \times \delta}$$

- C. Momen Inersia

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

D. Kekakuan

$$D = E_b \times I$$

E. Kekakuan Spesifik

$$D_{spesifik} = \frac{D}{m}$$

Keterangan :

σ_b = Tegangan *Bending* (N/mm^2)

E_b = Modulus Elastisitas *Bending* (N/mm^2)

P = Beban yang diberikan (N)

L = Jarak antara titik tumpuan (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

h = Tebal spesimen (mm)

D = Kekakuan (GPa)

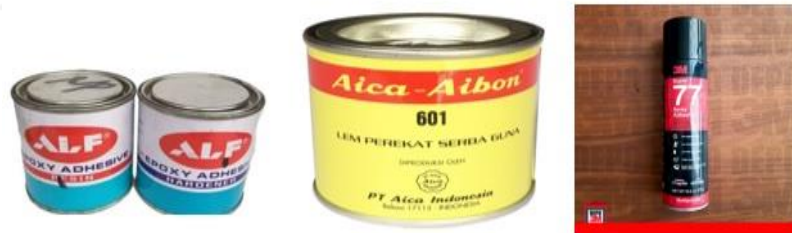
δ = Defleksi (mm)

m = Massa Spesimen(gram)

I = Momen inersia (mm^4)

2.2.6 Penggunaan *Adhesive* di Komposit *Sandwich*

Untuk mengikat *skin* dan *core* pada komposit *sandwich*, diperlukan sebuah *adhesive*. Wisnu & Ariawan, (2011) berpendapat bahwa suatu komposit *Sandwich* dengan sifat mekanik yang baik, selain memerlukan *skin* dan *core* yang kuat, diperlukan juga suatu perekat(*adhesive*) yang tepat agar dapat menciptakan ikatan yang kuat antara *skin* dan *core*, serta menjadi penerus beban yang baik dari *skin* menuju *core*.



Gambar 2-7 Perekat epoxy, aibon dan *spray* 3M

Adhesive yang dipakai pada penelitian adalah Spray 3M, Aibon dan Epoxy yang dapat dilihat pada gambar diatas.

2.2.7 Proses *Curing*.

Proses *curing* adalah proses polimerisasi atau pemanasan material komposit agar resin mempunyai daya ikat yang tinggi pada serat, yang dilakukan diatas temperatur kamar (Utomo & Drastiawati, 2021). Menurut Utomo & Drastiawati, (2021) meningkatnya temperatur *curing* dapat menyebabkan terjadinya peningkatan kecepatan *curing* sehingga dapat memberikan *cross-linking* (ikatan silang) pada material komposit, tetapi kekakuan material menurun.



Gambar 2-8 Proses *curing* spesimen komposit *sandwich*

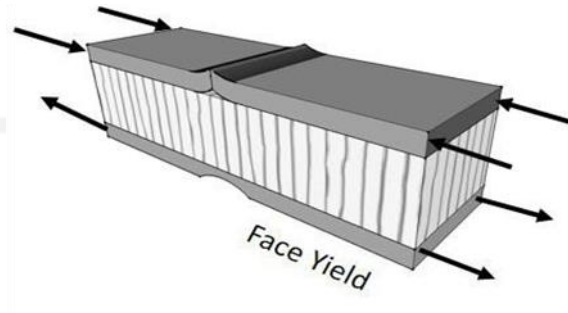
Proses *curing* dilakukan dengan cara memanaskan material benda uji pada temperatur tertentu, namun apabila dipanaskan melebihi Tg (*glass transition temperature*) akan menyebabkan material tersebut menjadi ulet dan jika temperatur tersebut ditingkatkan lagi material akan menjadi leleh dan mencair (Prastyadi, 2017).

2.2.8 Modus Kegagalan Komposit *Sandwich*.

Tidak jarang material komposit *sandwich* mengalami beban yang berlebih, yang dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan pada material komposit *Sandwich*. Menurut Petras, (1998) ada beberapa kegagalan yang biasanya terjadi komposit *Sandwich* diantaranya:

- *Face Yield*

Face yield biasanya terjadi akibat tegangan normal yang melebihi tegangan luluh pada material *skin*.

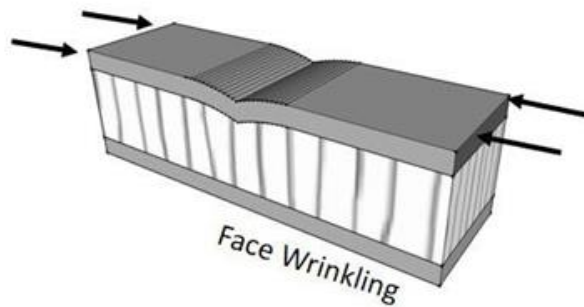


Gambar 2-9 *Face yield*

Sumber: Petras, (1998)

- *Face Wrinkling*

Face wrinkling merupakan fenomena yang terjadi pada bagian atas material komposit *sandwich*, yang disebabkan oleh beban tekan serta *support* yang kurang dari *core* karena dimensi *core* yang berlebihan.

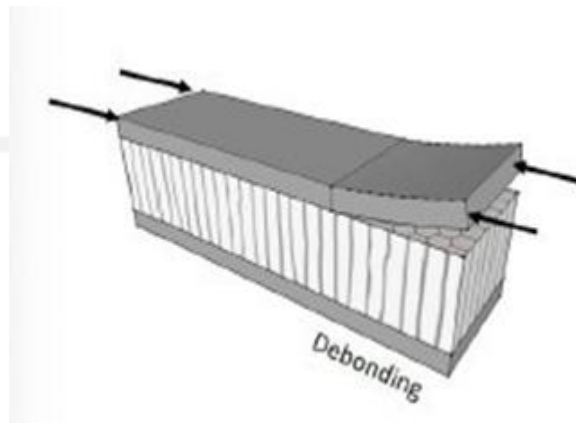


Gambar 2-10 *Face wrinkling*

Sumber: Petras, (1998)

- *Debonding*

Debonding adalah fenomena terlepasnya *skin* dari *core*.

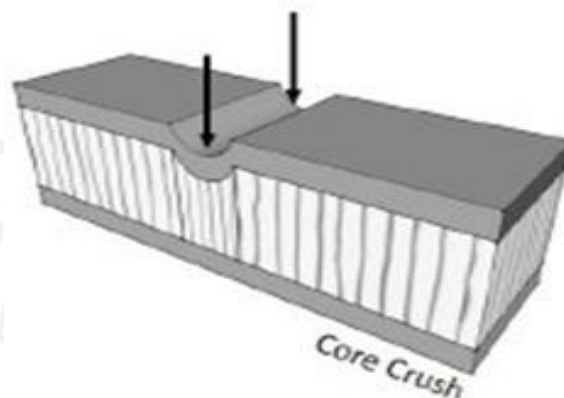


Gambar 2-11 *Debonding*

Sumber: Petras, (1998)

- *Core Crush*

Core crush merupakan kegagalan *core* yang mengalami perubahan bentuk pada bagian tengah setelah menerima beban yang melebihi batas maksimal.



Gambar 2-12 *Core crush*

Sumber: Petras, (1998)

- *Core Shear*

Core Shear merupakan kegagalan perubahan bentuk yang terjadi pada material komposit *Sandwich* akibat pemberian beban.

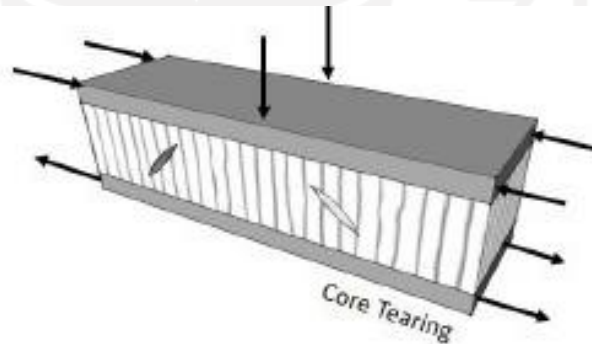


Gambar 2-13 *Core shear*

Sumber: Petras, (1998)

- *Core Tearing*

Core Tearing adalah fenomena kegagalan yang terjadi saat *core* mengalami pecah atau bagian *core* yang terlepas akibat gaya gesek.



