

**STUDI PENGARUH PERBANDINGAN RESIN-KATALIS DAN
TEKANAN *VACUUM* TERHADAP KEKUATAN BENDING
UNTUK PEMBUATAN KOMPOSIT *SANDWICH*
MENGUNAKAN METODE *VACUUM INFUSION***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Ari Asyahid

No. Mahasiswa : 17525083

NIRM : 2017023624

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**STUDI PENGARUH PERBANDINGAN RESIN-KATALIS DAN
TEKANAN *VACUUM* TERHADAP KEKUATAN BENDING
UNTUK PEMBUATAN KOMPOSIT *SANDWICH*
MENGUNAKAN METODE *VACUUM INFUSION***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Ari Asyahid

No. Mahasiswa : 17525083

NIRM : 2017023624

Yogyakarta, 18 November 2022

Pembimbing I,



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**STUDI PENGARUH PERBANDINGAN *RESIN-KATALIS* DAN
TEKANAN *VACUUM* TERHADAP KEKUATAN BENDING
UNTUK PEMBUATAN KOMPOSIT *SANDWICH*
MENGUNAKAN METODE *VACUUM INFUSION***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Ari Asyahid
No. Mahasiswa : 17525083
NIRM : 2017023624

Tim Penguji

Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T.,

M.Sc. IPP

Ketua

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

Anggota I

Rahmat Riza, S.T., M.Sc.ME.

Anggota II

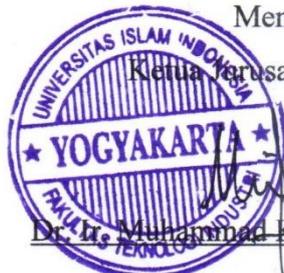
Tanggal : 5 Des 2022

Tanggal : 6/12/2022

Tanggal : 5/12/2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ari Asyahid

NIM : 17525083

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Judul Skripsi : STUDI PENGARUH PERBANDINGAN *RESIN-KATALIS* DAN
TEKANAN *VACUUM* TERHADAP KEKUATAN BENDING
UNTUK PEMBUATAN KOMPOSIT *SANDWICH*
MENGUNAKAN METODE *VACUUM INFUSION*.

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 mempertanggungjawabkan 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



Ari Asyahid

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua yang saya sayang dan cinta beserta keluarga yang memberi support, semangat, dan doa yang tak terhingga.



HALAMAN MOTTO

“Kita harus dapat mengalahkan rasa takut tapi jangan hilangkan rasa takut itu,
kecuali kamu mau berhenti menjadi manusia”

(Kang Mus)

MAN JADDA WAJADA

"Barang siapa yang bersungguh-sungguh, maka dia akan berhasil"



KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

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 dosen pembimbing 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. Bapak Asnadi dan Ibu Tuidah selaku orang tua serta Korry purnaikha, Puja Purwanti, Inggit Puri Thalia sebagai kakak saya yang telah memberi doa, semangat, perhatian, dan kasih sayang yang tulus.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
6. Teman-teman Teknik Mesin 2017, dan semua pihak yang membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman bimbingan mang samin (Dimas), Gentolet (Hendra), Jangkung (Rifki), Ambon (Johan), dan Mulet (Rafki).

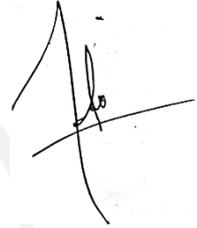
Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan, sangat jauh dari kata sempurna. Hal tersebut karena penulis masih dalam tahap belajar.

Saran yang membangun sangat diharapkan untuk proses belajar penulis.

Atas perhatiannya penulis ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. Wb.

Yogyakarta, 19 November, 2022



Ari Asyahid

17525083



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbandingan resin dan katalis dan tekanan pada *vacuum bag* terhadap *vacuum infusion* terhadap kekuatan *bending core* setelah dilakukan proses komposit *sandwich*. Spesimen uji dicetak sesuai dengan standar ASTM C393 menggunakan filamen ABS. Spesimen uji divariasikan pada perbandingan yaitu resin katalis 60:40 gram, 70:30 gram, 80:20 gram sedangkan tingkat kevakuman pada *vacuum bag* yang divariasikan yaitu -10 psi, -12 psi, -14 psi. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data bahwa tegangan *bending* sebesar 4,98 MPa dan modulus elastisitas sebesar 120,15 N/mm² diperoleh pada perbandingan resin dan katalis 60:40 gram. Untuk kekakuan *bending* sebesar 453.989,64 Nmm² dan kekakuan spesifik 37.118,69 Nmm²/gr juga diperoleh pada perbandingan resin dan katalis 60:40 gram. Untuk variasi tekanan *vacuum bag*, tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan spesifik *bending* tertinggi diperoleh pada tekanan *vacuum bag* -14 psi. Data tertinggi pada tekanan *vacuum bag* -14 psi yaitu tegangan *bending* sebesar 5,88 MPa dan modulus elastisitas sebesar 141,09 MPa diperoleh pada tekanan *vacuum bag* -14 psi. Untuk kekakuan *bending* sebesar 533.869,20 Nmm² dan kekakuan spesifik *bending* 43.696,38 Nmm²/gr juga diperoleh pada tekanan *vacuum bag* -14 psi.

Kata kunci: *Core* komposit *sandwich*, filamen ABS, kekuatan *bending*.

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of the ratio of resin and catalyst and pressure on the vacuum bag on the vacuum infusion on the bending strength of the core after the sandwich composite process is carried out. The test specimen is printed according to ASTM C393 standard using ABS filaments. The test specimens were varied in ratios, namely catalyst resin 60:40 grams, 70:30 grams, 80:20 grams while the vacuum level in the vacuum bag varied to -10 psi, -12 psi, -14 psi. Based on the results of tests that have been carried out, data were obtained that a bending voltage of 4.98 MPa and a modulus of elasticity of 120.15 N / mm² were obtained at a ratio of resin and catalyst of 60: 40 grams. For bending stiffness of 453,989.64 Nmm² and specific stiffness of 37,118.69 Nmm²/gr was also obtained at a resin and catalyst ratio of 60:40 grams. For vacuum bag pressure variations, bending voltage, elasticity modulus, bending stiffness, and the highest bending specific stiffness are obtained at a vacuum bag pressure of -14 psi. The highest data on the vacuum bag pressure of -14 psi, namely the bending voltage of 5.88 MPa and the modulus of elasticity of 141.09 MPa were obtained at the vacuum bag pressure of -14 psi. For bending stiffness of 533,869.20 Nmm² and bending specific stiffness of 43,696.38 Nmm²/gr was also obtained at vacuum bag pressure of -14 psi.

Keywords: Core composite sandwich, ABS filament, bending strength.



DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak	ix
<i>Abstract</i>	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar	xv
Daftar Notasi	xvii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
Bab 2 Tinjauan Pustaka	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Komposit	7
2.2.2 Komposit Sandwich	8
2.2.3 3D printing	9
2.2.4 <i>Vacuum Infusion</i>	9
2.2.5 Resin dan Katalis	11
2.2.6 <i>Vacuum Bag</i>	11
2.2.7 Pengujian <i>Bending</i>	12
2.2.8 Modus Kegagalan Uji Bending Komposit Sandwich	14

Bab 3 Metode Penelitian	16
3.1 Alur Penelitian	16
3.2 Parameter Variasi.....	17
3.2.1 Parameter Variasi Perbandingan Resin dan Katalis	17
3.2.2 Parameter Variasi Tekanan <i>Vacuum Bag</i>	19
3.3 Peralatan dan Bahan.....	20
3.4 Dimensi spesimen.....	29
3.5 Proses Pembuatan Spesimen Komposit Sandwich	29
3.5.1 Pembuatan <i>Core</i> Dengan Mesin <i>3D Printing</i>	30
3.5.2 Proses <i>vacuum infusion</i>	31
3.6 Proses pengujian <i>bending</i>	35
3.6.1 Spesimen setelah uji <i>bending</i>	36
Bab 4 Hasil dan Pembahasan	38
4.1 Pengaruh perbandingan resin dan katalis pembuatan komposit <i>sandwich</i> terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Kekakuan Spesifik.....	38
4.1.1 Pengaruh perbandingan resin dan katalis pembuatan komposit <i>sandwich</i> terhadap Tegangan <i>Bending</i>	38
4.1.2 Pengaruh perbandingan resin dan katalis pembuatan komposit <i>sandwich</i> terhadap modulus elastisitas.....	41
4.1.3 Pengaruh perbandingan resin dan katalis pembuatan komposit <i>sandwich</i> terhadap kekakuan <i>bending</i>	43
4.1.4 Pengaruh perbandingan resin dan katalis pembuatan komposit <i>sandwich</i> terhadap kekakuan spesifik.	45
4.2 Pengaruh tingkat kevakuman udara saat proses <i>vacuum infusion</i> -10 psi, -12 psi, dan -14 psi saat pembuatan komposit <i>sandwich</i> terhadap Tegangan <i>Bending</i> , Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Kekakuan Spesifik.	47
4.2.1 Pengaruh tekanan <i>vacuum bag</i> terhadap pembuatan komposit <i>sandwich</i> dan Tegangan <i>Bending</i>	47
4.2.2 Pengaruh tekanan <i>vacuum bag</i> terhadap pembuatan komposit <i>sandwich</i> terhadap modulus elastisitas.....	51

4.2.3 Pengaruh tekanan <i>vacuum bag</i> terhadap pembuatan komposit <i>sandwich</i> terhadap kekakuan bending.....	52
4.2.4 Pengaruh tekanan <i>vacuum bag</i> terhadap pembuatan komposit <i>sandwich</i> terhadap kekakuan spesifik.	54
Bab 5 Penutup.....	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	57
Daftar Pustaka	58
Lampiran 1.....	60
Lampiran 2.....	63



DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Parameter variasi perbandingan resin dan katalis	18
Tabel 3-2 Parameter variasi tekanan <i>vacuum bag</i>	19
Tabel 3-3 Dimensi spesimen	29
Tabel 4-1 tegangan bending perbandingan resin dan katalis.....	38
Tabel 4-2 Data variabel modulus elastisitas resin dan katalis	41
Tabel 4-3 Tabel data kekakuan bending resin dan katalis	43
Tabel 4-4 Kekakuan spesifik perbandingan resin dan katalis	45
Tabel 4-5 tegangan bending tekanan <i>vacuum bag</i>	47
Tabel 4-6 Data variabel modulus elastisitas tekanan <i>vacuum bag</i>	51
Tabel 4-7 Data kekakuan bending tekanan <i>vacuum bag</i>	53
Tabel 4-8 Kekakuan spesifik tekanan <i>vacuum bag</i>	55



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Alur metode <i>vacuum infusion</i> .	2
Gambar 2-1 Komposit.	7
Gambar 2- 2 Komposisi komposit.	8
Gambar 2- 3 Mesin 3D <i>printing</i> .	9
Gambar 2-4 <i>Vacuum infusion</i> .	10
Gambar 2-5 Resin dan katalis.	11
Gambar 2-6 <i>Vacuum bag</i> .	12
Gambar 2-7 Mesin uji <i>bending</i> .	12
Gambar 2- 8 Pembebanan lentur <i>Three Point Bending</i> .	13
Gambar 2-9 Jenis-jenis kegagalan pada komposit <i>sandwich</i> .	14
Gambar 2-10 Jenis-jenis kegagalan pada komposit <i>sandwich</i> .	15
Gambar 3-1 Alur penelitian.	17
Gambar 3-2 <i>Vacuum pump</i> .	20
Gambar 3-3 <i>Vacuum catch trap</i> .	20
Gambar 3-4 Timbangan digital.	21
Gambar 3-5 <i>Filament ABS</i> .	21
Gambar 3-6 Resin dan katalis.	22
Gambar 3-7 Katup <i>vacuum</i> .	22
Gambar 3-8 Serat <i>carbon tipe twill</i> .	23
Gambar 3-9 Plastik <i>vacuum bag</i> .	23
Gambar 3-10 Jaring strimin.	24
Gambar 3-11 Kain <i>peel ply</i> .	24
Gambar 3-12 Selang <i>spiral</i> .	25
Gambar 3-13 Selang Pneumatik.	25
Gambar 3-14 <i>Sealant Tape</i> .	26
Gambar 3-15 <i>Miracle Gloss</i> .	26
Gambar 3-16 <i>Adhesive spray 3M</i> .	27
Gambar 3-17 Isolatip kertas.	27
Gambar 3-18 Gunting.	28
Gambar 3-19 Gelas plastik.	28

Gambar 3-20 Dimensi spesimen.	29
Gambar 3-21 Komposisi komposit <i>sandwich</i>	30
Gambar 3-22 Pembuatan <i>core</i> dengan mesin 3D <i>printing</i>	30
Gambar 3-23 Pemotongan <i>vacuum bag</i> dan <i>sealant tape</i>	31
Gambar 3-24 Pemasangan jaring strimin.	31
Gambar 3-25 Pemasangan kain <i>peel ply</i>	32
Gambar 3-26 Pemasangan selang <i>infusion input</i> dan <i>output</i>	32
Gambar 3-27 Penempatan spesimen pada <i>vacuum bagging</i>	33
Gambar 3-28 Menutup rangkaian <i>vacuum bagging</i>	33
Gambar 3-29 Proses pencampuran resin dan katalis <i>hardener</i>	34
Gambar 3-30 Proses <i>vacuum infusion</i>	34
Gambar 3-31 Jarak tumpuan <i>bending</i>	35
Gambar 3-32 Proses pengujian <i>bending</i>	36
Gambar 3-33 Spesimen perbandingan resin dan katalis setelah uji <i>bending</i>	36
Gambar 3-34 Spesimen tekanan <i>vacuum bag</i> setelah uji <i>bending</i>	37
Gambar 4-1 Grafik perbandingan resin dan katalis.....	39
Gambar 4-2 Spesimen perbandingan resin dan katalis 60:40 gram.	40
Gambar 4-3 Spesimen perbandingan resin dan katalis 70:30.	40
Gambar 4-4 Spesimen perbandingan resin dan katalis 80:20.	41
Gambar 4-5 Grafik modulus elastisitas perbandingan resin dan katalis.	42
Gambar 4-6 Grafik kekakuan perbandingan resin dan katalis.	44
Gambar 4-7 Grafik kekakuan spesifik perbandingan resin dan katalis.	46
Gambar 4-8 Grafik tegangan <i>bending</i> tekanan <i>vacuum bag</i>	48
Gambar 4-9 Spesimen tekanan <i>vacuum bag</i> -10 psi.	49
Gambar 4-10 Spesimen tekanan <i>vacuum bag</i> -12 psi.	49
Gambar 4-11 Spesimen tekanan <i>vacuum bag</i> -14 psi.	50
Gambar 4-12 Grafik modulus elastisitas tekanan <i>vacuum bag</i>	52
Gambar 4-13 Grafik kekakuan <i>bending</i> tekanan <i>vacuum bag</i>	54
Gambar 4-14 Grafik kekakuan spesifik tekanan <i>vacuum bag</i>	55