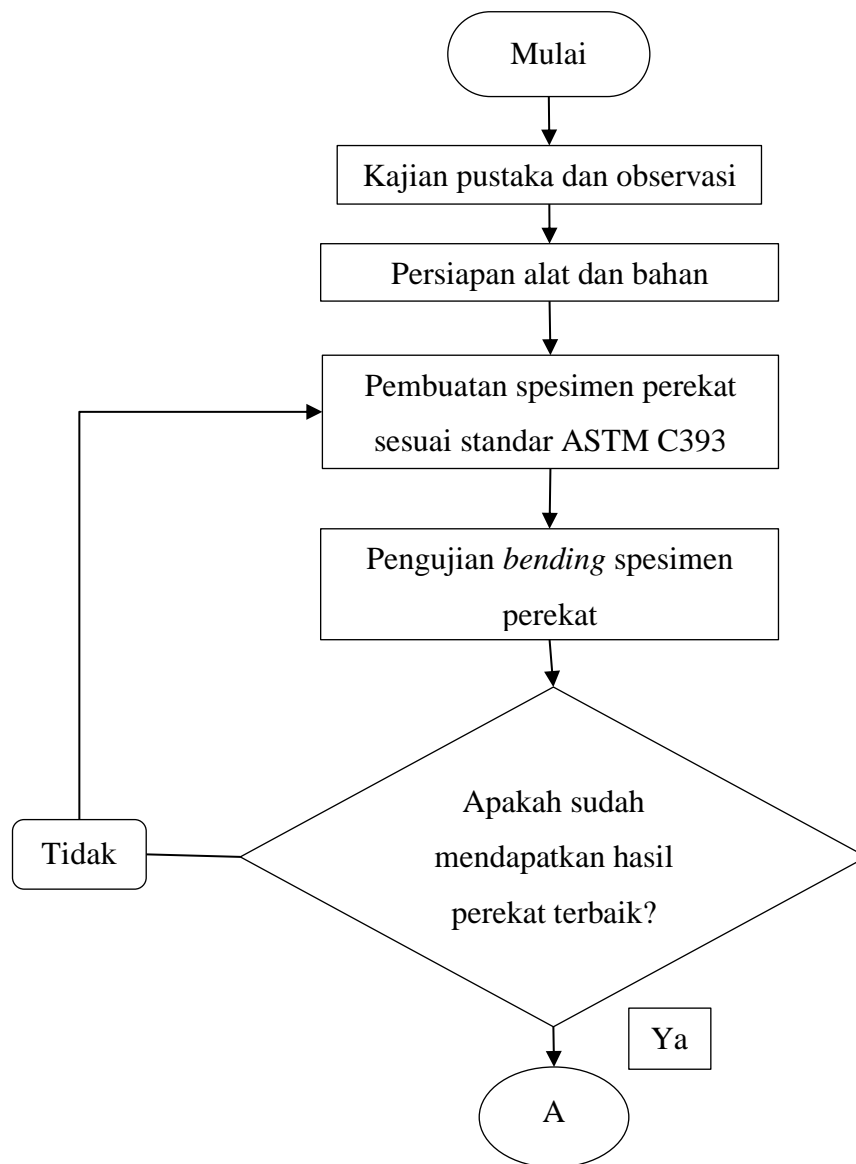
Gambar 2- 14 *Core tearing*

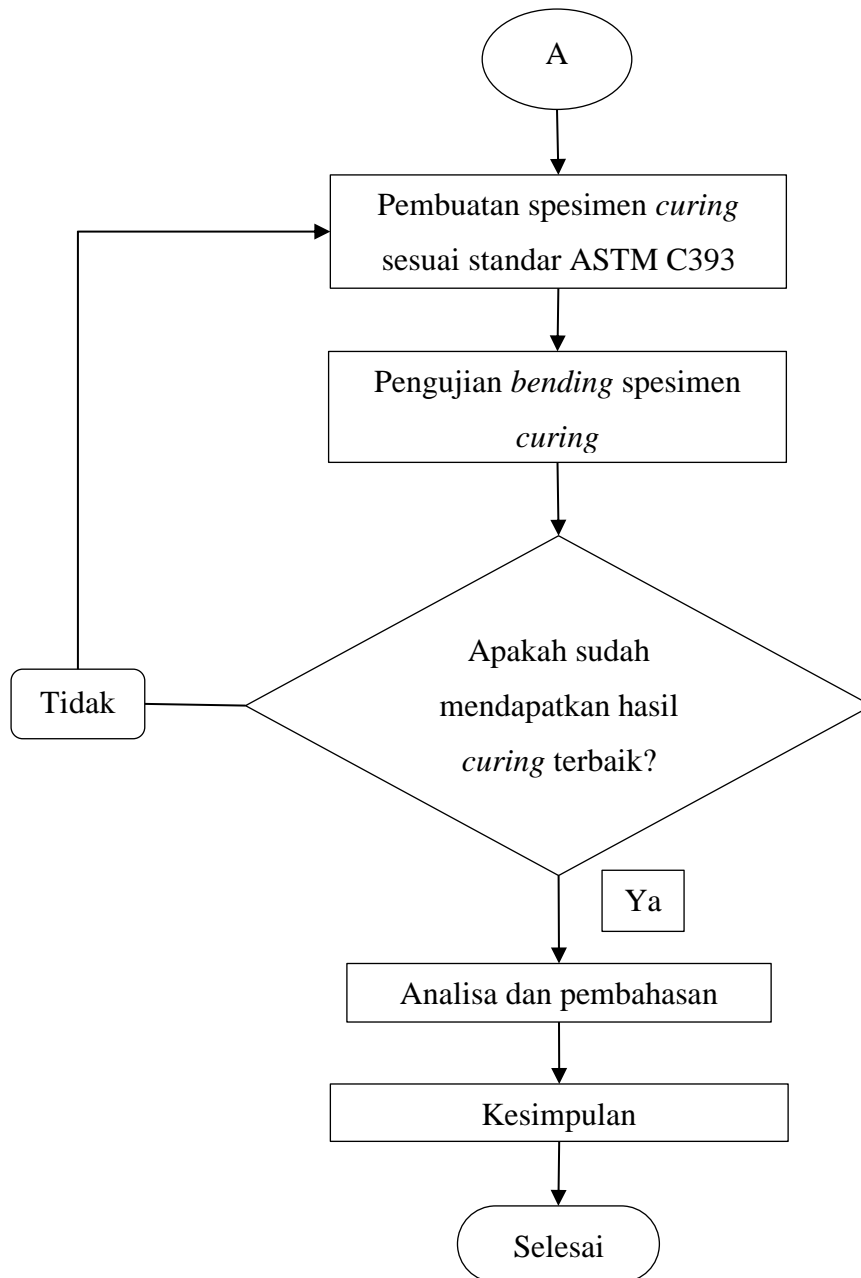
Sumber: Petras, (1998)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Berikut alur penelitian yang akan dilakukan:





Gambar 3-1 Diagram alur penelitian

3.2 Parameter Penelitian

Pada penelitian ini, digunakan beberapa parameter tetap dan parameter variasi diantaranya:

3.2.1 Parameter Variasi dan Tetap Spesimen Perekat

Pada table 3-1 merupakan parameter tetap dan variasi yang digunakan pada spesimen perekat.

Tabel 3-1 Parameter tetap dan variasi pada spesimen perekat

No	Parameter Tetap		Parameter Variasi
	Rasio Resin dan Hardener	Tekanan <i>Vacuum</i>	Jenis Perekat
1	60:40	-14 Psi	Perekat Spray 3M
2	60:40	-14 Psi	Perekat Aibon
3	60:40	-14 Psi	Perekat Epoxy

3.2.2 Parameter Variasi dan Tetap Spesimen *Curing*

Pada table 3-2 merupakan parameter tetap dan variasi yang digunakan pada spesimen perekat.





Tabel 3- 2 Parameter tetap dan variasi pada spesimen *curing*





No	Parameter Tetap			Parameter Variasi
	Rasio Resin dan Hardener	Perekat/ Adhesive	Tekanan Vacuum	Suhu Curing
1	60 : 40	Epoxy	-14 Psi	Curing Suhu 27°C
2	60:40	Epoxy	-14 Psi	Curing Suhu 40°C
3	60:40	Epoxy	-14 Psi	Curing Suhu 60°C

3.3 Peralatan dan Bahan

Dalam melakukan pengerjaan penelitian tugas akhir ini, digunakan beberapa peralatan dan bahan untuk mendukung penelitian seperti ditunjukkan pada tabel 3-1 dan tabel 3-2

Tabel 3- 3 Daftar alat


No	Nama Alat	Gambar
1	Pompa Vakum	
2	Tabung Resin Trap	
3	Timbangan	
4	Keran	

5	Selang Resin	
6	Selang Spiral	
7	Mesin 3D Print	
8	Mesin Cure	

Tabel 3- 4 Bahan Penelitian

No	Nama Bahan	Gambar
1	Fillament ABS+	
2	Resin Epoxy dan Katalis	
4	Selotip Kertas	
5	Lem Epoxy	
6	Lem Aibon	

7	Lem Spray 3M	
8	Karbon Woven	
9	<i>Butyl Tape</i>	

10	Peel Ply	
11	Vacuum Bag	
12	Kain Strimin	
13	Wax mold	

3.4 Spesifikasi Teknik Resin Epoxy

Untuk spesifikasi detail resin epoxy yang digunakan sebagai matriks komposit *sandwich*, dapat dilihat pada gambar 3-2.

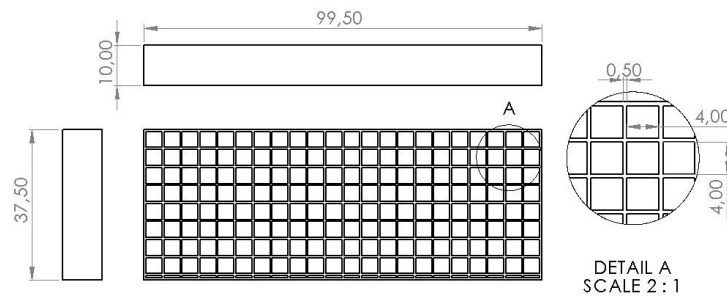
PHYSICAL PROPERTIES:			
* Color (before cure):	Part A: Clear to slight yellow	Part B: Yellow	
* Consistency:	Pourable liquid		
* Viscosity (23°C) @ 50 rpm:	3,500-5,000	cPs	
Thixotropic Index:	N/A		
* Glass Transition Temp:	≥ 110	°C	(Dynamic Cure: 20-200°C/ISO 25 Min; Ramp -10-200°C @20°C/Min)
Coefficient of Thermal Expansion (CTE):			
Below Tg:	31	x 10 ⁻⁶ in/in°C	
Above Tg:	132	x 10 ⁻⁶ in/in°C	
Shore D Hardness:	88		
Lap Shear @ 23°C:	> 2,000	psi	
Die Shear @ 23°C:	≥ 20	Kg	7,112 psi
Degradation Temp:	413	°C	
Weight Loss:			
@ 200°C:	0.48	%	
@ 250°C:	0.71	%	
@ 300°C:	1.24	%	
Suggested Operating Temperature:	< 350	°C	(Intermittent)
Storage Modulus:	387,556	psi	
Ion Content			
Cl ⁻ :	27 ppm	Na ⁺ :	2 ppm
NH ₄ ⁺ :	519 ppm	K ⁺ :	4 ppm
Particle Size:	N/A		
ELECTRICAL AND THERMAL PROPERTIES:			
Thermal Conductivity:	N/A		
Volume Resistivity @ 23°C:	≥ 3 x 10 ¹²	Ohm-cm	
Dielectric Constant (1KHz):	2.62		
Dissipation Factor (1KHz):	0.003		
OPTICAL PROPERTIES @ 23°C:			
Spectral Transmission:	> 90% @ 640-800	nm	
	> 94% @ 820-1620	nm	
Refractive Index:	1.5704 @589	nm	

Gambar 3-2 Datasheet resin epoxy Eposchone

Sumber: (EPO-TEK, 2019)

3.5 Dimensi Spesimen

Spesimen komposit *sandwich* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan standar ASTM C393, dengan *infill* 100%.

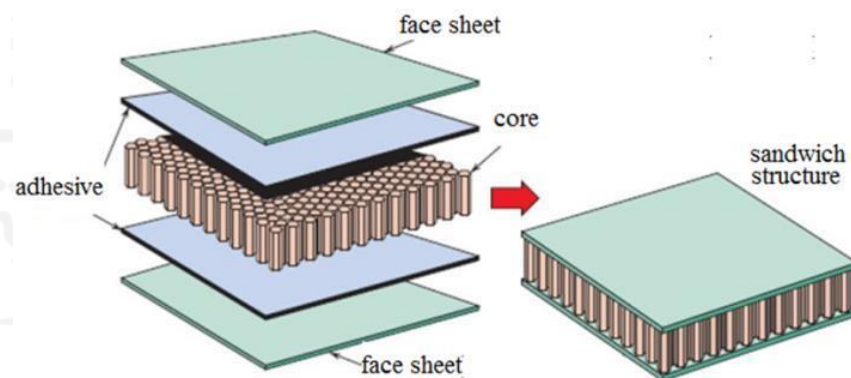


Gambar 3-3 Dimensi Spesimen

Pada Gambar 3-3 diperlihatkan dimensi Spesimen uji yang akan dibuat pada penelitian ini, dengan panjang 100mm, lebar 37,5mm, tebal 10mm. Untuk ukuran panjang dan tinggi rongga *Square* yaitu 4mm dan 4mm.

3.6 Komposisi Komposit *Sandwich*

Susunan komposisi komposit *sandwich* dapat dilihat pada gambar 3-4.



Gambar 3-4 Komposisi komposit *sandwich*

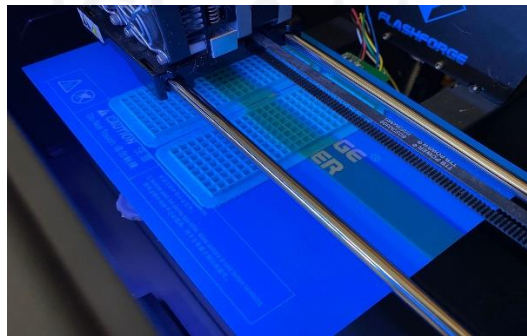
Pada gambar 3-4 menunjukkan Ilustrasi lapisan pada komposisi komposit *sandwich* yang akan digunakan pada penelitian ini, dimana jumlah lapisan karbon

yang dipakai hanya 1 lapis dan tebal *core* 10mm. *core* akan diberikan perekat sebelum ditempel pada karbon.

3.7 Proses Pengerjaan

Berikut tahapan proses pengerjaan spesimen:

3.7.1 Pembuatan *Core* menggunakan Mesin 3D Print



Gambar 3- 5 Pembuatan *Core* dengan Menggunakan Mesin 3D Print

Pada Gambar 3-5 menunjukkan proses pembuatan *Core* Komposit *Sandwich* dengan ukuran sesuai standar uji ASTM C393 dengan memakai mesin 3D Print. Pembuatan Spesimen uji memakai filament berbahan ABS+ (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*). Menggunakan infill 100%.

3.7.2 Proses *Vacuum Infusion*

1. Mengolesi spesimen dengan perekat serta menempelkan selotip pada *Core*.

Pada gambar 3.6 terlihat sebuah *core* spesimen yang telah diolesi perekat dan diberi selotip kertas. Tujuan ditempelnya selotip kertas yaitu agar resin yang masuk saat vakum infusikan tidak menembus rongga *Core* 3D Print.



Gambar 3-6 Spesimen yang sudah diberi perekat dan selotip kertas

2. Mengolesi Perekat(*adhesive*) pada *core* dan merekatkan karbon.

Pada gambar 3-7 diperlihatkan *Core* yang telah diberi perekat (*adhesive*) serta karbon. Perekat diolesi secara merata pada permukaan *Core*, kemudian disusul dengan merekatkan karbon pada permukaan yang telah diolesi perekat(*adhesive*).



Gambar 3-7 Spesimen yang telah diolesi perekat(*adhesive*) dan karbon

3. Menyusun Plastik Vakum dan *Butyl Tape*.



Gambar 3-8 Susunan plastik vakum dan *butyl tape*

Pada gambar 3.8 ditunjukkan susunan *butyl tape* dan plastik vakum untuk persiapan *vacuum infusion*.

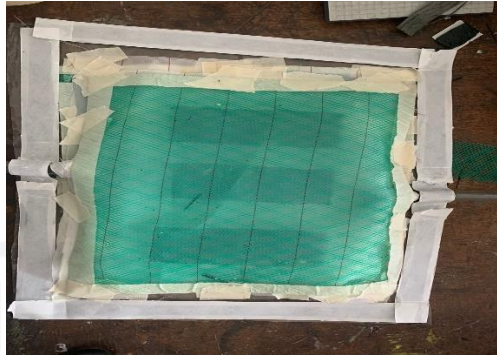
4. Menyusun Strimin, Peel Ply, dan Spesimen Karbon di Plastik Vakum.



Gambar 3-9 Susunan Strimin, *peel ply* dan *core* di plastik vakum

Pada Gambar 3-9 diperlihatkan sebuah susunan Strimin, Peel Ply, dan Spesimen Karbon di Plastik Vakum. Pada Plastik Vakum juga telah dipasang selang spiral yang bertujuan untuk resin dapat menyebar ke semua bagian saat proses pemvakuman.

- Menyusun *Peel Ply*, Strimin Dan Plastik Vakum di Atas Susunan Langkah ke 4.



Gambar 3-10 Susunan akhir vakum *infusion*.

Pada gambar 3-10 diperlihatkan susunan akhir rangkaian vakum *infusion*. Susunan sama seperti langkah ke 4 yang disusun pada bagian atas agar sesuai dengan urutan pada gambar 3-3.

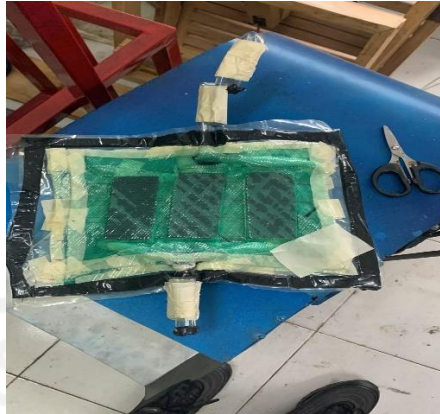
- Membuat campuran resin dan katalis.



Gambar 3-11 Membuat campuran resin dan katalis

Pada Gambar 3-11 diperlihatkan proses pencampuran Resin dan katalis. Untuk takaran resin dan katalis yang dipakai yaitu 60:40 gram.

7. Melaksanakan Proses Vakum *Infusion*



Gambar 3-12 Proses vakum *infusion*

Pada gambar 3-12 dapat dilihat bahwa proses vakum menggunakan 2 input, input pertama pompa vakum, input kedua sebagai tempat masuknya resin.

3.7.3 Proses *Curing*



Gambar 3-13 Proses *curing*

Pada gambar 3-13 terlihat spesimen yang telah melewati proses Vacuum Infusion diberi perlakuan *Curing* pada mesin Cure. Untuk suhu *curing* yang dipakai adalah 40°C dan 60°C dengan waktu 60 menit.

3.7.4 Hasil Setelah *Vacuum Infusion*

Pada gambar 3-14 menunjukkan hasil *vacuum infusion*. Untuk kode E diberikan kepada specimen dengan perekat Epoxy.



Gambar 3-14 Hasil setelah vakum *infusion*

3.8 Pengujian *Bending*

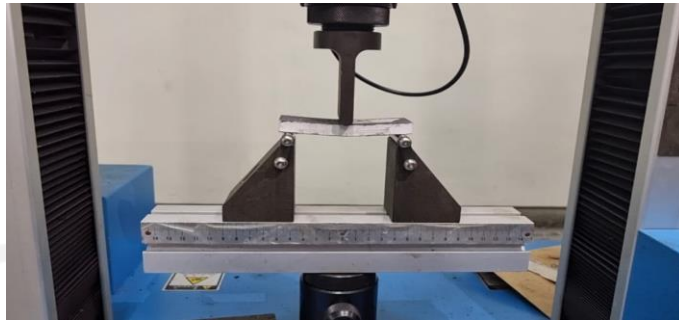
Pengujian spesimen yang dilakukan adalah pengujian *bending*, yaitu untuk mencari nilai kekakuan dari spesimen. Pengujian *bending* ini mengacu pada standar pengujian *Bending* ASTM C393.



Gambar 3- 15 Jarak *span* untuk pengujian

Pada gambar 3-15 merupakan jarak *span* yang digunakan untuk pengujian dengan jarak 75mm. Setelah itu specimen uji komposit *sandwich* diberi beban

bending sampai spesimen mengalami pembengkokan, dapat dilihat pada gambar 3-16.



Gambar 3- 16 Spesimen yang diberi beban *bending*

Setelah diberi beban *bending* maka di dapat hasil uji *bending*, dapat dilihat pada gambar 3-17.



Gambar 3-17 Spesimen hasil uji *bending*

Pada gambar 3-17 diperlihatkan sebuah perubahan bentuk pada spesimen komposit *sandwich*. Untuk lokasi pengujian *bending*, dilakukan di Lab Logam POLITEKNIK Sanata Dharma.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Variasi Perekat Terhadap Tegangan *Bending*, Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Kekakuan Spesifik

Pada sub bab ini akan membahas analisis terkait pengaruh jenis perekat terhadap tegangan bending, modulus elastisitas, kekakuan dan kekakuan spesifik

4.1.1 Pengaruh Jenis Perekat Terhadap Tegangan Bending.

Berikut data variabel terkait tegangan *bending* pada spesimen perekat, yang dapat dilihat pada tabel 4-1.

Tabel 4- 1 Data variabel tegangan *bending* variasi perekat

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
Spray 3M	188,32	75	37,35	10,68
Aibon	203,95	75	37,38	10,74
Epoxy	391,25	75	37,31	11,08

Berikut contoh perhitungan tegangan *bending* maksimal spesimen epoxy, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $b = 37,35 \text{ mm}$ $h = 11,02 \text{ mm}$

$P = 391,25 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$

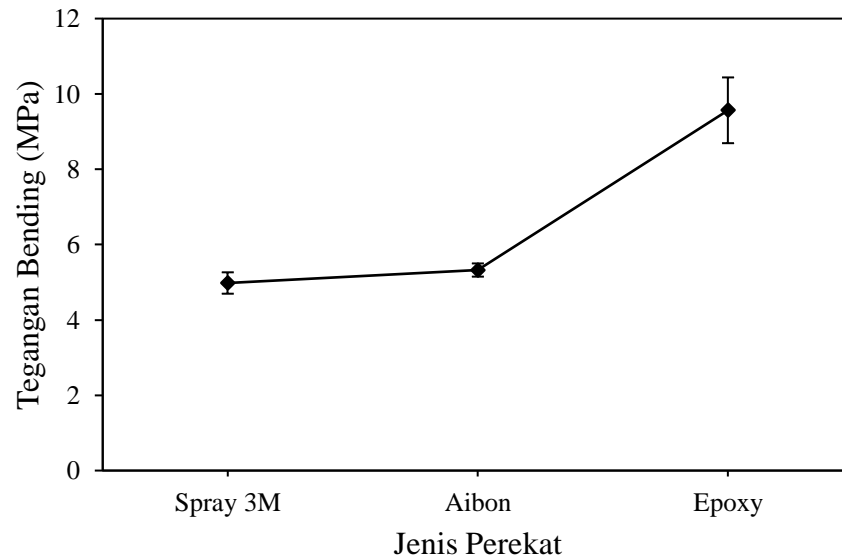
Tegangan *Bending*

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 391,25 \times 75}{2 \times 37,35(11,02)^2}$$

$$\sigma_b = 9,57 \text{ MPa}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka dapat dilihat pada gambar 4-1 menunjukkan grafik analisa pengaruh penggunaan perekat terhadap tegangan *bending* komposit *sandwich core 3D printing*.



Gambar 4-1 Pengaruh variasi perekat terhadap tegangan *bending* komposit *sandwich*

Penggunaan perekat jenis epoxy dapat meningkatkan tegangan *bending*, karena perekat jenis epoxy memiliki nilai tegangan *bending* paling tinggi sebesar 9,57 MPa, sedangkan nilai tegangan *bending* terendah pada perekat *Spray 3M* 4,98 MPa dan Aibon 5,32 MPa. Hal ini disebabkan karena perekat epoxy mampu membentuk ikatan antar *skin* dan *core* yang lebih baik, sehingga tegangan *bending* yang dihasilkan lebih besar jika dibandingkan dengan perekat *spray 3M* dan aibon (Wijang & Ariawan, 2011).

4.1.2 Pengaruh Jenis Perekat Terhadap Modulus Elastisitas

Berikut data variabel terkait modulus elastisitas pada spesimen perekat, yang dapat dilihat pada tabel 4-2.