DAFTAR NOTASI

- σ_b = Tegangan *Bending* Maksimal (*MPa*)
 E_b = Modulus Elastisitas (*MPa*)
 P = Beban Yang Diberikan (*N*)
 D = Kekakuan *Bending* (*Nmm²*)
 L = Jarak Antara Titik Tumpuan (*mm*)
 b = Lebar spesimen (*mm*)
 h = Tebal Spesimen (*mm*)
 I = Momen Inersia (*mm⁴*)
 δ = Defleksi (*mm*)
 W = Massa (*gram*)
 D_{spes} = Kekakuan spesifik (*GPa/gr*)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komposit adalah material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuk dan memiliki sifat yang berbeda dari material pembentuknya (Xaveria et al., 2013). Penggunaan komposit pada beberapa penelitian sebelumnya terbukti lebih efektif dari menggunakan bahan logam karena sifat komposit pada umumnya lebih tahan terhadap korosi. Material yang telah ditambahkan lapisan komposit menggunakan bahan serat fiber atau *carbon* juga bisa meredam getaran dan bunyi yang cukup baik. Komposit dapat memberikan penampilan pada permukaan objek yang lebih baik. Penggunaan metode komposit ini memiliki keunggulan yaitu memiliki biaya perawatan yang lebih murah karena komposit lebih tahan dibandingkan material yang biasa digunakan (Ashfan, 2022).

Untuk pembuatan komposit umumnya menggunakan metode *hand lay-up*, metode pembuatan ini hanya memerlukan kuas untuk mengoleskan resin terhadap lapisan komposit. Metode pembuatan komposit dibagi menjadi beberapa metode sebagai berikut yaitu *hand lay-up*, *spray-up*, *vacuum infusion* dan *pressure bag*. Metode yang sudah disebutkan itu masing-masing memiliki keunggulan sebagai berikut.

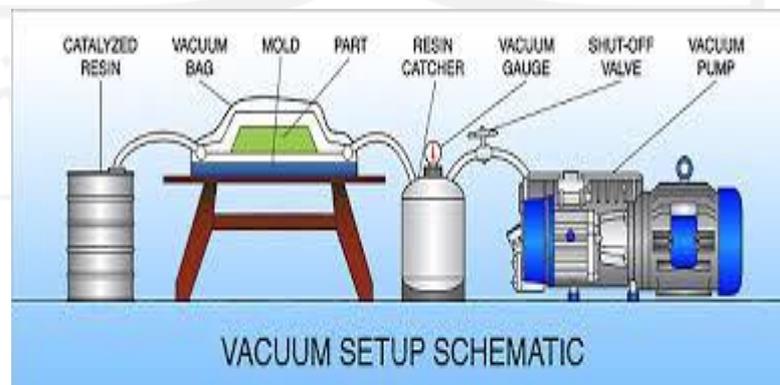
Hand lay-up memiliki keunggulan tidak membutuhkan peralatan yang banyak saat pembuatan komposit sandwich dan adapun pada proses *hand lay-up* ini memiliki kekurangan pada hasil kekuatan tidak terlalu kuat pada penelitian sebelumnya. Selanjutnya dengan metode yang kedua yaitu *spray-up*, adapun proses pengerjaan dari pada *spray-up* lebih menghemat waktu karena menggunakan alat kompresor angin dengan dihubungkan ke *spray gun* lalu disemprotkan terhadap media yang sudah disiapkan untuk proses *spray-up* adapun kekurangannya sering macet pada *spray gun* tersebut karena terdapat gumpalan resin yang menutupi jalur atau lubang pada *nozzle spray gun*. Metode ketiga adalah *vacuum infusion*, pada metode ini peralatan yang digunakan lebih banyak diantaranya plastik *vacuum bag*, *sealant tape*, jaring strimin, kain *peel ply*, dan

lain-lain. Untuk pembuatan metode *vacuum bag* ini harus disusun berurutan dari pemotongan plastik *vacuum bag*, *sealant tape*, jaring strimin, kain *peel ply*, spesimen, kain *peel ply*, jaring strimin, plastik *vacuum bag*, selang *input* dan selang *output*.

Memang dengan metode *vacuum infusion* ini lebih membutuhkan waktu yang lama untuk proses pembuatannya tetapi hasil yang diperoleh lebih baik dari metode *hand lay-up* dan *spray-up*. Proses komposit yang keempat ini menggunakan metode *pressure bag*. Pada metode ini alat-alat yang digunakan dalam proses komposit memiliki kesamaan dengan metode *vacuum infusion* tetapi ada perbedaan alat atau mesin yang digunakan ini tidak menghisap udara. Tetapi mesin yang digunakan menghembuskan udara dari mesin terhadap *vacuum bag* dan apabila menggunakan metode *pressure bag* ini ada kelemahannya yaitu sering terjadi kegagalan pada proses komposit dan sering terjadi kebocoran pada plastik *vacuum bag* karena plastik *vacuum* itu terjepit terhadap *molding*.

Oleh karena itu dalam proses pembuatan komposit ini menggunakan metode *vacuum infusion*, karena pembuatan komposit dengan metode *vacuum infusion* ini lebih efisien dibanding dengan metode lainnya. Kelebihan pada metode *vacuum infusion* ini lebih sedikit udara yang terperangkap dalam lapisan komposit tersebut (Prayoga et al., 2018).

Untuk alur komposit menggunakan metode *vacuum infusion* ini bisa dilihat pada Gambar 1-1 dibawah ini.



Gambar 1-1 Alur metode *vacuum infusion*.

Sumber : (Shelby, 2015).

Pada alur komposit menggunakan metode *vacuum infusion* ini untuk tahapan awal menyiapkan susunan *vacuum bag*. Pada proses kedua merangkai susunan dari jalur outlet tabung *reservoir* yang dihubungkan terhadap pompa vakum. Proses ketiga adalah menghubungkan *vacuum bag* atau mold terhadap jalur input tabung *reservoir* yang sudah dihubungkan pada pompa vakum. Proses terakhir adalah pencampuran resin sesuai perbandingan yang ingin digunakan dan proses pemvakuman udara pada molding.

Pada proses pembuatan komposit dengan menggunakan metode jenis apapun ada peran pentingnya penggunaan resin dan katalis (*hardener*), untuk menanggapi hal tersebut diperlukan pencampuran atau perbandingan rasio resin dan katalis yang mampu menambah kekuatan pada produk yang ingin dilakukan proses komposit. Rasio perbandingan resin dan katalis yang digunakan dalam penelitian ini mencakup perbandingan 60:40 gram, 70:30 gram, dan 80:20 gram. Latar belakang dalam pengambilan parameter variasi perbandingan rasio resin dan katalis yang dipergunakan pada penelitian ini dikarenakan pada penelitian sebelumnya itu masih kurang dijelaskannya jenis resin yang dipergunakan oleh (Wardani, 2015). Oleh sebab itu pada penelitian ini mencari rasio pada resin dan katalis jenis *epoxy* dengan tipe *Bisphenol A-Epichlorohydrin* dan katalis *Cycloaliphatic Amine*.

Proses komposit *sandwich* dengan metode *vacuum infusion* ini menggunakan bahan yang telah disusun menjadi *vacuum bag*. Hal ini bertujuan untuk menekan spesimen agar lapisan komposit lebih kuat dan resin yang terisi pada *vacuum bag* lebih sedikit karena resin tersebut tertekan oleh plastik *vacuum bag*. Oleh sebab itu dari tingkat kekedapan udara yang terkandung didalam *vacuum bag* harus benar-benar kedap terhadap udara atau tidak mengalami kebocoran udara. Pada penelitian ini menggunakan variasi tekanan *vacuum bag* yaitu -10 psi, -12 psi, dan -14 psi. Karena pada penelitian sebelumnya kurang menjelaskan seberapa kuat hasil komposit yang telah dilakukan proses pengujian dan perbandingan berat yang diperoleh ketika proses sebelum komposit dan sesudah komposit (Bani et al., 2017).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan perbandingan nilai kekuatan produk komposit *sandwich* dengan perbandingan resin katalis 60:40 gram, resin katalis 70:30 gram, resin katalis 80:20 gram? dan bagaimana perbandingan nilai kekuatan dari spesimen pengaruh tingkat kevakuman pada *vacuum bag* -10 psi, -12 psi, dan -14 psi?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D printing dengan material ABS+ *merk esun* yang dibuat oleh pihak ketiga.
2. Lapisan *skin* menggunakan serat *Carbon Fiber Reinforced Plastic* tipe *twill*.
3. Proses *vacuum infusion* hanya menggunakan mesin *Vacuum Pump Krisbow* ½ HP yang ada di *Laboratorium Proses Produksi UII*. Menggunakan resin jenis *Bisphenol A-Epichlorohydrin* dan katalis *Cycloaliphatic Amine*.
4. Spesimen yang diuji menggunakan standar *ASTM C393*.
5. Variasi yang digunakan perbandingan resin katalis 60:40 gram, 70:30 gram, 80:20 gram, dan tekanan *vacuum bag* -10 psi, -12 psi, -14 psi
6. Penelitian ini hanya sampai pembuatan spesimen uji yang dilapis *carbon fiber* dan pengujian *bending*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbedaan setiap variasi perbandingan resin katalis 60:40 gram, 70:30 gram, 80:20 gram, dan tekanan *vacuum bag* -10 psi, -12 psi, -14 psi saat pembuatan komposit *sandwich* yang digabungkan dengan *3D printing* dengan metode *vacuum infusion* untuk mengetahui nilai kekakuan spesimen yang dilapis komposit *sandwich* dan tanpa lapisan komposit.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat setelah melakukan pengujian ini, yaitu:

1. Mengetahui bagaimana proses pembuatan komposit *sandwich* menggunakan metode *vacuum infusion*.
2. Mengetahui pengaruh jenis *core* terhadap kekakuan spesimen yang sebelum dan sesudah *carbon*.

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, dan penampilan grafik dan tabel.

BAB V Penutup

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam penelitian ini mencoba membuat komposit menggunakan *core 3D printing* berbahan dasar ABS dengan memakai mesin 3D *printing* tipe FDM. Dalam komposit *sandwich* tersebut lapisan *core* dilapisi dengan *carbon fiber* dan diresapi oleh resin yang didapatkan pada sifat mekanik komposit sangat bergantung dengan bentuk atau pola *core* spesimen tersebut (Izma Adriansyah, 2021).

Vacuum infusion adalah metode komposit yang menggunakan teknik dari kevakuman udara pada *vacuum bag*. Hal ini mencari perbandingan kekuatan yang memiliki sifat lebih baik dibanding dengan metode *hand lay-up*. Selain resin lebih meresap terhadap lapisan komposit hal tersebut memberikan keunggulan ketika menggunakan metode *vacuum infusion* ini lebih tinggi nilai kekuatan dan modulus ini bahwa metode *vacuum infusion* lebih efektif dibandingkan dengan metode *hand lay-up* (Azissyukhron & Hidayat, 2020).

Resin dan katalis adalah termasuk dari komponen utama saat melakukan komposit. Pengaruh perbandingan rasio resin dan katalis pada komposit *sandwich* dengan menggunakan serat rambut manusia sebagai pengganti lapisan komposit, mengenai pengaruh rasio hardener dan resin pada komposit serat rambut manusia. Limbah rambut kering yang sudah bersih dan direndam dalam NaOH 1 M selama 60 menit dibilas dengan air bersih dan dikeringkan. Serat rambut yang sudah kering ditambahkan pada matrik dengan rasio fraksi volum tetap (serat: matriks, 30%:70%) untuk dibuat material komposit. Sedangkan rasio epoxy dan hardener dengan perbandingan yaitu 50%:50%, 60%:40%, 70%:30%, 80%:20% (Wardani, 2015).

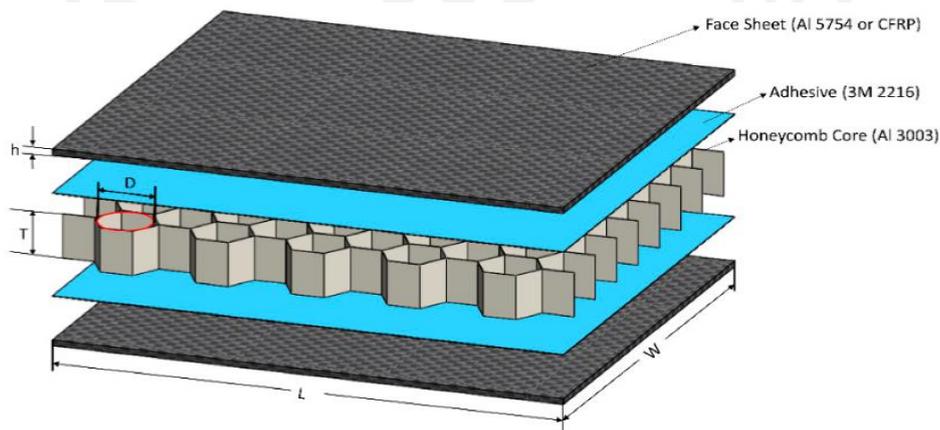
Vacuum bag adalah sebuah alat yang berguna pada proses komposit menggunakan metode *vacuum infusion*. Tekanan udara pada *vacuum bag* saat proses komposit *sandwich* sangat mempengaruhi hasil dari sebuah produk tersebut. Variasi tekanan yang dianjurkan pada sebuah *vacuum bag* adalah 6 – 12,5 psi dan

14,7 psi. Pada penelitian ini dilakukan pengujian tarik ASTM D5766 (Standard Test Method for Open-Hole Tensile Strength of Polymer Matrix Composites Laminates), hasil pengujian menunjukkan semakin tinggi nilai pada *vacuum bag* tingkat kadar resin akan semakin kecil akan tetapi nilai kekuatan pada spesimen semakin tinggi (Bani et al., 2017).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Komposit merupakan gabungan antara dua atau lebih material yang digunakan dalam skala *macroscopic* untuk membentuk material baru yang lebih bermutu. Komposit umumnya diproduksi sebagai keperluan komersial matriks polimer serat tekstil seperti *glass*, *aramid*, dan *carbon*. Contoh produk yang sering dibuat komposit adalah *frame* sepeda balap, kap mesin, *case handphone*, dan *lain-lain* (Utomo et al., 2020). Berikut adalah ilustrasi spesimen yang dilapisi *carbon fiber* ditunjukkan pada Gambar 2-1.



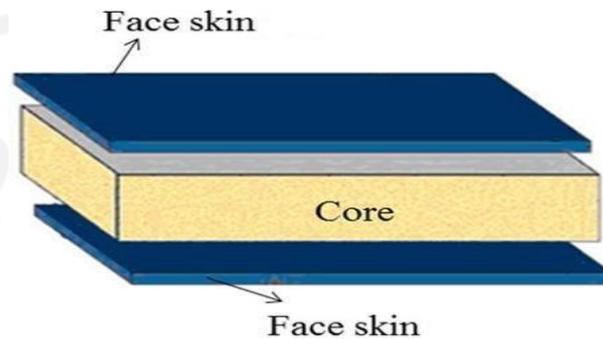
Gambar 2-1 Komposit.

Sumber : (Murat, 2020).

2.2.2 Komposit Sandwich

Komposit *sandwich* merupakan salah satu dari jenis komposit yang komponennya menggunakan dua jenis material atau lebih yang terdiri dari lapisan komposit sebagai *skin* dan *core* dibagian tengahnya (Steeves & Fleck, 2004).

Berikut adalah ilustrasi antara *core* dan *skin* ditunjukkan pada Gambar 2- 2.



Gambar 2- 2 Komposisi komposit.

Sumber: (A Typical Sandwich Composite Download Scientific Diagram, n.d.).

Core adalah bagian inti dari komposit *sandwich*, bagian ini harus kuat dan kaku agar jarak antar permukaan komposit terjaga atau tidak tergeser terhadap *core*. *Core* harus menggunakan bahan dengan kekakuan yang tinggi supaya kekakuan pada komposit *sandwich* tidak mengalami penurunan (Hidayat et al., 2016).

Skin merupakan struktur lapisan yang berfungsi untuk melapisi *core* pada saat melakukan proses komposit *sandwich*. Untuk melakukan metode ini *skin* harus direkatkan secara rapat terhadap *core* dengan menggunakan resin dan katalis struktur penguatnya. Dalam penggunaan perekat pada penelitian ini menggunakan *Adhesive 3M*. Perekat ini merupakan zat yang digunakan untuk mengikat *core* dan *skin*. Karena *adhesive* ini mampu mengurangi gaya geser antara *core* dan *skin* pada komposit *sandwich* (Fansuri, Hamzah, 2019).

2.2.3 3D printing

Printer 3 dimensi merupakan printer yang menampilkan data atau hasil sesuai keinginan. Teknologi *3D printing* ini dapat membuat *prototype* tanpa harus menghabiskan bahan baku ataupun material ketika mengalami kegagalan proses pembuatan (Pristiansyah; Hardiansyah; Sugiyarto, 2019). Desain produk *3D printing* ini dapat dibuat dengan bantuan komputer atau *scanner 3D*, proses ini menganalisa dan mengumpulkan data dari objek nyata adapun proses pembuatannya dibuat digital sebagai model tiga dimensi. *3D printing* memiliki banyak kelebihan. Salah satunya verifikasi yang cepat dan bagian *volume* produksi cukup memerlukan waktu yang lama. Namun *3D printing* juga memiliki kelemahan salah satunya tidak mampu untuk menghasilkan bagian atau sifat material setara dengan yang dibuat (Putra & Sari, 2018). Mesin 3D printing yang dipakai pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2-3 dibawah ini.



Gambar 2- 3 Mesin 3D *printing*.

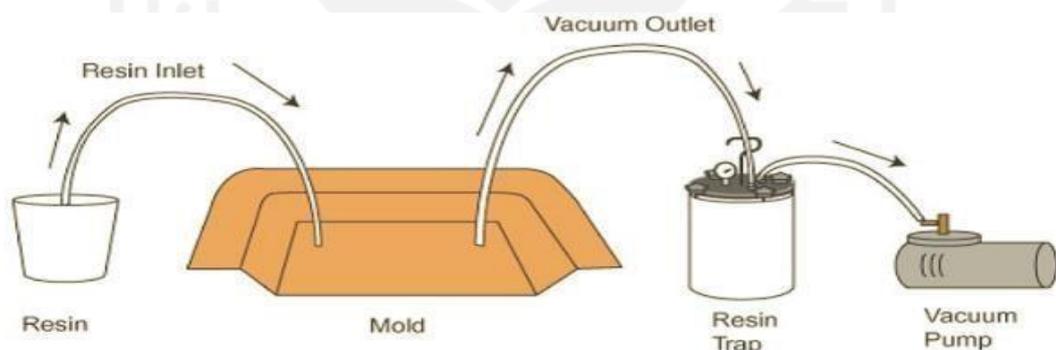
Sumber : (Florian, 2019).

2.2.4 *Vacuum Infusion*

Vacuum infusion adalah salah satu metode pembuatan komposit modern yang dapat menggantikan metode *hand lay-up* dan *spray up* pada pembuatan komposit. Ketika menggunakan metode *vacuum infusion* dapat meminimalisir udara yang terperangkap pada saat proses pemvakuman. Metode *vacuum infusion* dapat menghasilkan kualitas yang lebih baik dibandingkan menggunakan metode lainnya. (Yuhazri et al., 2010).

Pada proses *vacuum infusion* dilakukan dengan memasukkan resin kedalam *vacuum bag* yang telah dibuat sebelumnya dan dibantu dengan pompa vakum. Metode ini memiliki kelebihan dapat mendistribusikan resin kedalam *vacuum bag* secara menyeluruh akibat daya tarik yang disebabkan oleh udara terhisap pada *vacuum pump* sehingga terjadi kevakuman yang maksimal pada *vacuum bag* menyebabkan peningkatan dari sifat mekanik pada hasil komposit tersebut. Metode pembuatan komposit konvensional seperti *spray-up* dan *hand lay-up* lebih mudah dilakukan. Akan tetapi metode konvensional ini cenderung memiliki rongga dikarenakan udara yang terperangkap pada saat proses pemberian resin. Metode *vacuum infusion* memiliki beberapa kelemahan salah satunya saat proses vakum. Pada saat resin dialirkan melalui selang menuju cetakan durasi waktu menjadi sangat penting. Apabila saat mengalirkan resin terlalu lama akan cepat mengeras sebelum mengalir menyeluruh ke dalam cetakan (Saputra & Setyarso, 2016).

Pada Gambar 2-4 berikut adalah tahapan komposit dengan menggunakan metode *vacuum infusion*.



Gambar 2-4 *Vacuum infusion*.

Sumber : (Fathoni, 2019).

2.2.5 Resin dan Katalis

Resin dan katalis adalah bahan dasar dari pembuatan *fiberglass* atau komposit. Banyak ditemui pada proses produksi kapal nelayan masih belum mempunyai ketetapan mutu yang baik tentang pengaruh antara persentase resin dan katalis hardener yang dipakai. Persentase pemberian katalis pada resin umumnya menggunakan campuran katalis dari 1% hingga 2,5% (Milya et al., 2022).

Perbandingan rasio katalis yang dipakai untuk campuran resin itu berbeda-beda setiap produk resin seperti yang dijual dipasaran. Hal tersebut semua resin mempunyai klasifikasi masing-masing untuk perbandingan resin dan katalis hardenernya. Semakin banyak campuran katalis yang digunakan dalam campuran resin juga tidak baik karena resin akan cepat mengeras dan bisa mendidih. Apabila campuran katalis pada resin sangat sedikit juga kurang baik karena resin tersebut akan lama untuk mengeras (Wardani, 2015). Pada gambar 2-5 adalah resin dan katalis yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 2-5 Resin dan katalis.

2.2.6 Vacuum Bag

Vacuum bag adalah alat untuk proses komposit *sandwich* yang berfungsi menggantikan cetakan sebagai *vacuum bag*. Pada tingkat kevakuman udara juga sangat berpengaruh pada hasil yang diperoleh pada akhirnya. Oleh karena itu pada penelitian ini juga mengamati perbedaan tingkat dari kevakuman udara pada *vacuum bag* (Wardani, 2015). Dapat ditunjukkan pada Gambar 2- 6.



Gambar 2-6 *Vacuum bag*.

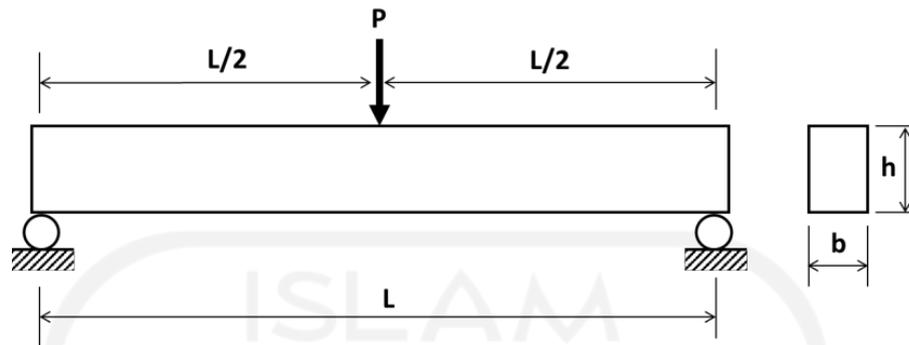
2.2.7 Pengujian *Bending*

Uji *bending* merupakan suatu alat atau pengujian untuk mengetahui suatu nilai terhadap material akibat pembebanan dan kekenyalan dari spesimen. Mesin uji *bending* ini untuk mengetahui seberapa besar nilai dari kekuatan spesimen dan akan mengeluarkan grafik pada tegangan puncaknya. Pada grafik tersebut nanti bisa disimpulkan bahwa hasil tegangan yang ditunjukkan oleh grafik apakah hasilnya sesuai atau tidak sesuai kriteria (Ikhsanto, Noor & Zainuddin, 2020). Pada pengujian ini mengacu pada standar ASTM C393 menggunakan metode *three point bending*. Berikut Gambar 2-7 adalah mesin uji *bending* yang dipakai dalam pengujian spesimen pada penelitian ini.



Gambar 2-7 Mesin uji *bending*.

Berikut ditunjukkan pada Gambar 2-7 adalah ilustrasi dari metode *Three Point Bending* berikut:



Gambar 2- 8 Pembebanan lentur *Three Point Bending*.

Rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan bending sebagai berikut:

- Kekuatan Tegangan *Bending*

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

- Momen Inersia *Sandwich*

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

- Modulus Elastisitas

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bh^3} \times \frac{P}{\delta}$$

- Kekakuan Bending

$$D = Eb \times l$$

- Kekakuan Spesifik

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

Keterangan :

σb = Tegangan *Bending* Maksimal (MPa)

E_b = Modulus Elastisitas (N/mm²)

P = Beban Yang Diberikan (N)

D = Kekakuan *Bending* (Nmm²)

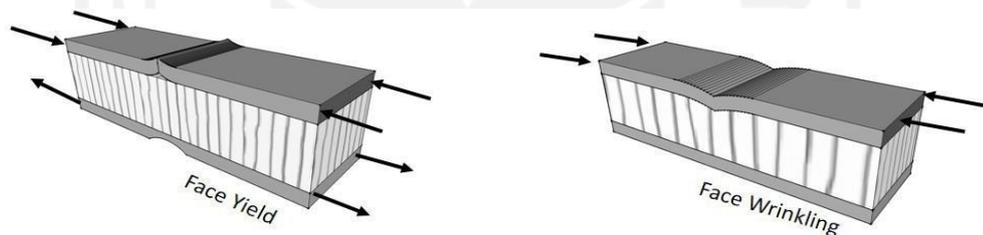
L = Jarak Antara Titik Tumpuan (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

- h = Tebal Spesimen (mm)
 I = Momen Inersia (mm^4)
 δ = Defleksi (mm)
 W = Berat Spesimen (gr)
 D_{spe} = Kekakuan spesifik (Nmm^2/gr)

2.2.8 Modus Kegagalan Uji Bending Komposit Sandwich

Dalam proses aplikasinya pada bidang rekayasa komposit *sandwich* mengalami beragam beban mekanik seperti beban tekan, tarik, geser, puntir, dan lentur. Terkadang dalam penerapannya tidak sedikit juga beban yang dialami kegagalan akibat material ini melebihi beban pada awal perancangan. Sehingga menyebabkan terbentuknya kegagalan pada material ini (Petras, 1998). Berikut adalah jenis kegagalan pada komposit *sandwich* yang ditunjukkan pada Gambar 2-9 berikut ini.



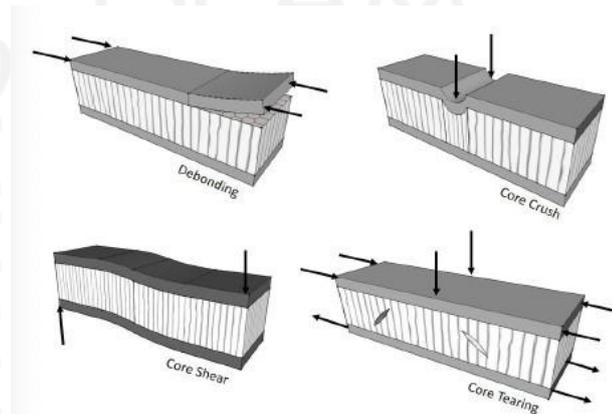
Gambar 2-9 Jenis-jenis kegagalan pada komposit *sandwich*.

Sumber : (Petras, 1998).