Tabel 4-2 Data variabel modulus elastisitas spesimen perekat

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	δ (mm)	I
Spray 3M	188,32	75	37,35	10,68	4,07	3788,63
Aibon	203,95	75	37,38	10,74	3,51	3855,49
Epoxy	391,25	75	37,31	11,08	3,62	4157,40

Berikut contoh perhitungan modulus elastisitas spesimen perekat epoxy, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $b = 37,31 \text{ mm}$ $h = 11,02 \text{ mm}$ $\delta = 3,62 \text{ mm}$
 $P = 391,25 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$ $I = 4157,40 \text{ mm}^4$

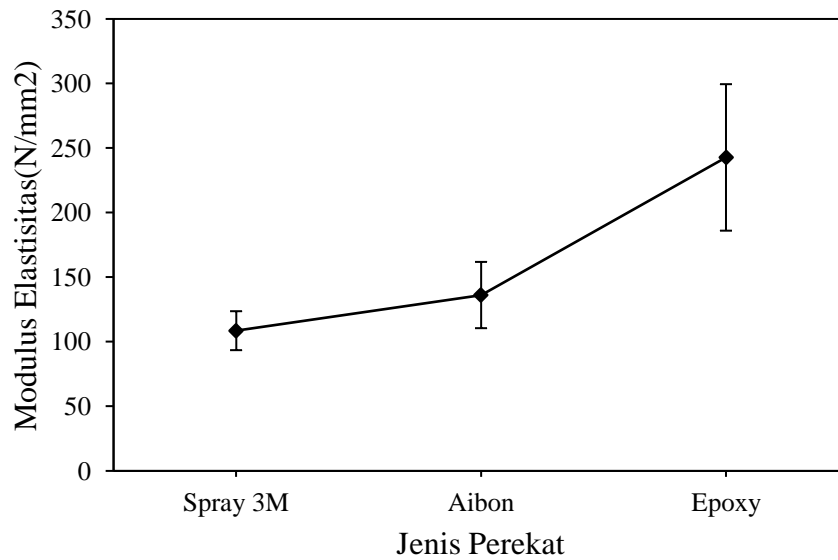
Modulus Elastisitas

$$Eb = \frac{P \times L^3}{48 \times I \times \delta}$$

$$Eb = \frac{391,25(75)^3}{48 \times 4157,40 \times 3,62^3}$$

$$Eb = 242,77 \text{ N/mm}^2$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka dapat dilihat pada gambar 4-2 menunjukkan pengaruh penggunaan perekat terhadap modulus elastisitas komposit *sandwich core 3D printing*.



Gambar 4-2 Pengaruh perekat terhadap modulus elastisitas komposit *sandwich core 3D printing*.

Dari grafik analisa di atas, merupakan perbandingan modulus elastisitas yang dihasilkan dari setiap variasi perekat, penggunaan perekat dapat mempengaruhi hasil modulus elastisitas yang dihasilkan komposit *sandwich core 3D printing*. Penggunaan perekat epoxy pada komposit *sandwich core 3D printing* menghasilkan modulus elastisitas yang tinggi sebesar 242,77 N/mm² dibandingkan perekat *spray 3M* sebesar 108,60 N/mm² dan aibon 136,20 N/mm².

4.1.3 Pengaruh Jenis Perekat Terhadap Kekakuan

Berikut data variabel terkait kekakuan spesimen perekat yang dapat dilihat pada tabel 4-3.

Tabel 4-3 Data variabel kekakuan spesimen perekat

Kode Spesimen	E_b (N/ mm^2)	b (mm)	h (mm)
Spray 3M	108,60	37,35	10,68
Aibon	136,20	37,38	10,74
Epoxy	242,77	37,31	11,08

Berikut contoh perhitungan kekakuan spesimen perekat epoxy, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $E_b = 242,77N/mm^2$

$$b = 37,31 \text{ mm}$$

$$h = 11,02 \text{ mm}$$

1. Momen Inersia

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

$$I = \frac{1}{12} \times 37,31 \times (11,08)^3$$

$$I = 4157,40 \text{ mm}^4$$

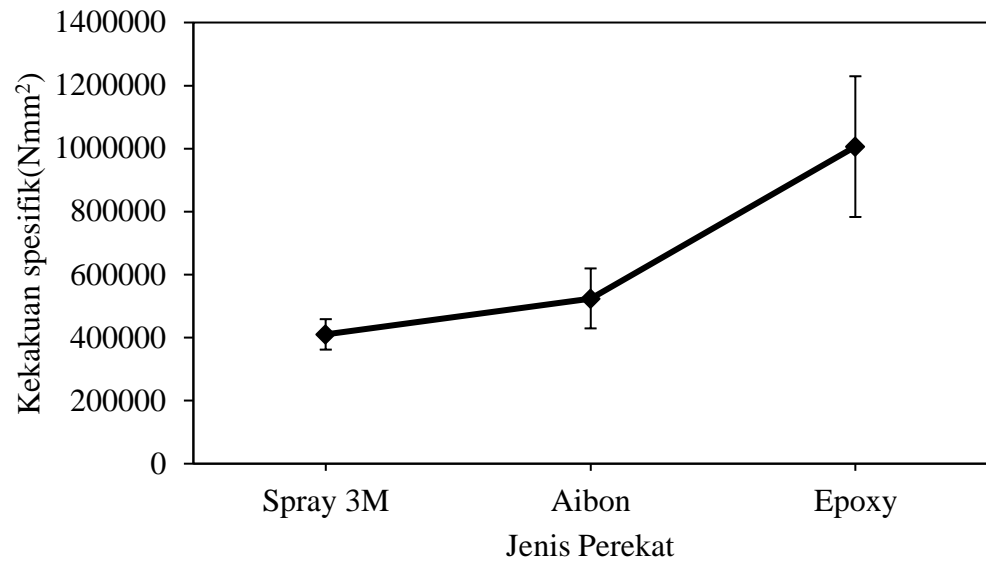
2. Kekakuan

$$D = E_b \times I$$

$$D = 242,77 \times 4.157,40$$

$$D = 1.006.209,32 \text{ Nmm}^2$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat, maka dapat diketahui grafik pada Gambar 4-3 menunjukkan pengaruh variasi perekat terhadap nilai Kekakuan Komposit *sandwich core 3D printing*.



Gambar 4-3 pengaruh variasi perekat terhadap nilai kekakuan komposit *sandwich*.

Dari grafik analisa di atas merupakan perbandingan kekakuan yang dihasilkan dari setiap variasi perekat, penggunaan perekat dapat mempengaruhi kekakuan pada yang dihasilkan komposit *sandwich*. Penggunaan perekat jenis epoxy dapat meningkatkan kekakuan, karena perekat jenis Epoxy memiliki nilai Kekakuan 1.006.209,32 Nmm² paling tinggi jika dibandingkan dengan *spray 3M* 410.337,68 Nmm² dan aibon 524.510,34 Nmm².

4.1.4 Pengaruh Jenis Perekat Terhadap Kekakuan Spesifik.

Berikut data variabel terkait kekakuan yang dapat dilihat pada tabel 4-3:

Tabel 4-4 Data variabel kekakuan spesifik spesimen Perekat

Kode Spesimen	D (Nmm^2)	m (gr)
Spray 3M	410.337,68	12,21
Aibon	524.510,34	13,34
Epoxy	1.006.209,32	15,11

Berikut contoh perhitungan kekakuan spesifik spesimen perekat epoxy, dengan contoh sebagai berikut :

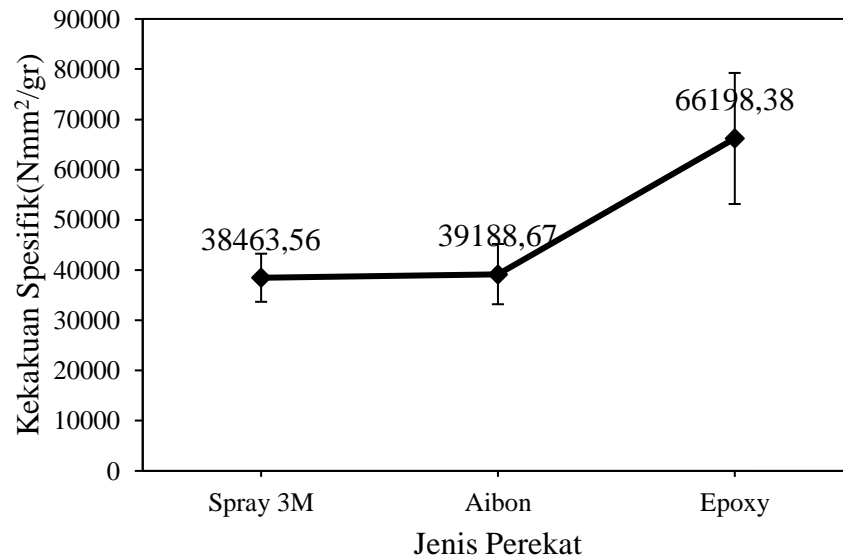
Diketahui : $D = 1.006.209,32 \text{ N/mm}^2$

$m = 15,11 \text{ gr}$

$$D \text{ spesifik} = \frac{D}{m}$$

$$D \text{ spesifik} = \frac{1.006,209,32}{15,11}$$
$$= 66.198,38 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat, maka dapat diketahui grafik pada Gambar 4-4, menunjukkan pengaruh variasi perekat terhadap nilai Kekakuan Komposit *Sandwich core 3D Printing*.



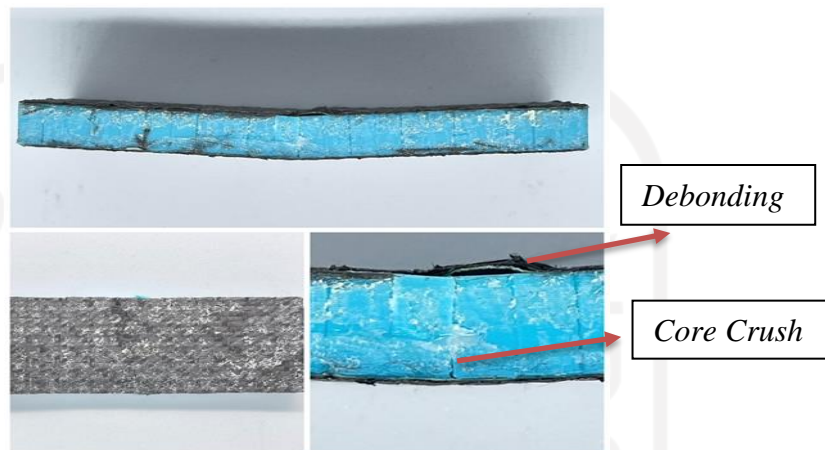
Gambar 4-4 Pengaruh variasi perekat terhadap nilai kekakuan spesifik komposit *sandwich*.

Dari gambar di atas, penggunaan perekat dapat mempengaruhi kekakuan spesifik yang dihasilkan komposit *sandwich core 3D printing*. Penggunaan perekat jenis epoxy dapat meningkatkan kekakuan spesifik, karena perekat jenis epoxy memiliki nilai kekakuan spesifik 66.198,38 Nmm²/gram paling tinggi diantara nilai kekakuan spesifik perekat *spray 3M* 38.463,56 Nmm²/gram dan aibon 39.188,67 Nmm²/gram.