Untuk kegagalan *skin* komposit *sandwich* pertama adalah *face yield* dimana terjadi pada saat tegangan normal itu melebihi tegangan luluh pada *skin*. Bila pada *skin* bersifat getas dan sehingga kegagalan *face yield* kemungkinan besar terjadi pada *skin* bagian atas karena lebih kritis terhadap tegangan bending. Kemudian kegagalan *face wrinkling* adalah fenomena tidak dapat menahan beban pada bentuk aslinya yang terjadi pada *skin* akibat tegangan tekan serta minimnya *support* dari *core* karena dimensi dari struktur *core* yang sangat besar (densitas rendah).

Untuk kegagalan *core* terdapat 4 jenis kegagalan dimana pada kegagalan *debonding* adalah kegagalan yang terjadi dari susunan *skin* yang terlepas oleh

bagian *core* spesimen. Untuk *core crush* kegagalan yang terjadi adalah perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen. Untuk *core shear* kegagalan yang terjadi adalah spesimen berubah bentuk akibat pemberian beban yang diberikan. Sementara itu untuk kegagalan *core tearing* jenis kegagalan yang terjadi adalah pecahnya atau terlepasnya bagian *core* spesimen akibat gaya gesek pada bagian tengah spesimen. Berikut adalah ilustrasi dari kegagalan *Debonding*, *Core Crush*, *Core Shear*, dan *Core Tearing* ditunjukkan pada Gambar 2-10.



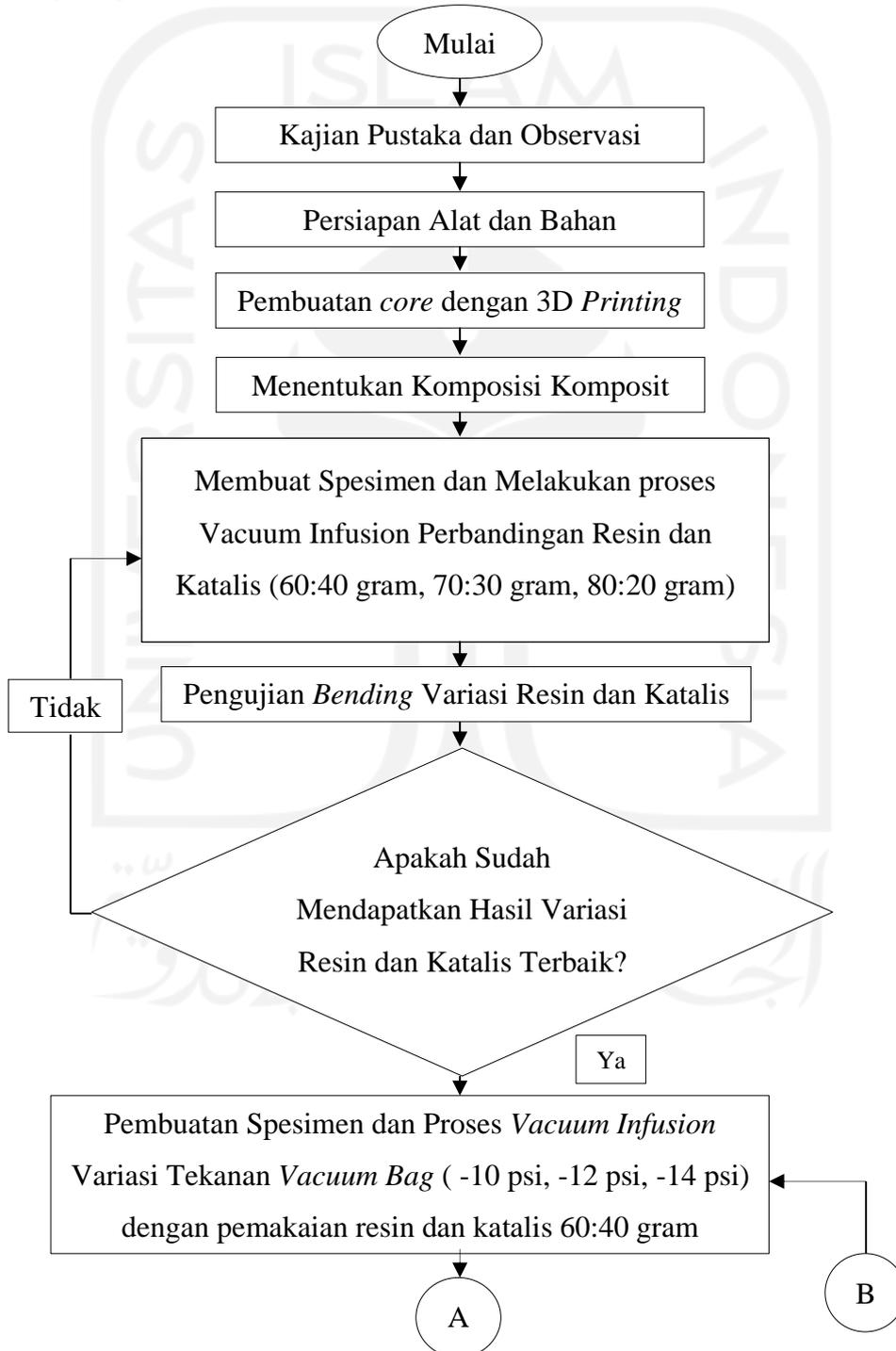
Gambar 2-10 Jenis-jenis kegagalan pada komposit *sandwich*.

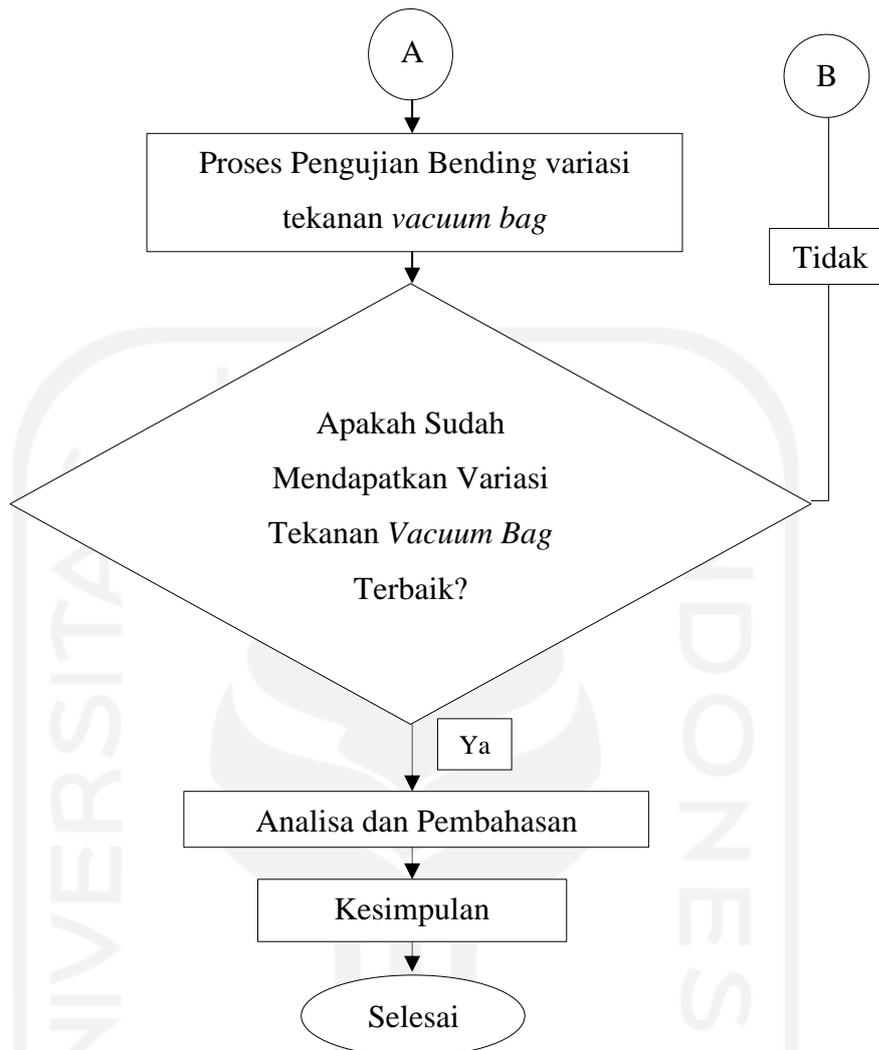
Sumber : (Petras, 1998).

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Berikut adalah alur yang digunakan dalam penelitian ini dan dapat ditunjukkan pada Gambar 3-1.





Gambar 3-1 Alur penelitian.

3.2 Parameter Variasi

Pada penelitian ini menggunakan parameter resin dan katalis yang divariasikan. Berikut parameter variasi yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut.

3.2.1 Parameter Variasi Perbandingan Resin dan Katalis

Berikut adalah parameter variasi yang digunakan pada penelitian ini yang ditunjukkan oleh Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Parameter variasi perbandingan resin dan katalis.

No	Parameter tetap			Parameter Variasi
	Perekat	Motif Carbon	Jumlah Lapisan Carbon	
1	<i>Adhesive Spray</i>	<i>Carbon Twill</i>	1 Lapis	Resin-Katalis 60:40
2	<i>Adhesive Spray</i>	<i>Carbon Twill</i>	1 Lapis	Resin-Katalis 70:30
3	<i>Adhesive Spray</i>	<i>Carbon Twill</i>	1 Lapis	Resin-Katalis 80:20

3.2.2 Parameter Variasi Tekanan *Vacuum Bag*

Berikut adalah parameter variasi yang digunakan pada penelitian ini yang ditunjukkan oleh Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Parameter variasi tekanan *vacuum bag*.

No	Parameter tetap			Parameter Variasi
	Perekat	Motif Carbon	Jumlah Lapisan Carbon	
1	<i>Adhesive Spray</i>	<i>Carbon Twill</i>	1 Lapis	Tekanan -10 psi
2	<i>Adhesive Spray</i>	<i>Carbon Twill</i>	1 Lapis	Tekanan -12 psi
3	<i>Adhesive Spray</i>	<i>Carbon Twill</i>	1 Lapis	Tekanan -14 psi

3.3 Peralatan dan Bahan

1. *Vacuum Pump*

Vacuum pump merupakan alat penghisap udara pada *vacuum bag* saat proses komposit. Alat *vacuum pump* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan tipe Krisbow dengan daya hisap $\frac{1}{2}$ HP. *Vacuum pump* yang digunakan untuk proses menghisap udara dapat ditunjukkan pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2 *Vacuum pump*.

2. *Vacuum catch trap*

Vacuum catch trap sebuah alat untuk menampung resin berlebih pada *vacuum bagging*. Alat ini sebagai pengatur tekanan *vacuum* yang diinginkan atau pengukur ketika *vacuum bag* mengalami masalah kebocoran udara. *Vacuum catch trap* yang digunakan proses komposit ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3-3.



Gambar 3-3 *Vacuum catch trap*.

3. Timbangan digital

Timbangan digital ini berfungsi untuk mengukur berat pada spesimen teliti hingga miligramnya. Timbangan ini juga bisa untuk mengukur berat perbandingan resin dan katalis, serat *carbon*, dan berat spesimen setelah proses *vacuum infusion*. Timbangan digital dapat dilihat pada Gambar 3-4 berikut ini.



Gambar 3-4 Timbangan digital.

4. Filament ABS

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) merupakan bahan yang digunakan untuk pembuatan *3D printing*. *Filament* ABS ini bahan dasar untuk membuat *core* dalam pembuatan komposit *sandwich*. Berikut adalah jenis *filament* yang digunakan pada pembuatan spesimen oleh penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3-5 dibawah ini.



Gambar 3-5 *Filament* ABS.

5. Resin dan Katalis

Resin dan katalis hardener adalah cairan senyawa kimia yang bertujuan untuk merekatkan antara lapisan *carbon* dengan spesimen *3D printing*.

Resin dan katalis yang dipakai pada penelitian ini dapat ditunjukkan oleh Gambar 3-6 dibawah ini.



Gambar 3-6 Resin dan katalis.

6. Katup Vacuum

Katup *vacuum* ini bertujuan untuk mengunci kevakuman dari *vacuum bag*, hal tersebut bertujuan agar *vacuum bag* kedap udara dengan jangka waktu yang lama. Katup vakum yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3-7.



Gambar 3-7 Katup *vacuum*.

7. Serat *Carbon Twill*

Serat *carbon* pada penelitian ini berfungsi sebagai bahan lapisan dari pada *skin* dalam sebuah produk komposit. Sehingga resin dan lapisan *carbon* dapat saling berikatan. Serat *carbon* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *carbon* tipe *Twill* (anyam). Serat *carbon* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3-8 dibawah ini.



Gambar 3-8 Serat *carbon* tipe *twill*.

8. Plastik *vacuum*

Plastik *vacuum* ini bertujuan untuk menjaga kededapan udara yang bertujuan supaya serat *carbon* setelah diberi resin tertekan oleh *vacuum bag* akan merekat sempurna terhadap *core 3D printing*. Plastik *vacuum* yang digunakan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3-9 berikut ini.



Gambar 3-9 Plastik *vacuum bag*.

9. Jaring strimin

Jaring strimin ini berguna saat proses *vacuum infusion* dalam memberi rongga atau jalur mengalirnya resin saat proses komposit atau *vacuum infusion*. Jaring strimin yang digunakan oleh penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3-10 dibawah ini.



Gambar 3-10 Jaring strimin.

10. Kain *peel ply*

Kain *peel ply* ini berfungsi sebagai pemisah antara jaring strimin dengan serat *carbon fiber*. Bertujuan ketika sudah selesai melakukan komposit tidak terdapat garis-garis yang disebabkan oleh kain strimin dan lebih mudah saat pelepasan *core* yang telah selesai proses *vacuum infusion*. Kain *peel ply* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3-11 dibawah ini.



Gambar 3-11 Kain *peel ply*.

11. Selang *spiral*

Selang *spiral* yang berbentuk rongga ini berfungsi untuk mempermudah udara untuk keluar dari *vacuum bag* dan untuk mempermudah mengalirkan resin. Selang *spiral* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3-12 dibawah ini.



Gambar 3-12 Selang *spiral*..

12. Selang Pneumatik

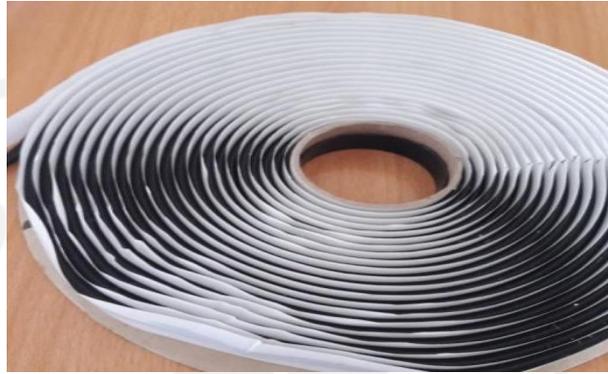
Selang pneumatik berfungsi sebagai penyalur aliran tekanan udara dari *vacuum pump* dan sebagai saluran infus pada resin saat proses *vacuum infusion*. Selang pneumatik yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3-13 dibawah ini.



Gambar 3-13 Selang Pneumatik.

13. *Sealant tape*

Sealant tape yang berfungsi untuk merekatkan *vacuum bag* di setiap sisi supaya tidak terjadi kebocoran udara. *Sealant tape* yang digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3-14 dibawah ini.



Gambar 3-14 *Sealant Tape*.

14. *Miracle Gloss / Release wax*

Release wax ini berguna untuk mempermudah proses pelepasan spesimen. Untuk cara penggunaannya dioleskan terhadap lawan pada spesimen. *Release wax* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3-15 dibawah ini.



Gambar 3-15 *Miracle Gloss*.

15. *Spray Adhesive 3M*

Spray Adhesive 3M ini berfungsi sebagai perekat antara lapisan komposit dan core. *Spray adhesive 3M* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3-16.



Gambar 3-16 *Adhesive spray 3M*.

16. Isolatip kertas

Isolatip kertas berfungsi untuk menutupi pola spesimen supaya pada saat proses *vacuum* resin tidak masuk kedalam *core* dikarenakan *core* yang memiliki pola berlubang. Isolatip kertas yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3-17.



Gambar 3-17 Isolatip kertas.

17. Gunting

Gunting berfungsi sebagai alat pemotong selang, *sealant tape*, isolatip kertas dan lainnya. Gunting yang digunakan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3-18.



Gambar 3-18 Gunting.

18. Gelas plastik

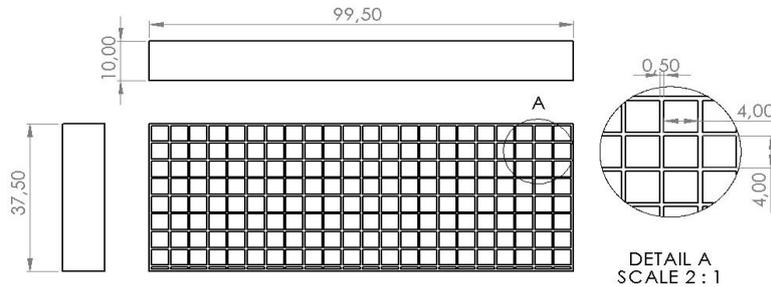
Gelas plastik digunakan untuk tempat pencampuran resin dan katalis hardener, menggunakan gelas plastik supaya lebih praktis. Gelas Plastik yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3-19.



Gambar 3-19 Gelas plastik.

3.4 Dimensi spesimen

Berikut gambar spesimen komposit *sandwich* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan standar ASTM C393, dengan infill 100% dan pola *square*.



Gambar 3-20 Dimensi spesimen.

Berikut dimensi spesimen Panjang, lebar, tebal spesimen, dan tebal pola dapat dilihat pada Tabel 3-3 berikut.

Tabel 3-3 Dimensi spesimen

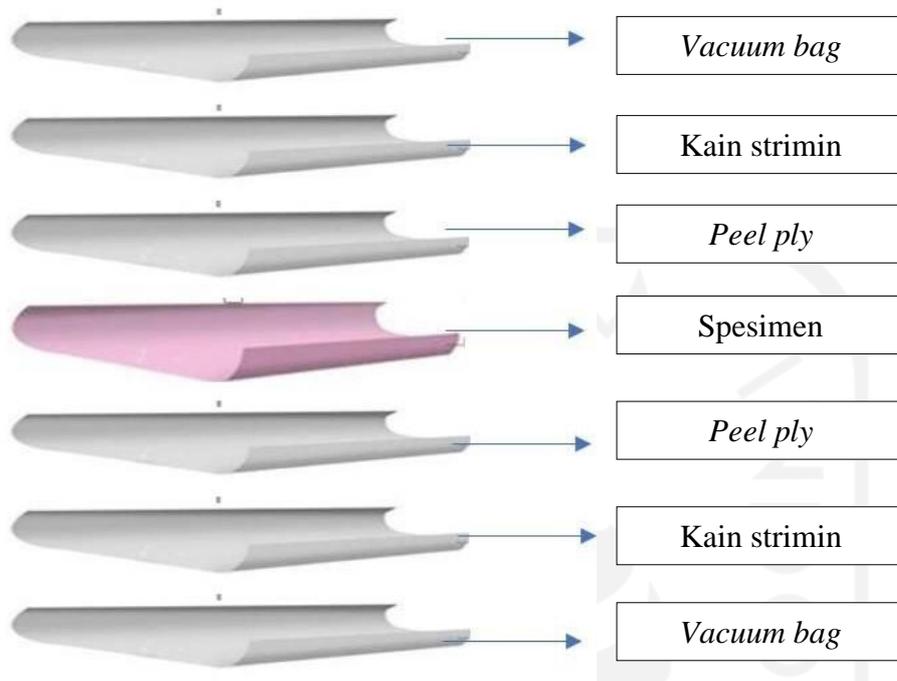
Dimensi Spesimen	
Panjang	100 mm
Lebar	37,35 mm
Tebal Spesimen	10 mm
Tebal Pola	4 mm

Dimensi spesimen yang akan dibuat pada penelitian ini dengan di skala 1:2 dari ukuran asli standar ASTM C393 dengan ketebalan spesimen divariasikan 10 mm. Untuk ukuran pola *square* pada spesimen berukuran 4mm dengan jarak tiap pola *square* 0,5mm.

3.5 Proses Pembuatan Spesimen Komposit Sandwich

Proses pembuatan spesimen komposit *sandwich* yang digunakan dalam penelitian ini dimana mencari variasi perbandingan resin dan katalis terbaik antara 60:40 gram, 70:30 gram, 80:20 gram. Berikutnya variasi tekanan *vacuum bag* saat

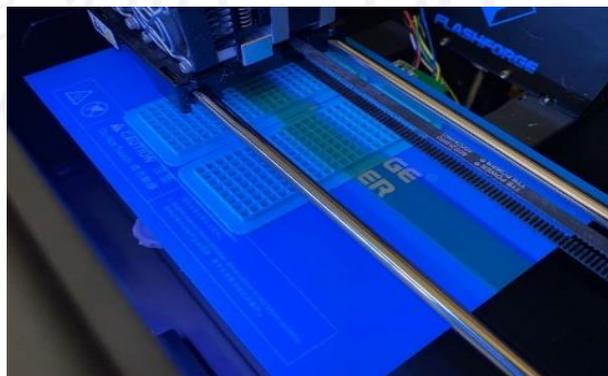
proses komposit *sandwich* menggunakan tekanan -10 psi, -12 psi, -14 psi. Dapat dilihat pada Gambar 3-21 berikut ilustrasi komposisi spesimennya.



Gambar 3-21 Komposisi komposit *sandwich*.

3.5.1 Pembuatan *Core* Dengan Mesin *3D Printing*

Pembuatan *core* yang berpola *square* dengan menggunakan mesin *3D printing*. Spesimen uji dibuat dengan menggunakan material bahan *Acrylonitrile Butane Styrene* (ABS), dengan *infill* 100%, suhu pada meja *3D printing* (*bed*) 105°C, suhu *nozzle* 240°C, dan, *speed* pembuatan spesimen menggunakan 30 mm/s. Dapat dilihat pada Gambar 3-22 berikut ini.



Gambar 3-22 Pembuatan *core* dengan mesin *3D printing*.

3.5.2 Proses *vacuum infusion*

Pada proses *vacuum infusion* terbagi menjadi beberapa tahapan pembuatan *vacuum bag*. Berikut adalah proses pembuatan *vacuum bag* dalam tahap pembuatannya sebagai berikut.

1. Pemotongan *vacuum bag* dan *sealant tape*

Berikut adalah langkah pemotongan plastik *vacuum bag* dan *sealant tape* yang sudah terpotong dan sudah direkatkan. Penyusunan hasil potongan plastik *vacuum bag*, dan proses merekatkan *sealant tape* pada lembaran plastik *vacuum bag* yang kedua. Dapat dilihat pada Gambar 3-23 berikut ini.



Gambar 3-23 Pemotongan *vacuum bag* dan *sealant tape*.

2. Pemasangan jaring strimin

Pemasangan jaring strimin pada ujung jaring strimin diberi isolatip kertas hal ini bertujuan plastik vakum tidak mengalami kebocoran akibat tertusuk ujung jaring strimin jika ada bagian yang runcing oleh karena itu diberikan perlindungan dari isolatip kertas. Prosesnya dapat dilihat pada Gambar 3-24 berikut.



Gambar 3-24 Pemasangan jaring strimin.

3. Pemasangan kain *peel ply*

Proses pemasangan kain *peel ply* ini bertujuan memberi batas antara spesimen dengan jaring strimin. Hal tersebut jika tidak diberi lapisan kain *peel ply* akan terdapat bercak garis dari jaring strimin pada spesimen. Prosesnya dapat dilihat pada Gambar 2-25 berikut.



Gambar 3-25 Pemasangan kain *peel ply*.

4. Pemasangan selang *infusion inlet* dan *outlet*

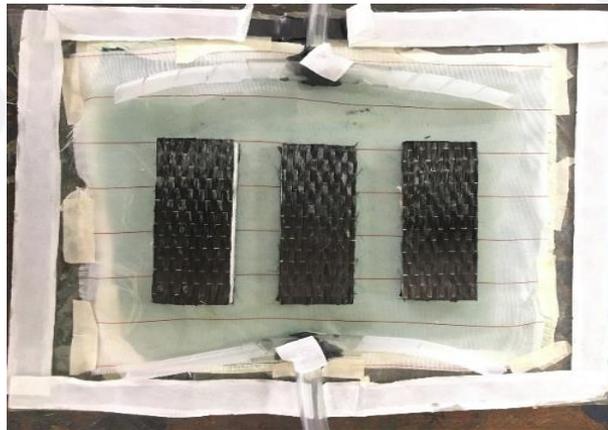
Proses pemasangan selang *infusion inlet* dan *outlet* harus mengetahui dari sisi mana yang lebih efektif untuk posisi penempatannya. Hal ini bertujuan untuk mempermudah aliran resin dan proses *vacuum infusion* ketika sudah menemukan jalur aliran yang tepat akan kecil kemungkinan untuk terjadinya kegagalan. Dapat dilihat pada Gambar 3-26 berikut.



Gambar 3-26 Pemasangan selang *infusion input* dan *output*.

5. Penempatan spesimen pada *vacuum bagging*

Sebelum menutup bagian atas dengan plastik *vacuum bag* pada proses *vacuum* dipastikan tidak ada yang tertinggal dalam proses penyusunan yang berakibat resin tidak bisa mengalir sempurna dan posisi spesimen diberikan jarak 2 cm supaya aliran resin bisa menyebar menyeluruh dan pada saat proses *vacuum* spesimen tidak menempel antara satu dengan yang lain. Dapat dilihat pada Gambar 3-27 berikut.



Gambar 3-27 Penempatan spesimen pada *vacuum bagging*.

6. Menutup rangkaian pada *vacuum bagging*

Proses ini menyusun semua bahan yang digunakan untuk proses *vacuum infusion* kedalam plastik *vacuum* dengan urutan yang terbalik sesuai urutan gambar 3-25 sampai 3-23. Dapat dilihat ketika *vacuum bag* yang sudah jadi bisa dilihat pada Gambar 3-28 berikut.



Gambar 3-28 Menutup rangkaian *vacuum bagging*.

7. Proses pencampuran resin dan katalis *hardener*

Proses berikut adalah saat pencampuran resin dan katalis *hardener* dengan perbandingan 60:40 gram dari resin dan katalis. Ketika resin dan katalis dicampurkan menjadi satu bertujuan tercampur sempurna antara kedua cairan tersebut dapat mengeras dan mengikat lapisan komposit dengan spesimen. Dapat dilihat prosesnya pada Gambar 3-29 berikut.



Gambar 3-29 Proses pencampuran resin dan katalis *hardener*.

8. Proses pengerjaan *vacuum infusion*

Vacuum infusion ini adalah proses menghilangkan udara pada *vacuum bag*. Hal ini bertujuan resin merekat sempurna dan tidak mengalami kegagalan saat proses komposit. Karena jangan sampai ada udara yang masuk didalam *vacuum bag* dikarenakan bisa mengalami kegagalan produk spesimen. Proses *vacuum infusion* dapat dilihat pada Gambar 3-30 berikut.



Gambar 3-30 Proses *vacuum infusion*.

3.6 Proses pengujian *bending*

Pengujian *bending* dilakukan di Laboratorium Politeknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta menggunakan mesin uji *bending* J.T.M. TECHNOLOGY CO., LTD model JTM-UTC220. Pengujian *bending* ini mengacu pada atau dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis material terhadap beban tekan terhadap spesimen pengujian *bending* standar ASTM C393.

Sebelum melakukan pengujian, pastikan spesimen yang akan diuji sudah diberi tanda pada setiap bagian spesimen, agar hasil pengujian dapat disusun dengan mudah. Berikut adalah langkah-langkah pengujian yang dilakukan:

1. Menyiapkan spesimen uji *bending*.

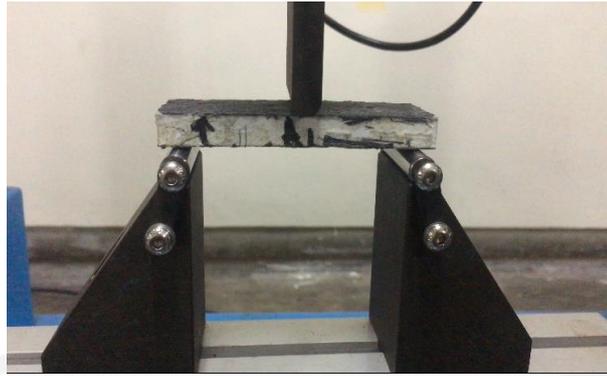
Berikut adalah jarak tumpuan *bending* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3-31.