4.1.5 Analisa Modus Kegagalan Variasi Perekat.

Berikut hasil Analisa modus kegagalan pada variasi perekat:

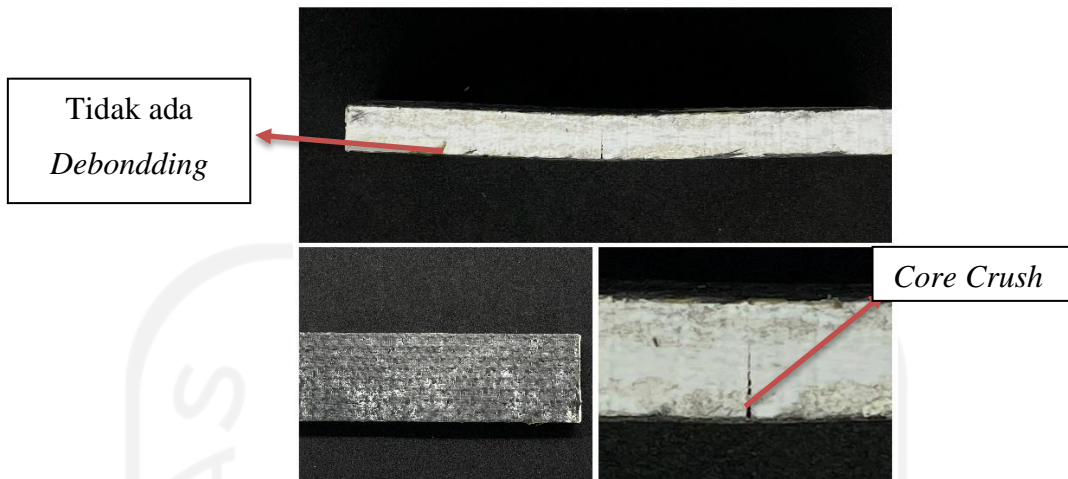
Pada Gambar 4-5, terlihat Analisa modus kegagalan pada spesimen uji variasi perkat *spray* 3M. mengalami *core crush* dimana *core* mengalami retakan. *skin* pada spesimen uji mengalami *debonding*.



Gambar 4-5 Analisa Modus kegagalan spesimen perekat *spray* 3M

Pada spesimen perekat *spray* 3M *core crush* dan *skin* pada spesimen uji mengalami *debonding*. Terjadinya fenomena *core crush* disebabkan karena *core* tidak sanggup menahan beban maksimal yang diberikan. Terjadinya fenomena *debonding*, disebabkan oleh tidak mampunya perekat *spray* 3M menahan ikatan antara *skin* dan *core* pada saat proses uji bending. Hal ini disebabkan karena sifat tidak permanen pada perekat *spray* 3M, yang dimana perekat *spray* 3M bisa merekatkan dan juga bisa dilepaskan.

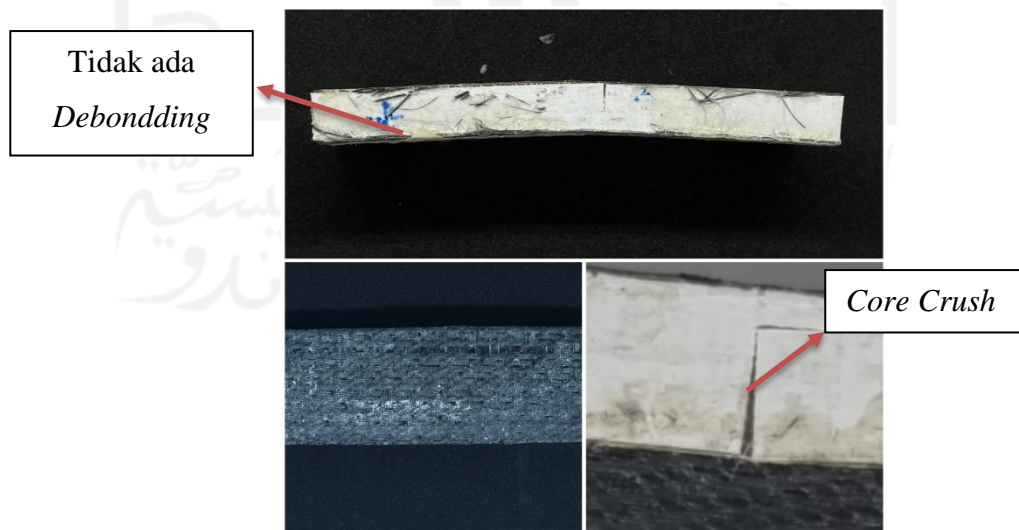
Pada gambar 4-6 terlihat Analisa modulus kegagalan spesimen uji variasi perekat aibon.



Gambar 4-6 Analisa modulus kegagalan spesimen perekat aibon

Pada gambar di atas, Spesimen Perekat Aibon mengalami *core crush* dimana *core* mengalami retakan serta *skin* pada spesimen uji tidak mengalami *debonding*. Dapat diketahui bahwa perekat aibon mampu menahan ikatan antara *skin* dan *core* pada komposit *sandwich core 3D printing*, sehingga fenomena *debonding* bisa dicegah.

Pada gambar 4-7 menunjukkan hasil Analisa modulus kegagalan pada spesimen uji variasi perekat epoxy



Gambar 4-7 Analisa modulus kegagalan spesimen perekat epoxy

Terlihat pada gambar di atas, mengalami *core crush* dimana *core* mengalami retakan, serta *skin* pada spesimen uji tidak mengalami *debonding*. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat diketahui bahwa perekat Epoxy mampu menahan ikatan antara *skin* dan *core* pada komposit *sandwich core 3D printing* sehingga fenomena *debonding* bisa dihindari.

4.2 Pengaruh *Curing* Terhadap Tegangan *Bending*, Modulus Elastisitas, Modulus Elastisitas, Kekakuan dan Kekakuan Spesifik

Pada sub bab ini akan membahas analisis terkait pengaruh *curing* terhadap tegangan bending, modulus elastisitas, kekakuan dan kekakuan spesifik.

4.2.1 Pengaruh *Curing* Terhadap Tegangan *Bending*.

Berikut data variabel terkait tegangan *bending* yang dapat dilihat pada tabel 4-5.

Tabel 4- 5 Data variabel tegangan *bending* spesimen *curing*

Suhu <i>curing</i>	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
27	391,25	75	37,31	11,08
40	455,91	75	37,26	11,00
60	425,31	75	37,31	11,02

Berikut contoh perhitungan tegangan *bending* maksimal spesimen curing 40°C, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $b = 37,26 \text{ mm}$ $h = 11,00 \text{ mm}$
 $P = 455,91 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$

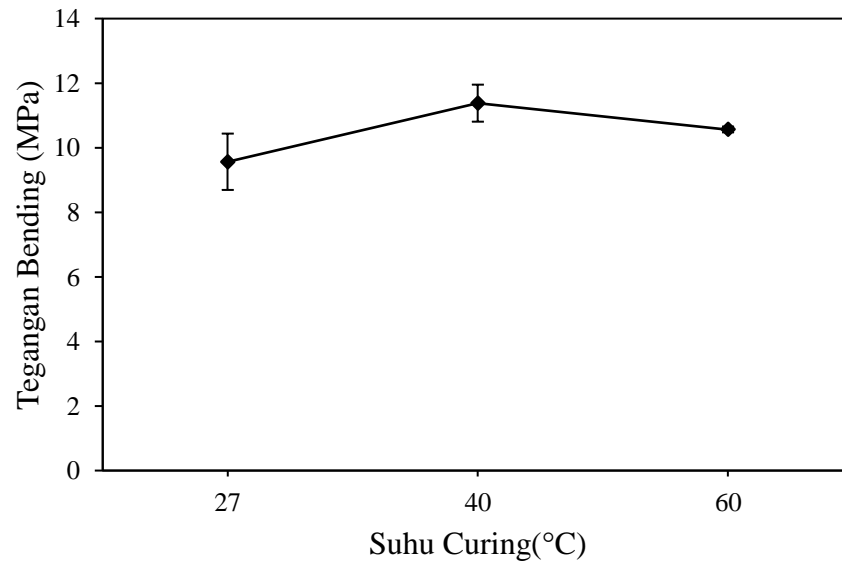
Tegangan *Bending*

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 455,91 \times 75}{2 \times 37,26(11,00)^2}$$

$$\sigma_b = 11,38 \text{ MPa}$$

Terlihat pada gambar 4-8, menunjukkan bahwa variasi *curing* dapat mempengaruhi hasil tegangan *bending* yang diterima oleh spesimen komposit *sandwich core 3D printing*.



Gambar 4-8 Pengaruh *curing* terhadap tegangan *bending* komposit *sandwich*

Dari analisa di atas, penggunaan *Curing* dapat mempengaruhi tegangan *bending* pada komposit *sandwich core 3D printing*. Peningkatan suhu *curing*, dapat meningkatkan hasil tegangan *bending* yang dihasilkan oleh komposit *sandwich core 3D printing*, *curing* 40°C memiliki Tegangan Bending 11,38 MPa lebih besar dari *curing* 60°C 10,57 MPa dan *curing* 27°C 9,57 MPa. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Utomo & Drastiawati, (2021) menjelaskan bahwa saat proses *curing* terjadi ikatan *cross-linking*, sehingga matriks memiliki ikatan yang tinggi pada *skin* komposit *sandwich*.

4.2.2 Pengaruh *Curing* Terhadap Modulus Elastisitas

Berikut data variabel terkait modulus elastisitas yang dapat dilihat pada tabel 4-6.

Tabel 4-6 data variabel modulus elastisitas spesimen curing

Suhu curing	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	δ (mm)	I
27	391,25	75	37,31	11,08	3,62	4251,84
40	455,91	75	37,26	11,00	4,86	4129,43
60	425,31	75	37,31	11,02	4,34	4157,40

Berikut contoh perhitungan modulus elastisitas spesimen perekat epoxy, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $b = 37,26 \text{ mm}$ $h = 11,00 \text{ mm}$ $\delta = 4,86 \text{ mm}$
 $P = 455,31 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$ $I = 4129,43 \text{ mm}^4$

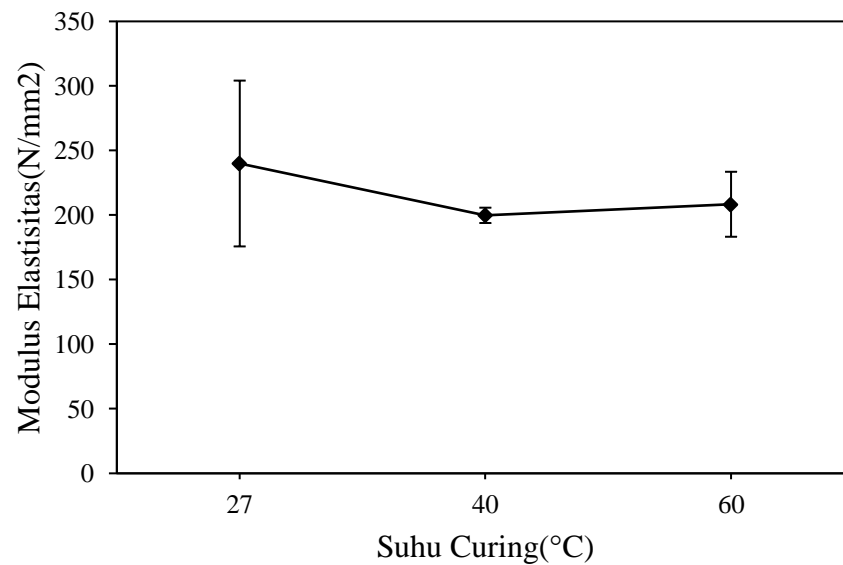
Modulus Elastisitas

$$Eb = \frac{P \times L^3}{48 \times I \times \delta}$$

$$Eb = \frac{455,31(75)^3}{48 \times 4129,43 \times 4,34^3}$$

$$Eb = 199,80 \text{ N/mm}^2$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka didapatkan grafik Analisa pengaruh *curing* terhadap nilai modulus elastisitas komposit *sandwich*. pada gambar 4-9.