Gambar 3-31 Jarak tumpuan *bending*.

2. Mengatur jarak tumpuan sesuai dengan standar ASTM C393.
3. Letakkan spesimen uji yang sudah dibuat pada alat uji *bending* sesuai ketentuan yang sudah ada.
4. Mengatur spesimen tepat pada tengah-tengah indenter.

Berikut adalah proses saat melakukan uji *bending* dapat dilihat pada Gambar 3-32.



Gambar 3-32 Proses pengujian *bending*.

5. Mesin uji *bending* akan memberikan beban maksimal secara perlahan hingga spesimen melengkung atau patah.
6. Hasil pengujian akan otomatis tercatat pada komputer mesin uji *bending*.

3.6.1 Spesimen setelah uji *bending*.

Berikut adalah kegagalan spesimen setelah proses pengujian bending di Laboratorium ditunjukkan pada Gambar 3-33 dan Gambar 3-34.



Gambar 3- 33 Spesimen perbandingan resin dan katalis setelah uji bending.



Gambar 3-34 Spesimen tekanan *vacuum bag* setelah uji bending.

Setelah melakukan proses uji *bending* dapat diketahui bahwa spesimen ini mengalami kegagalan patahnya spesimen atau mengelupasnya lapisan komposit akibat gaya yang diberikan dari mesin uji bending terhadap spesimen komposit.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh perbandingan resin dan katalis pembuatan komposit *sandwich* terhadap Tegangan *Bending*, Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Kekakuan Spesifik.

Pada sub bab ini membahas pengaruh perbandingan resin dan katalis 60:40 gram, 70:30 gram, dan 80:20 gram. Terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan, dan kekakuan spesifik.

4.1.1 Pengaruh perbandingan resin dan katalis pembuatan komposit *sandwich* terhadap Tegangan *Bending*.

Pengaruh perbandingan resin dan katalis terhadap tegangan *bending* dapat dilihat pada Tabel 4-1 sebagai berikut :

Tabel 4-1 tegangan bending perbandingan resin dan katalis

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
RK_60:40	199,86	75	37,35	10,67
RK_70:30	184,63	75	37,35	10,66
RK_80:20	180,21	75	37,35	10,58

Berikut adalah perhitungan dari tegangan bending maksimal pada variasi perbandingan resin dan katalis 60:40 gram dengan contoh sebagai berikut:

Diketahui : $b = 37.35 \text{ mm}$ $h = 10.67 \text{ mm}$
 $P = 199.86 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$

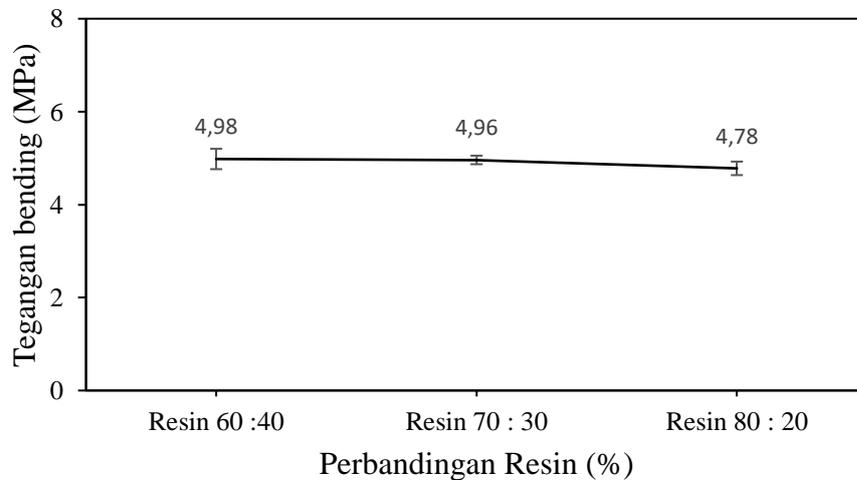
1. Tegangan Bending

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

$$\sigma_b = \frac{3 \times 199.86 \times 75}{2 \times 37.35 \times (10.67)^2}$$

$$\sigma_b = 4.98 \text{ Mpa}$$

Pengaruh perbandingan resin dan katalis terhadap tegangan *bending* dapat dilihat pada Gambar 4-1 sebagai berikut :

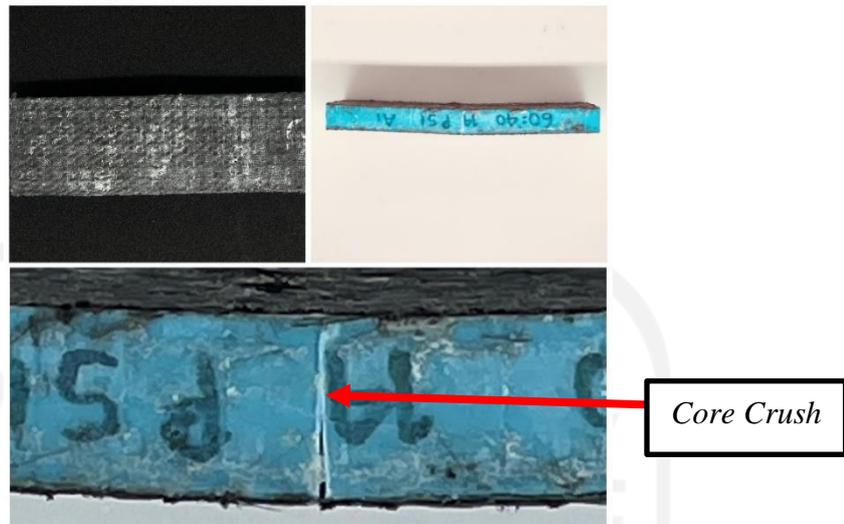


Gambar 4-1 Grafik perbandingan resin dan katalis.

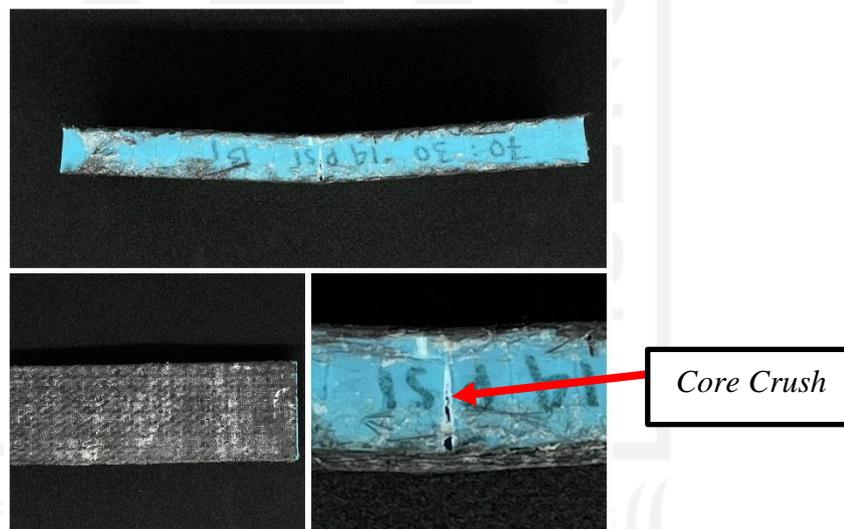
Seperti ditunjukkan pada Gambar 4-1 diatas adalah hasil tegangan *bending* dapat diketahui bahwa masing-masing kelompok uji *bending* memiliki beberapa perbedaan berdasarkan dari rata-rata hasil pengujian *bending*. Dapat dilihat pada variasi perbandingan resin dan katalis tegangan *bending* tertinggi ditunjukkan oleh perbandingan resin dan katalis 60:40 gram dengan nilai rata-rata 4,98 MPa. Sedangkan tegangan *bending* terendah terdapat pada perbandingan resin dan katalis 70:30 gram ini memiliki rata-rata nilai 4,78 MPa. Lalu pada variasi perbandingan resin dan katalis 80:20 gram dengan nilai rata-rata 4,96 MPa. Hal tersebut berkaitan dengan perbandingan resin dan katalis dimana semakin banyak katalis yang digunakan pada campuran resin maka tingkat kekeringan untuk kompositnya semakin lebih cepat yang membuat nilai tegangan bending menjadi lebih tinggi dan kaku.

Hal tersebut juga disampaikan oleh Hendri Hestiawan, Jamasri, (2017) yang menyatakan bahwa dimana semakin banyak katalis yang digunakan pada campuran resin maka tingkat kekeringan untuk kompositnya semakin lebih cepat yang membuat nilai tegangan bending menjadi lebih tinggi dan kaku.

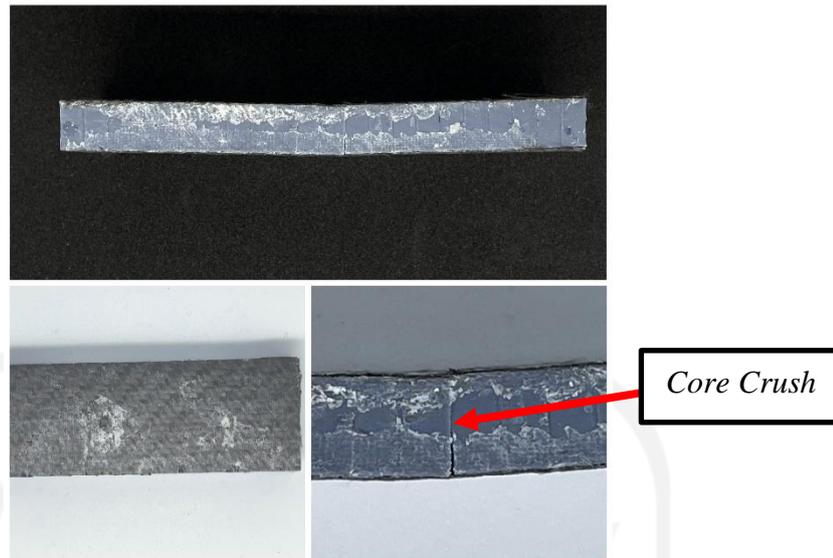
Dapat dilihat modus kegagalan tekanan *vacuum bag* pada Gambar 4-2, Gambar 4-3, dan Gambar 4-4.



Gambar 4-2 Spesimen perbandingan resin dan katalis 60:40 gram.



Gambar 4-3 Spesimen perbandingan resin dan katalis 70:30.



Gambar 4-4 Spesimen perbandingan resin dan katalis 80:20.

Dapat dilihat pada Gambar 4-2, Gambar 4-3, dan Gambar 4-4 adalah modus kegagalan yang dialami pada setiap spesimen adalah *core crush*. *Core crush* setiap spesimen ini menggambarkan kerusakan pada spesimen dikarenakan jenis pola yang digunakan square dengan ketebalan strukturnya 5 mm oleh karena itu spesimen tidak mampu menahan patahnya spesimen saat proses uji *bending*.

4.1.2 Pengaruh perbandingan resin dan katalis pembuatan komposit *sandwich* terhadap modulus elastisitas.

Berikut adalah data untuk mencari modulus elastisitas pada spesimen jenis perbandingan resin dan katalis dapat ditunjukkan pada Tabel 4-2.

Tabel 4-2 Data variabel modulus elastisitas resin dan katalis

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	δ (mm)
RK60:40	199,68	75	37,35	10,08	3,67
RK70:30	184,63	75	37,35	10,16	4,28
RK80:20	180,21	75	37,35	9,55	4,26

Berikut hasil perhitungan modulus elastisitas perbandingan resin dan katalis 60:40 gram dengan contoh sebagai berikut:

Diketahui : $b = 37,35 \text{ mm}$ $h = 10,16 \text{ mm}$ $\delta = 2,34 \text{ mm}$
 $P = 199,68 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$

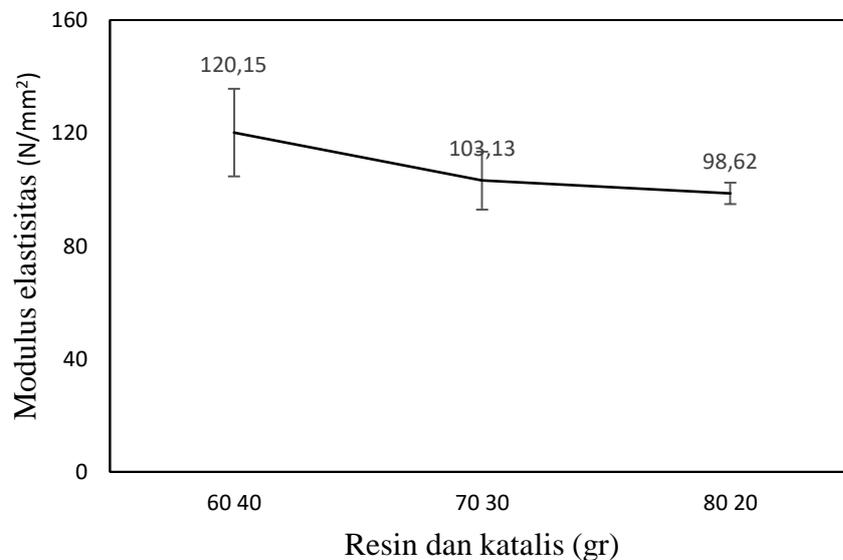
1. Modulus Elastisitas

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bh^3} \times \frac{P}{\delta}$$

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{(75)^3}{37.35 \times 10.67^3} \times \frac{199.68}{2.34}$$

$$Eb = 120.15 \text{ N/mm}^2.$$

Berikut adalah grafik untuk modulus elastisitas pada spesimen jenis perbandingan resin dan katalis dapat ditunjukkan pada Gambar 4-5.



Gambar 4-5 Grafik modulus elastisitas perbandingan resin dan katalis.

Dari Gambar 4-5 menunjukkan hasil nilai modulus elastisitas paling tinggi menggunakan spesimen jenis perbandingan resin dan katalis 60:40 gram dengan nilai 120,15 N/mm². Untuk hasil tertinggi kedua didapatkan pada perbandingan resin dan katalis 80:20 gram dengan nilai 103,13 N/mm². Lalu posisi paling rendah ditunjukkan pada perbandingan resin dan katalis 70:30 dengan nilai 98,62 N/mm². Berdasarkan data yang diperoleh pada penelitian ini membuktikan bahwa semakin

besar nilai perbandingan katalis yang digunakan maka semakin tinggi nilai dari modulus elastisitasnya.

Hal tersebut juga disampaikan oleh Milya et al., (2022) yang menyatakan bahwa dimana semakin banyak katalis yang digunakan pada campuran resin maka semakin tinggi juga nilai modulus elastisitas.

4.1.3 Pengaruh perbandingan resin dan katalis pembuatan komposit *sandwich* terhadap kekakuan bending.

Berikut adalah data untuk mencari kekakuan bending pada spesimen jenis perbandingan resin dan katalis 60:40 gram dapat ditunjukkan pada Tabel 4-3.

Tabel 4-3 Tabel data kekakuan bending resin dan katalis

Kode Spesimen	E (N/mm ²)	b (mm)	h (mm)	I (mm ⁴)
RK60:40	120,15	37,35	10,08	3788,63
RK70:30	103,13	37,35	10,16	3698,35
RK80:20	98,62	37,35	9,55	3777,68

Berikut hasil perhitungan kekakuan *bending* perbandingan resin dan katalis 60:40 gram dengan contoh sebagai berikut.

Diketahui : $E = 120,15 \text{ N/mm}^2$

$b = 37,35 \text{ mm}$

$h = 10,08 \text{ mm}$

1. Momen Inersia

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

$$I = \frac{1}{12} \times 37,35 \times (10,08)^3$$

$$I = 3788,63 \text{ mm}^4$$

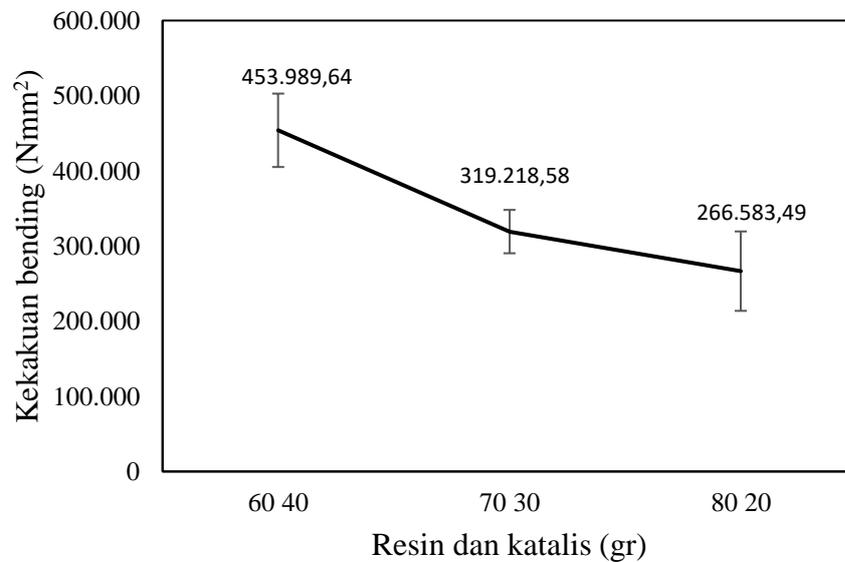
2. Kekakuan *Bending*

$$D = E \times I$$

$$D = 120,15 \times 3788,63$$

$$D = 453.989,64 \text{ Nmm}^2$$

Berikut adalah grafik untuk kekakuan *bending* pada spesimen jenis perbandingan resin dan katalis dapat ditunjukkan pada Gambar 4-6.



Gambar 4-6 Grafik kekakuan perbandingan resin dan katalis.

Dari Gambar 4-6 menunjukkan hasil nilai kekakuan *bending* paling tinggi menggunakan spesimen jenis perbandingan resin dan katalis 60:40 gram dengan nilai 453.989,64 Nmm². Untuk hasil tertinggi kedua didapatkan pada perbandingan resin dan katalis 70:30 gram dengan nilai 319.218,58 Nmm². Lalu posisi paling rendah ditunjukkan pada perbandingan resin dan katalis 80:20 dengan nilai 266.583,49 Nmm². Berdasarkan data yang diperoleh pada penelitian ini semakin besar jumlah katalis yang digunakan pada campuran resin maka tingkat kekeringan kompositnya semakin lebih cepat. Apabila resin dan katalis lebih cepat kering maka spesimen komposit yang dihasilkan semakin kaku dan nilai kekakuan menjadi lebih tinggi.

Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian dan salah satunya adalah Hendri Hestiawan, Jamasri, (2017) yang menyatakan bahwa ketika semakin banyak katalis yang digunakan maka semakin kaku spesimen yang telah diproses komposit *sandwich*.

4.1.4 Pengaruh perbandingan resin dan katalis pembuatan komposit *sandwich* terhadap kekakuan spesifik.

Pengaruh perbandingan resin dan katalis terhadap kekakuan spesifik dapat dilihat pada Tabel 4-4 sebagai berikut.

Tabel 4-4 Kekakuan spesifik perbandingan resin dan katalis

Kode Spesimen	D (Nmm^2)	W (gr)
RK60:40	453.989,64	12,21
RK70:30	319.218,58	12,52
RK80:20	266.583,49	12,58

Berikut hasil perhitungan kekakuan spesifik perbandingan resin dan katalis 60:40 gram, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $D = Nmm^2$ (Kekakuan)

$W = 12,21$ gram (Berat)

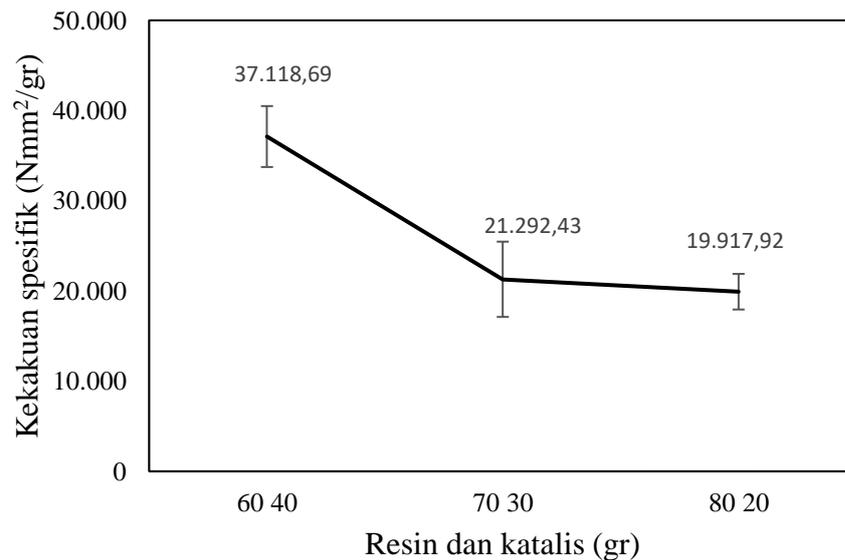
1. Kekakuan Spesifik

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

$$D \text{ spesifik} = \frac{453.989,64}{12,21}$$

$$D \text{ spesifik} = 37.118,69 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$$

Berikut adalah grafik untuk kekakuan spesifik pada spesimen jenis perbandingan resin dan katalis dapat ditunjukkan pada Gambar 4-7.



Gambar 4-7 Grafik kekakuan spesifik perbandingan resin dan katalis.

Dari Gambar 4-7 menunjukkan hasil nilai kekakuan spesifik paling tinggi menggunakan spesimen jenis perbandingan resin dan katalis 60:40 gram dengan nilai 37.118,69 Nmm²/gr. Untuk hasil tertinggi kedua didapatkan pada perbandingan resin dan katalis 70:30 gram dengan nilai 21.292,43 Nmm²/gr. Lalu posisi paling rendah ditunjukkan pada perbandingan resin dan katalis 80:20 dengan nilai 19.917,92 Nmm²/gr.

Karena perbedaan massa jenis katalis yang semakin banyak dengan spesimen yang lainnya. Hal ini membuktikan bahwa spesimen tersebut dapat menahan beban tekan yang lebih tinggi dari variasi perbandingan resin dan katalis 70:30 gram dan 80:20 gram. Sedangkan nilai kekakuan spesifik paling rendah terdapat pada perbandingan resin dan katalis 80:20 gram dengan nilai rata-ratanya 19.917,92 Nmm²/gr. Pada perbandingan resin dan katalis 60:40 gram memiliki nilai kekakuan spesifik paling tinggi dengan nilai sebesar 37.118,69 Nmm²/gr.

Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian dan salah satunya adalah Hendri Hestiawan, Jamasri, (2017) yang menyatakan bahwa ketika semakin banyak katalis yang digunakan maka semakin kaku dan kekakuan spesifiknya semakin besar pada spesimen yang telah diproses komposit *sandwich*.

4.2 Pengaruh tingkat kevakuman udara saat proses *vacuum infusion* -10 psi, -12 psi, dan -14 psi saat pembuatan komposit *sandwich* terhadap Tegangan *Bending*, Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Kekakuan Spesifik.

Pada sub bab ini membahas pengaruh tingkat *vacuum bag* saat proses *vacuum infusion* dengan variasi -10 psi, -12 psi, dan -14 psi. Terhadap tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan, dan kekakuan spesifik.

4.2.1 Pengaruh tekanan *vacuum bag* terhadap pembuatan komposit *sandwich* dan Tegangan *Bending*.

Pengaruh tekanan *vacuum bag* terhadap tegangan *bending* dapat dilihat pada Tabel 4-5 sebagai berikut :

Tabel 4-5 tegangan *bending* tekanan *vacuum bag*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)
TKN_-10 psi	184,04	75	37,35	10,61
TKN_-12 psi	188,32	75	37,35	10,57
TKN_-14 psi	222,38	75	37,35	10,68

Berikut adalah perhitungan dari tegangan *bending* maksimal pada variasi tekanan *vacuum bag* -14 psi dengan contoh sebagai berikut.

Diketahui : $b = 37,35 \text{ mm}$ $h = 10,68 \text{ mm}$

$P = 222,38 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$

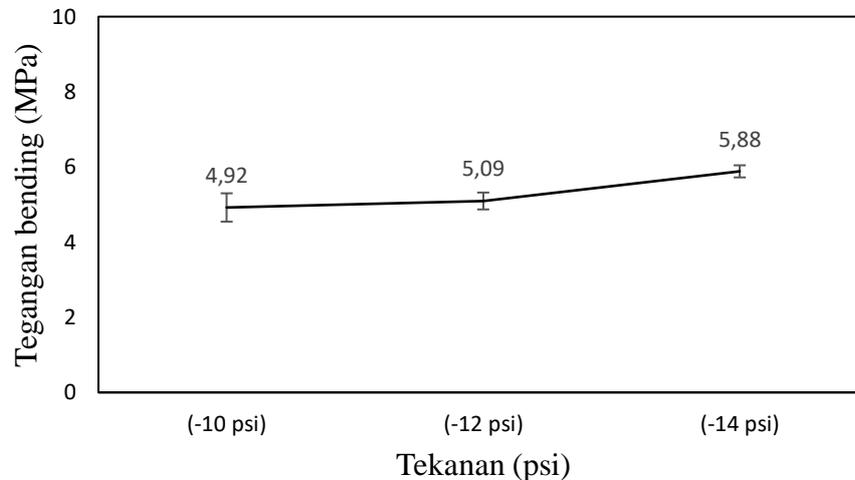
1. Tegangan *Bending*

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

$$\sigma_b = \frac{3 \times 222,38 \times 75}{2 \times 37,35 \times (10,68)^2}$$

$$\sigma_b = 5,88 \text{ Mpa}$$

Pengaruh tekanan *vacuum bag* terhadap tegangan bending dapat dilihat pada Gambar 4-8 berikut ini.

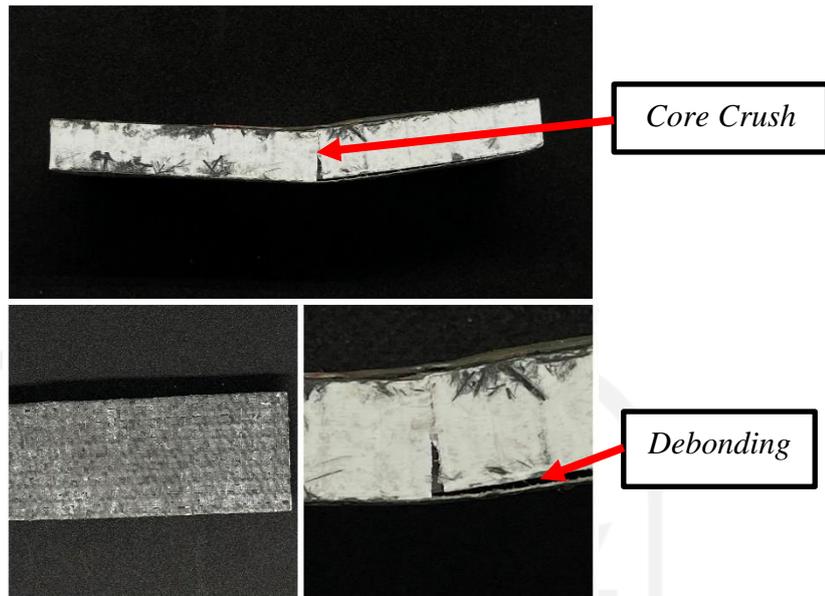


Gambar 4-8 Grafik tegangan bending tekanan *vacuum bag*.