Gambar 4-9 Pengaruh *curing* terhadap modulus elastisitas komposit *sandwich*.

Dari analisa di atas, penggunaan *curing* dapat mempengaruhi modulus elastisitas pada komposit *sandwich core 3D Printing*. Terlihat saat suhu *curing* meningkat, modulus elastisitas yang dihasilkan oleh komposit *sandwich* mulai berkurang. *curing* 27°C memiliki nilai modulus elastisitas 242,77 N/mm², lebih besar dari *curing* 60°C 208,37 N/mm² dan *curing* 40°C 199,80 N/mm². Hal ini disebabkan oleh besarnya defleksi yang dihasilkan oleh spesimen yang diberikan *curing*, sehingga modulus elastisitas pada spesimen curing mulai menurun.

4.2.3 Pengaruh *Curing* Terhadap Kekakuan

Berikut data variabel terkait kekakuan spesimen *curing* yang dapat dilihat pada tabel 4-7.

Tabel 4-7 Data variabel kekakuan spesimen *curing*

Suhu <i>curing</i>	E_b (N/ mm^2)	b (mm)	h (mm)
27	242,77	37,31	11,08
40	199,80	37,26	11,00
60	208,37	37,31	11,02

Berikut contoh perhitungan kekakuan spesimen perekat epoxy, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $E_b = 199,80N/mm^2$

$$b = 37,26 \text{ mm}$$

$$h = 11,00 \text{ mm}$$

3. Momen Inersia

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

$$I = \frac{1}{12} \times 37,26 \times (11,00)^3$$

$$I = 4129,43 \text{ mm}^4$$

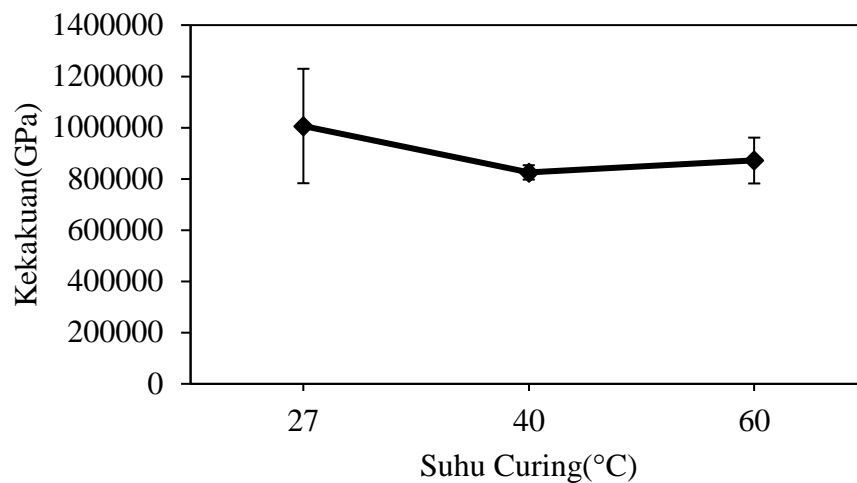
4. Kekakuan

$$D = E_b \times I$$

$$D = 199,80 \times 4.129,43$$

$$D = 825.139,67 \text{ Nmm}^2$$

Berdasarkan hasil hitungan yang di atas, maka didapatkan grafik pengaruh *curing* terhadap kekakuan komposit *sandwich*.



Gambar 4-10 Pengaruh *curing* terhadap nilai kekakuan komposit *sandwich*.

Dari grafik analisa di atas, penggunaan *curing* dapat mempengaruhi kekakuan pada komposit *sandwich core 3D printing*. *curing* 27°C memiliki nilai kekakuan 1.006.209,32 Nmm², lebih tinggi dari *curing* 60°C 871.386,80 Nmm² dan *curing* 40°C 825.139,67 Nmm². Peningkatan suhu *curing*, dapat mengurangi nilai Kekakuan yang dihasilkan oleh komposit *sandwich*. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Utomo & Drastiawati, (2021) yang menyatakan bahwa peningkatan temperatur *curing* dapat meningkatkan kekuatan *bending* material komposit *sandwich*, akan tetapi dapat mengurangi nilai kekakuan yang dihasilkan oleh komposit *sandwich*

4.2.4 Pengaruh *Curing* Terhadap Kekakuan Spesifik.

Berikut data variabel spesimen *curing* terkait kekakuan yang dapat dilihat pada tabel 4-8:

Tabel 4-8 Data variabel kekakuan spesifik spesimen Perekat

Suhu <i>curing</i>	D (Nmm ²)	m (gr)
27	1.006.209,32	15,11
40	825.139,67	15,63
60	871.386,80	15,59

Berikut contoh perhitungan kekakuan spesifik spesimen perekat epoxy, dengan contoh sebagai berikut :

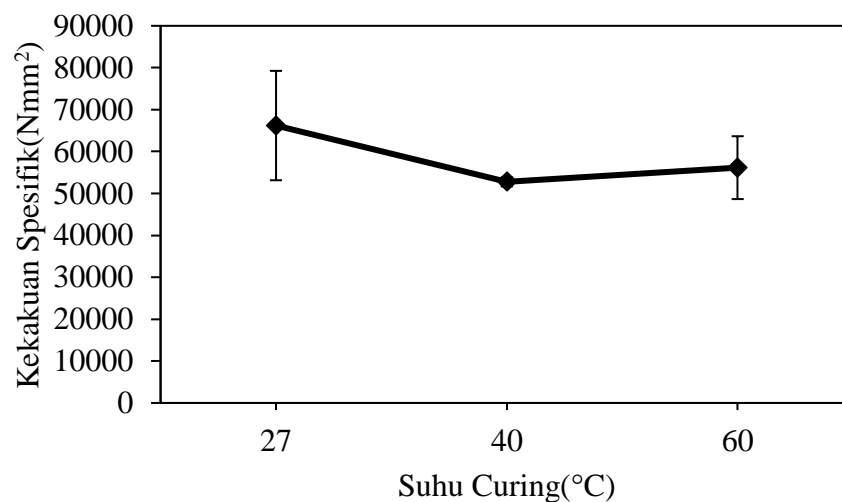
Diketahui : $D = 1.006.209,32 \text{ N/mm}^2$

$m = 15,11 \text{ gr}$

$$D \text{ spesifik} = \frac{D}{m}$$

$$D \text{ spesifik} = \frac{1.006,209,32}{15,11}$$
$$= 66.198,38 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$$

Dari perhitungan di atas maka didapatkan grafik pada Gambar 4-11, menunjukkan pengaruh *curing* terhadap nilai kekakuan komposit *sandwich core 3D printing*.



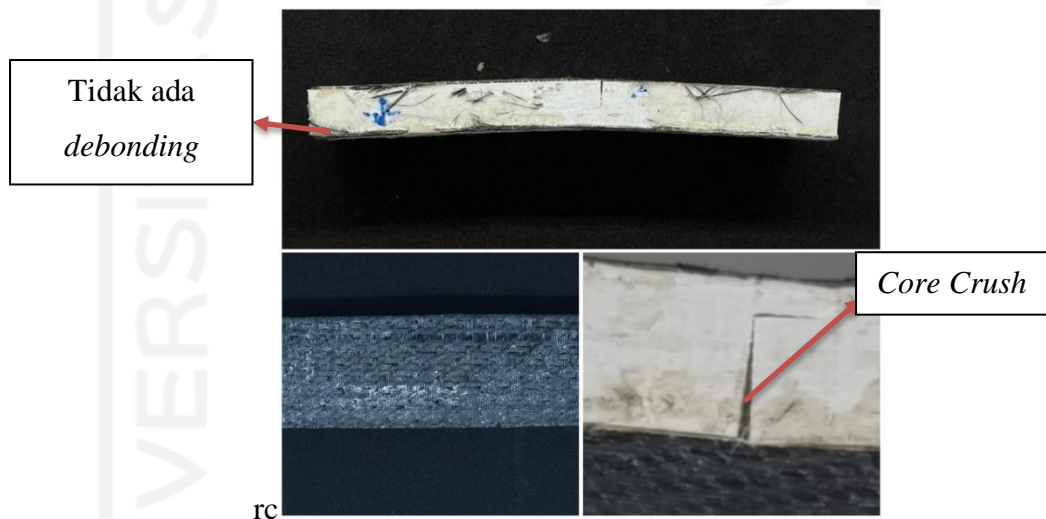
Gambar 4-11 Pengaruh *curing* terhadap nilai kekakuan spesifik.

Dari grafik analisa di atas, penggunaan *curing* dapat mempengaruhi kekakuan pada komposit *sandwich core 3D printing*. *curing* 27°C memiliki nilai kekakuan spesifik 66.198,38 Nmm²/gram, lebih tinggi dari *curing* 60°C 56.152,06 Nmm²/gram dan *curing* 40°C 52.7774,09 Nmm²/gram.

4.2.5 Analisa modus Kegagalan Variasi Suhu *Curing*

Berikut hasil Analisa modus kegagalan pada variasi Suhu *Curing*:

Pada gambar 4-12 menunjukkan hasil Analisa modus kegagalan pada spesimen uji dengan variasi suhu *curing* 27° C.



Gambar 4-12 Modus kegagalan spesimen uji dengan suhu *curing* 27° C

Hasil analisa pada gambar di atas, spesimen uji mengalami *core crush* dimana *core* mengalami retakan. *Skin* pada spesimen uji tidak mengalami *debonding*. Fenomena *core crush* yang terjadi pada spesimen *curing* 27°C berbeda, terlihat retakan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan *curing* 40°C dan 60°C. Hal ini disebabkan karena nilai kekakuan pada spesimen *curing* 27°C lebih besar dibandingkan *curing* 40°C dan 60°C, bisa dilihat pada gambar 4-10.

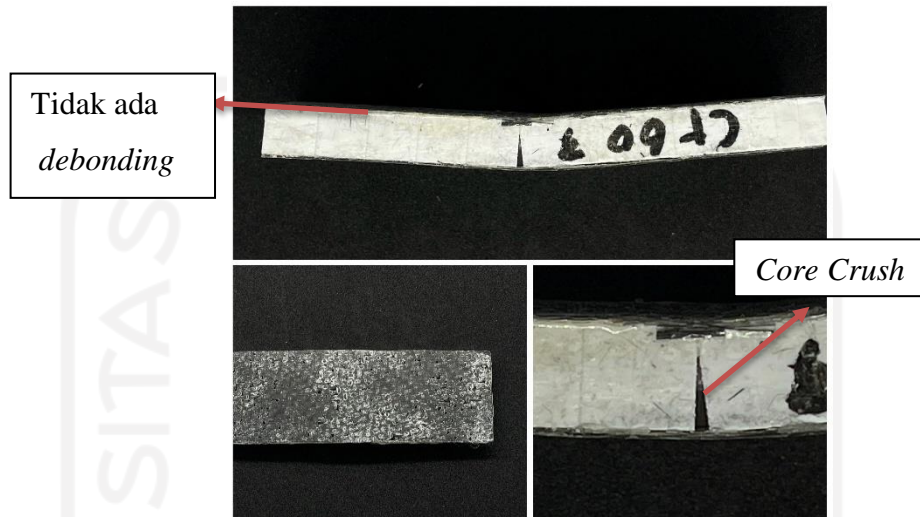
Pada gambar 4-13 menunjukkan hasil analisis modulus kegagalan pada spesimen uji dengan variasi suhu *curing* 40°C.



Gambar 4-13 Analisa Modus Kegagalan Spesimen Uji dengan *Curing* 40°C

Pada gambar di atas, spesimen uji mengalami *core crush* dimana *Core* mengalami keretakan dan *Skin* pada spesimen uji tidak mengalami *Debonding*. Fenomena *core crush* yang terjadi pada spesimen *curing* 40°C berbeda, terlihat retakan yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan *curing* 27°C. Hal ini disebabkan karena nilai kekakuan pada spesimen *curing* 40°C lebih kecil dari *curing* 27°C, bisa dilihat pada gambar 4-10.

Pada gambar 4-14, menunjukkan hasil Analisis modus kegagalan pada spesimen uji dengan variasi suhu *curing* 60°C.



Gambar 4-14 Analisis modus kegagalan spesimen uji dengan *curing* 60°C

Pada gambar 4-14 menunjukkan hasil analisa di mana terdapat *core crush* pada bagian tengah spesimen dan spesimen uji tidak mengalami *debonding*. *Core crush* yang terjadi pada spesimen *curing* 60°C berbeda, terlihat retakan yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan *curing* 27°C. Hal ini disebabkan karena nilai kekakuan pada spesimen *curing* 60°C lebih kecil dari *curing* 27°C, bisa dilihat pada gambar 4-10.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Penambahan perekat pada Komposit *Sandwich core 3D Printing* dapat mempengaruhi Tegangan *Bending*, kekakuan dan kekakuan spesifik. perekat jenis Epoxy memiliki nilai parameter tertinggi dengan nilai tegangan *Bending* 9,57 MPa, modulus elastisitas 242,77 N/mm², kekakuan 1.006.209,32 Nmm² dan Kekakuan Spesifik 66.198,38 Nmm²/gram.
2. *Curing* pada komposit *sandwich core 3D printing* dapat mempengaruhi tegangan *bending*. Akan tetapi, *curing* dapat mengurangi nilai kekakuan dan kekakuan spesifik pada komposit *sandwich core 3D printing*. Nilai tegangan *bending* tertinggi ada pada spesimen dengan suhu *curing* 40° Cdengan nilai tegangan *Bending* 11,38 MPa dan nilai tegangan *bending* terendah ada pada spesimen dengan suhu *curing* 27°C dengan nilai tegangan *bending* 9,58MPa. Kekakuan pada suhu *curing* 27°C sebesar 1.006.209,32 Nmm² lebih tinggi dibandingkan *curing* 40° C dan *curing* 60°.
3. Penambahan Perekat pada Komposit *Sandwich core 3D Printing* tidak hanya meningkatkan kekuatan *Bendingnya* saja, tetapi juga dapat mengurangi terjadinya resiko *debonding*.

5.2 Saran untuk penelitian selanjutnya

1. Pada saat proses pembuatan material komposit diusahakan hindari terjadinya rongga udara atau *void* karena dapat mempengaruhi kekuatan material komposit.
2. Gunakan perekat epoxy untuk mendapatkan hasil kekuatan *bending* yang lebih baik serta mengurangi terjadinya *debonding*.

DAFTAR PUSTAKA

- Diharjo, K. (2011). Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat Gelas Dengan Core Divinycell-Pvc H-60 (Pengaruh Orientasi Serat, Jumlah Laminat Dan Tebal Core Terhadap Kekuatan Bending). *Mekanika*, 9, 313–319.
- Dinur, R. (2019). *Proses Pembuatan Produk Komposit Sandwich Vacuum Infusion*.
- Eka, R., Atmanegara, P., Pribadi, T. W., & Arif, S. (2016). Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangunan Kapal Ikan 30GT Konstruksi FRP Metode Vacuum Infusion. 5(1), 1–6.
- EPO-TEK, T. (2019). *EPO-TEK® 323LP-LH Ultra. 01821(978)*.
- 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), 265–273.
- Izma Adriansyah, Y. (2021). Analisis Uji Bending Komposit Sandwich Yang Digabungkan 3D Printing Analisis Uji Bending Komposit Sandwich Yang Digabungkan 3D Printing. *Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*, 8–10.
- Lailatul, N., Nurtiasto, T. S., Nugroho, A., & Balqis, A. M. (2021). Studi Sifat Mekanik Komposit Sandwich Divinycell Foam Dengan Metode Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) Untuk Float Pesawat Amfibi. *Komposit Sandwich Untuk Float Pesawat Amfibi*, 2–5.
- Li, T., & Wang, L. (2017). Bending behavior of sandwich composite structures with tunable 3D-printed core materials. *Composite Structures*, 175, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.05.001>
- Muchtiwibowo, R. L., Manik, P., Jokosisworo, S., Perkapalan, T., Teknik, F., Diponegoro, U., Infusion, V., Lentur, K., & Impak, K. (2016). Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Material Komposit Sandwich Dengan Metode Vacuum Infusion Sebagai Material Kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1), 314–322.
- Nayiroh, N. (2013). Teknologi Material Komposit. *Nayiroh*.

- Nugroho, A. T. P. (2011). Pengaruh Tebal Skin dan Core Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat Rami-Polyester Dengan Core Sekam Padi Urea Formaldehide. *Skripsi Teknik Mesin UNS*, 13, 15–38.
- Olivianides, F. (2021). *Analisis Pengaruh Jumlah Lapisan Skin Pada Komposit Sandwich Terhadap Uji Bending*.
- Petras, A. (1998). *Design of Sandwich Structures*.
- Prastyadi, C. (2017). Pengaruh variasi fraksi volume, temperatur, waktu curing dan post-curing terhadap karakteristik tekan komposit polyester – partikel hollow glass microspheres (Hgm). *Mechanical Engineering Department Faculty of Industrial*.
- Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. *Seminar Nasional Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi 2018*, 1–6.
- R, W. W., & Ariawan, D. (2011). *PENGARUH VARIASI ADHESIVE TERHADAP KEKUATAN BENDING KOMPOSIT CANTULA 3D-UPR_s DENGAN CORE HONEYCOMB KARDUS TIPE C-FLUTE Abstract* : 9, 278–281.
- Saputra, D. R. H., & Pramujati, B. (2013). Rancang Bangun Prototype Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dengan Tiga Rotor. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 47–52.
- 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). *Jurnal Ilmiah Momentum*, 16(1), 1–5. <https://doi.org/10.36499/mim.v16i1.3345>
- Suzanna. (2013). *PERANAN KOMPOSIT UNTUK PESAWAT TERBANG Ir. SUZANNA H., M.Si.* 61–63.
- Utomo, W. B., & Drastiawati, N. S. (2021). Pengaruh Variasi jenis core , temperatur curing dan post-curing karakteristik bending komposit sandwich serat karbon dengan metode vacuum infusion. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), 45–54.
- Venkatesan, K., & Bhaskar, G. B. (2020). Evaluation and Comparison of Mechanical Properties of Natural Fiber Abaca-sisal Composite. *Fibers and Polymers*, 21(7), 1523–1534. <https://doi.org/10.1007/s12221-020-9532-5>
- Wang, S. X., Wu, L. Z., & Ma, L. (2010). Indentation study of foam sandwich

structures reinforced by fiber columns. *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 12(5), 621–646. <https://doi.org/10.1177/1099636209343386>

Widiandari, A., Ramadhan, M. S., Viniani, P., & Telkom, U. (2021). *Pengembangan Teknik Block Printing Dengan Memanfaatkan Filamen Polylactic Acid 3D Printing*. 8(6), 3949–3959.

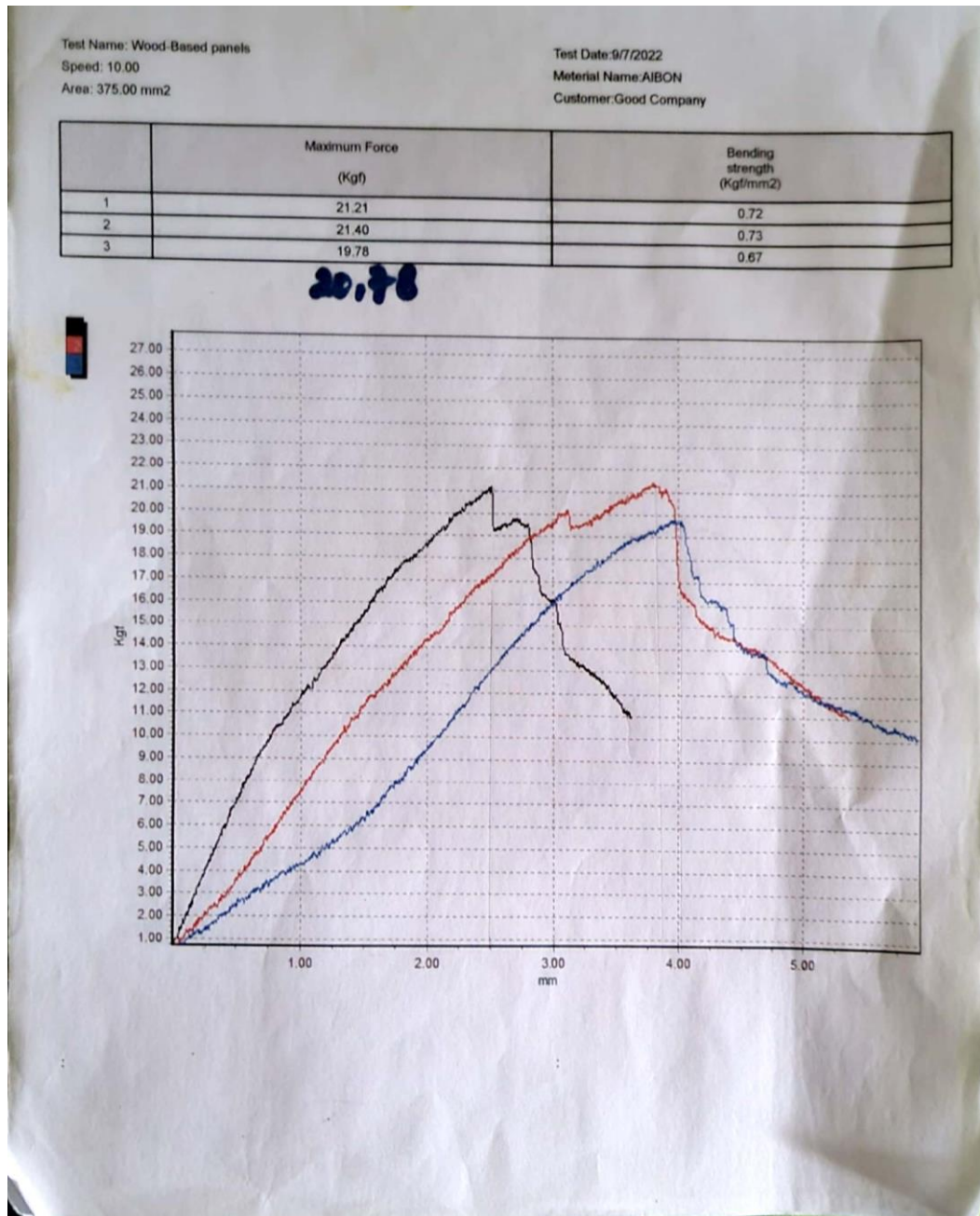


Lampiran 1

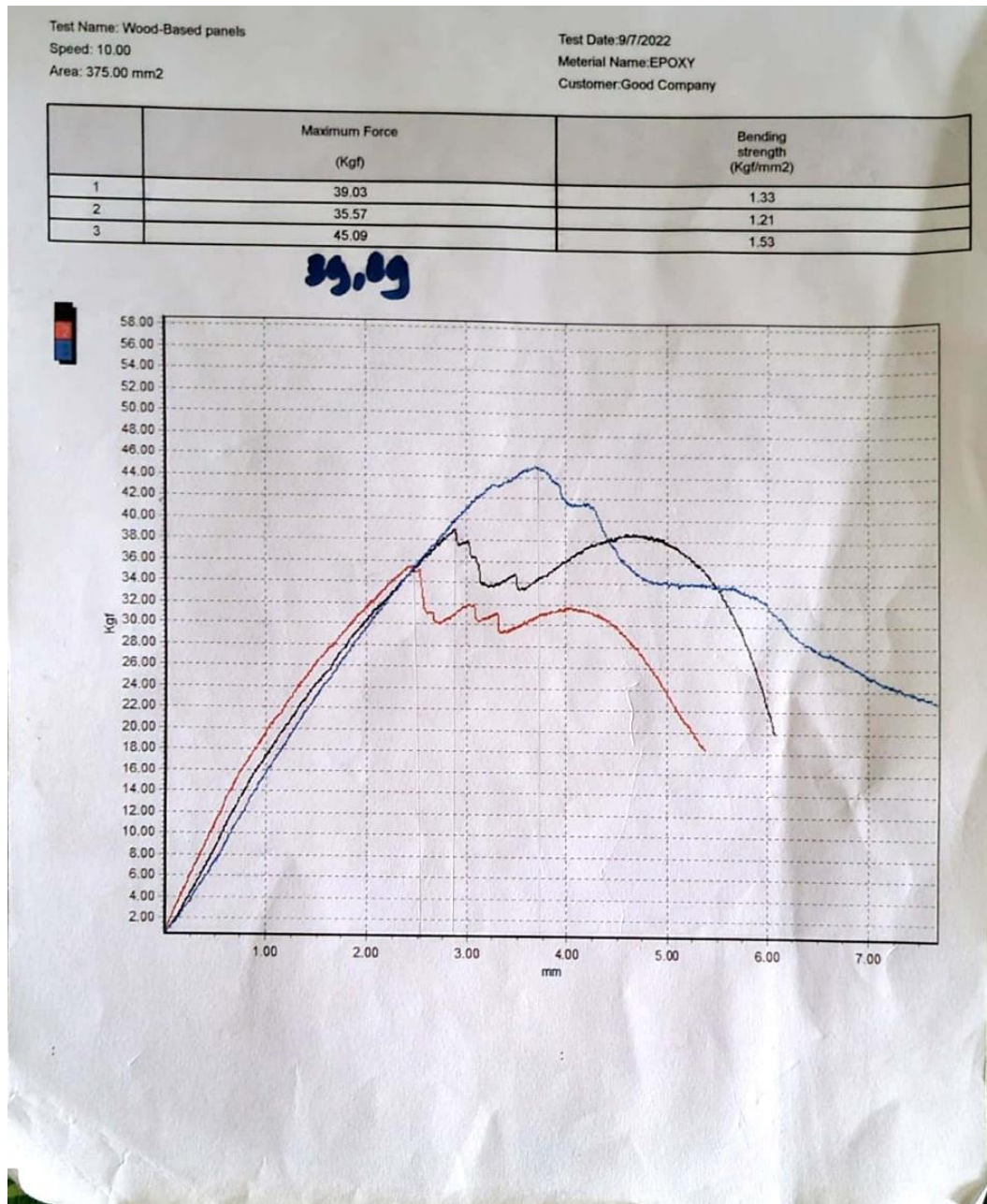
Hasil Pengujian Spesimen Pengaruh Jenis Perekat Terhadap

Maximum Force

A. Spesimen perekat aibon



B. Spesimen perekat epoxy



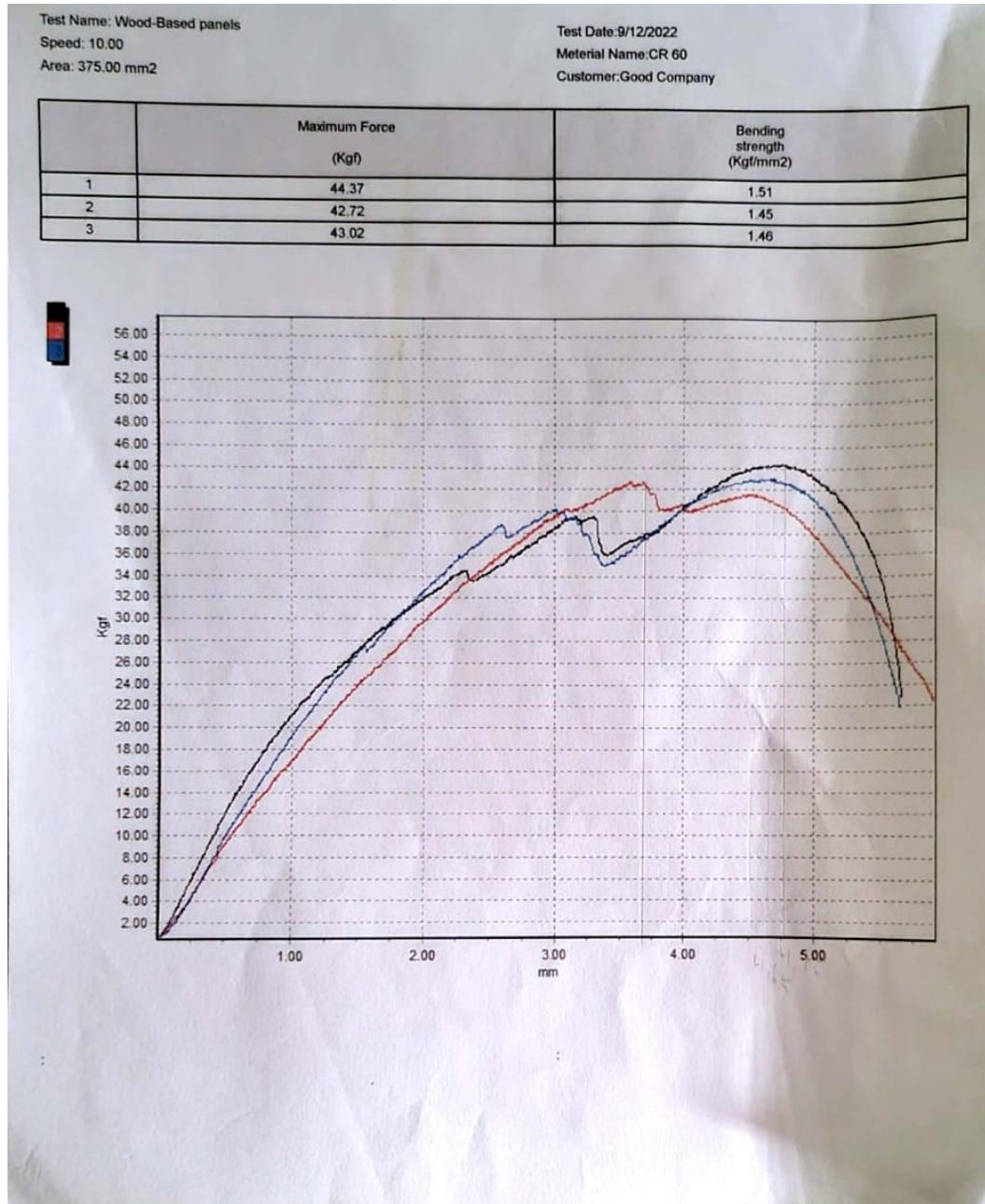
Lampiran 2

Hasil Pengujian Spesimen Pengaruh *Curing* Terhadap *Maximum Force*

A. Spesimen *curing* 40°C



B. Spesimen curing 60°C



Lampiran 3

Tabel Data Mentah Setelah Pengujian *Bending*

A. Data Spesimen Perekat

Kode Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Massa (gram)	Defleksi (mm)	Tegangan <i>Bending</i> (Mpa)
S1	99,23	37,33	10,58	12,48	3,67	5,38
S2	99,85	37,36	10,69	12,16	4,25	4,76
S3	99,84	37,36	10,76	12,00	4,28	4,80
A1	99,23	37,46	10,69	14,00	2,79	5,47
A2	99,04	37,28	10,8	12,60	3,79	5,43
A3	99,26	37,40	10,72	13,43	3,95	5,08
E1	98,89	37,37	11,07	14,40	4,73	8,99
E2	99,21	37,18	10,97	15,41	2,45	8,91
E3	98,75	37,38	11,01	15,53	3,68	10,80

B. Data Spesimen *Curing*

Kode Spesimen	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Massa (gram)	Defleksi (mm)	Tegangan <i>Bending</i> (Mpa)
Cr_27-1	98,89	37,37	11,07	14,40	4,73	8,99
Cr_27-2	99,21	37,18	10,97	15,41	2,45	8,91
Cr_27-3	98,75	37,38	11,01	15,53	3,68	10,80
Cr_40-1	99,32	37,33	10,96	15,28	4,97	11,15
Cr_40-2	98,97	37,2	11,04	15,52	5,13	12,17
Cr_40-3	98,62	37,26	10,99	16,1	4,48	10,82
Cr_60-1	98,89	37,37	11,07	15,04	4,75	10,69
Cr_60-2	99,21	37,18	10,97	15,06	3,69	10,53
Cr_60-3	98,75	37,38	11,01	16,68	4,68	10,47

Lampiran 4

Tabel Hasil Olah Data Pengujian

A. Tabel Hasil Olah Data Spesimen Perekat

Kategori	Tegangan Bending (MPa)	Modulus Elastisitas (N/mm ²)	Kekakuan (GPa)	Kekakuan Spesifik (GPa/gr)
Perekat Spray 3M	4,98	108,60	410.337,68	38.463,56
Perekat Aibon	5,32	136,20	524.510,34	39.188,67
Perekat Epoxy	9,57	242,77	1.006.209,32	66.198,38

B. Tabel Hasil Olah Data Spesimen *Curing*

Suhu(°C)	Tegangan Bending (MPa)	Modulus Elastisitas (N/mm ²)	Kekakuan (GPa)	Kekakuan Spesifik (GPa/gr)
27	9,57	242,77	1.006.209,32	66.198,38
40	11,38	199,80	825.139,67	52.774,09
60	10,57	208,37	871.386,80	56.152,06

Keterangan:

S: Perekat *spray* 3M

A: Perekat aibon

E: Perekat epoxy

Cr₂₇: *Curing* 27°C

Cr₄₀: *Curing* 40°C

Cr_60: *Curing* 60°C