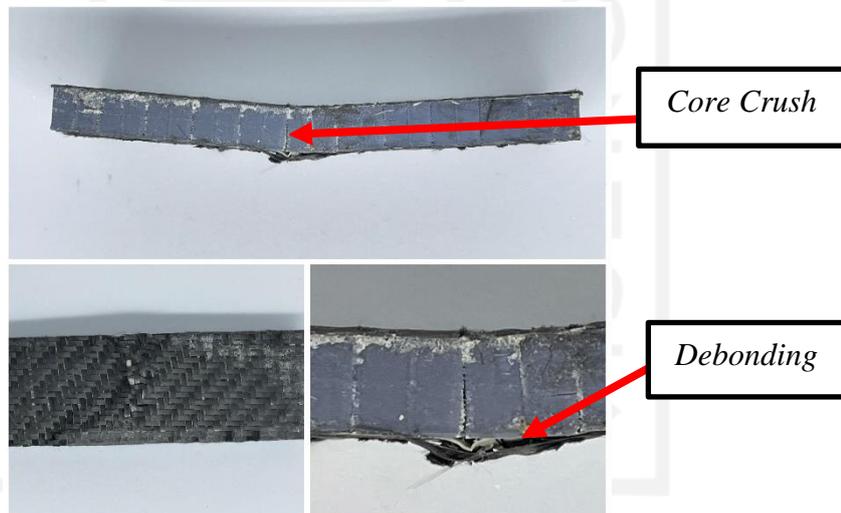
Pada Gambar 4-8 hasil tegangan *bending* dapat diketahui bahwa masing-masing kelompok uji *bending* memiliki beberapa perbedaan berdasarkan dari rata-rata hasil pengujian tegangan *bending*. Dapat dilihat pada variasi tekanan *vacuum bag* ini. Tegangan *bending* tertinggi ditunjukkan oleh tekanan *vacuum bag* -14 psi dengan nilai rata-rata 5,88 MPa. Sedangkan tegangan *bending* terendah terdapat pada tekanan *vacuum bag* -10 psi dengan nilai rata-rata 4,92 MPa. Lalu tekanan tertinggi kedua pada *vacuum bag* -12 psi ini memiliki rata-rata nilai 5,09 MPa. Hal tersebut berkaitan dengan tingkat kevakuman udara pada *vacuum bag*. Dimana semakin besar tingkat kevakuman udara pada *vacuum bag* maka membuat nilai tegangan *bending* menjadi lebih tinggi dan lebih kaku.

Hal tersebut juga disampaikan oleh Bani et al., (2017) yang menyatakan bahwa dimana semakin besar tingkat kevakuman udara pada *vacuum bag* maka membuat nilai tegangan *bending* menjadi lebih tinggi.

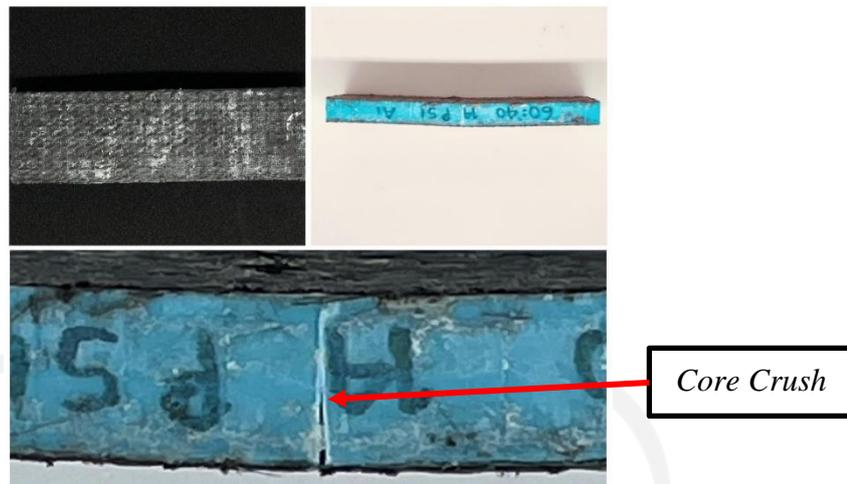
Pada data tersebut berkaitan dengan modus kegagalan spesimen setelah melakukan proses pengujian *bending* dapat dilihat pada Gambar 4-9, Gambar 4-10, dan Gambar 4-11 berikut.



Gambar 4-9 Spesimen tekanan *vacuum bag* -10 psi.



Gambar 4-10 Spesimen tekanan *vacuum bag* -12 psi.



Gambar 4-11 Spesimen tekanan *vacuum bag* -14 psi.

Dapat dilihat pada Gambar 4-9 dan Gambar 4-10 terdapat kesamaan yang dialami adalah 2 modus kegagalan yang terjadi setelah uji *bending*. Modus kegagalan *Debonding* adalah terlepasnya lapisan komposit terhadap permukaan spesimen karena perekat *spray adhesive 3M* yang disemprotkan antara lapisan komposit dan spesimen tidak mampu menahan beban uji *bending* dikarenakan *adhesive 3M spray* ini tipe perekat liquid dan permukaan spesimen yang terlapisi perekat hanya 0,5mm dengan pola square. *Core crush* adalah patahnya spesimen karena tidak mampu menahan uji *bending* hal tersebut dikarenakan core yang digunakan membentuk pola rongga square dengan ketebalan strukturnya 0,5mm. Tetapi terdapat perbedaan pada Gambar 4-11 ini hanya mengalami *Core crush*. *Core crush* adalah patahnya spesimen karena tidak mampu menahan uji *bending* hal tersebut dikarenakan tipe *core* yang digunakan membentuk pola rongga square dengan ketebalan strukturnya 0,5 mm.

Hal tersebut membuat kegagalan yang terjadi pada spesimen menjadi retak tetapi tidak sampai patah. Ketika semakin rendah tekanan pada *vacuum bag* maka berat komposit semakin ringan. Ketika semakin ringan hasil komposit maka diikuti juga hasil tegangan *bending* menjadi lebih tinggi (Bani et al., 2017).

4.2.2 Pengaruh tekanan *vacuum bag* terhadap pembuatan komposit *sandwich* terhadap modulus elastisitas.

Berikut adalah data untuk mencari modulus elastisitas pada spesimen variasi tekanan *vacuum bag* dapat ditunjukkan pada Tabel 4-2.

Tabel 4-6 Data variabel modulus elastisitas tekanan *vacuum bag*

Kode Spesimen	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	δ (mm)
TKN_-10 psi	184,04	75	37,35	10,61	3,89
TKN_-12 psi	188,32	75	37,35	10,57	3,80
TKN_-14 psi	222,38	75	37,35	10,68	3,67

Berikut hasil perhitungan modulus elastisitas tertinggi pada tekanan *vacuum bag* -14 psi dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $b = 37,35 \text{ mm}$ $h = 10,68 \text{ mm}$ $\delta = 3,67 \text{ mm}$
 $P = 222,38 \text{ N}$ $L = 75 \text{ mm}$

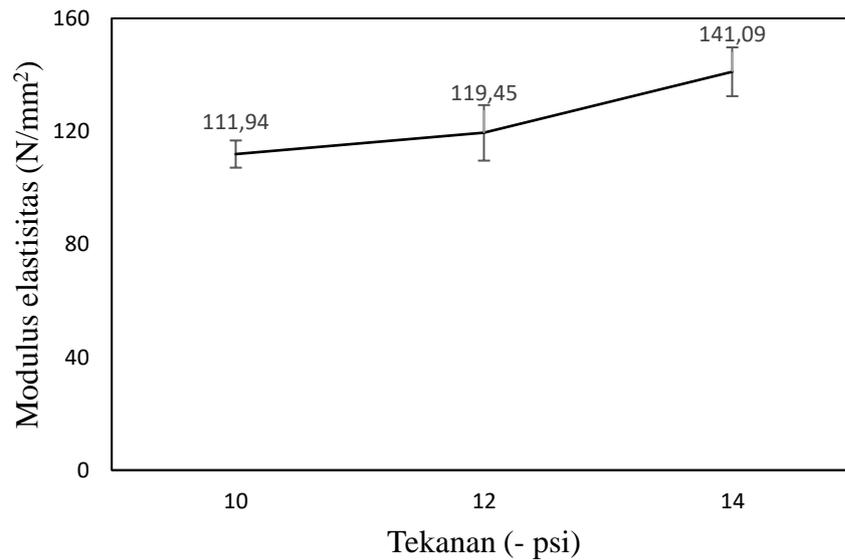
1. Modulus Elastisitas

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{L^3}{bh^3} \times \frac{P}{\delta}$$

$$Eb = \frac{1}{4} \times \frac{(75)^3}{37,35 \times 10,68^3} \times \frac{222,38}{3,67}$$

$$Eb = 141,09 \text{ N/mm}^2.$$

Berikut adalah grafik untuk modulus elastisitas pada spesimen jenis tekanan *vacuum bag* dapat ditunjukkan pada Gambar 4-12.



Gambar 4-12 Grafik modulus elastisitas tekanan *vacuum bag*.

Dilihat pada Gambar 4-12 menunjukkan hasil dari nilai modulus elastisitas paling tinggi menggunakan spesimen variasi tekanan *vacuum bag* -14 psi dengan nilai 141,09 N/mm². Untuk hasil tertinggi kedua didapatkan variasi tekanan *vacuum bag* -12 psi dengan nilai 119,45 N/mm². Lalu posisi paling rendah ditunjukkan pada variasi tekanan *vacuum bag* -10 psi dengan nilai 111,94 N/mm². Berdasarkan data yang diperoleh pada penelitian ini membuktikan bahwa semakin besar nilai kevakuman yang digunakan maka semakin tinggi nilai dari modulus elastisitasnya.

Hal tersebut juga disampaikan oleh Bani et al., (2017) yang menyatakan bahwa dimana semakin tinggi nilai kevakuman udara yang digunakan pada *vacuum bag* maka semakin tinggi juga nilai modulus elastisitas.

4.2.3 Pengaruh tekanan *vacuum bag* terhadap pembuatan komposit *sandwich* terhadap kekakuan bending.

Berikut adalah data untuk mencari kekakuan bending pada spesimen jenis tekanan *vacuum bag* dapat ditunjukkan pada Tabel 4-7.

Tabel 4-7 Data kekakuan bending tekanan *vacuum bag*

Kode Spesimen	E (N/mm ²)	b (mm)	h (mm)	I (mm ⁴)
TKN_-10 psi	111,94	37,35	10,08	3724,10
TKN_-12 psi	119,45	37,35	10,16	3662,86
TKN_-14 psi	141,09	37,35	9,55	3788,63

Berikut hasil perhitungan kekakuan bending tertinggi pada tekanan *vacuum bag* -14 psi dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : $E = 141,09 \text{ N/mm}^2$

$b = 37,35 \text{ mm}$

$h = 10,08 \text{ mm}$

1. Momen Inersia

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

$$I = \frac{1}{12} \times 37,35 \times (10,08)^3$$

$$I = 3788,63 \text{ mm}^4$$

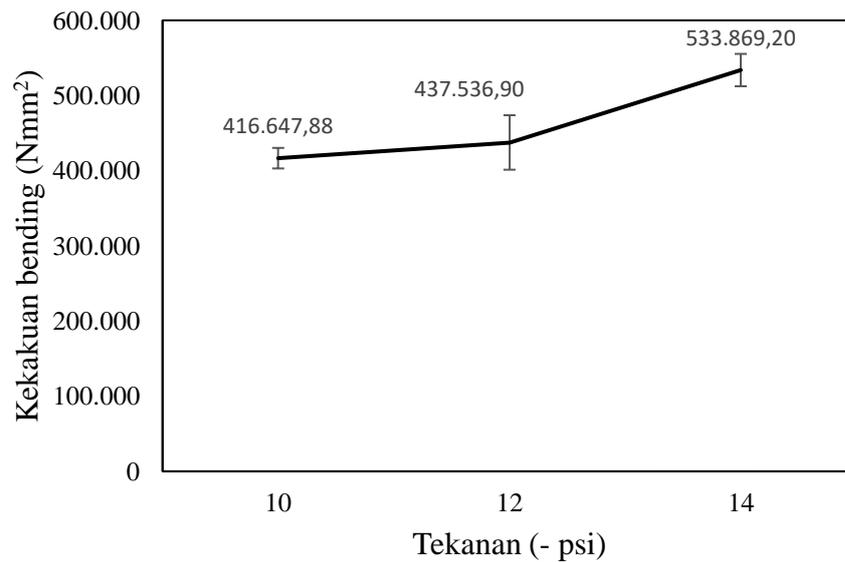
2. Kekakuan *Bending*

$$D = E \times I$$

$$D = 141,09 \times 3788,63$$

$$D = 533.869,20 \text{ Nmm}^2$$

Berikut adalah grafik untuk modulus elastisitas pada spesimen jenis tekanan *vacuum bag* dapat ditunjukkan pada Gambar 4-13.



Gambar 4-13 Grafik kekakuan bending tekanan *vacuum bag*.

Pada Gambar 4-13 menunjukkan hasil nilai kekakuan bending paling tinggi menggunakan spesimen variasi tekanan *vacuum bag* -14 psi dengan nilai 533.869,20 Nmm². Untuk hasil tertinggi kedua didapatkan variasi tekanan *vacuum bag* -12 psi dengan nilai 437.536,90 Nmm². Lalu posisi paling rendah ditunjukkan pada variasi tekanan *vacuum bag* -10 psi dengan nilai 416.647,88 Nmm². Berdasarkan data yang diperoleh pada penelitian ini ketika semakin besar tingkat kevakuman udara pada *vacuum bag* yang digunakan untuk proses komposit *sandwich* maka hasil yang diperoleh pada spesimen semakin lebih ringan dan lebih kuat pada hasil tegangan bendungnya (Bani et al., 2017).

4.2.4 Pengaruh tekanan *vacuum bag* terhadap pembuatan komposit *sandwich* terhadap kekakuan spesifik.

Pengaruh perbandingan resin dan katalis terhadap kekakuan spesifik dapat dilihat pada Tabel 4-8 sebagai berikut.

Tabel 4-8 Kekakuan spesifik tekanan *vacuum bag*

Kode Spesimen	D (Nmm ²)	W (gr)
TKN_-10 psi	416.647,88	16,04
TKN_-12 psi	437.536,90	13,67
TKN_-14 psi	533.869,20	12,21

Berikut hasil perhitungan kekakuan spesifik tekanan *vacuum bag* -14 psi, dengan contoh sebagai berikut :

Diketahui : D = Nmm² (Kekakuan)

W = 12,21 gram (Berat)

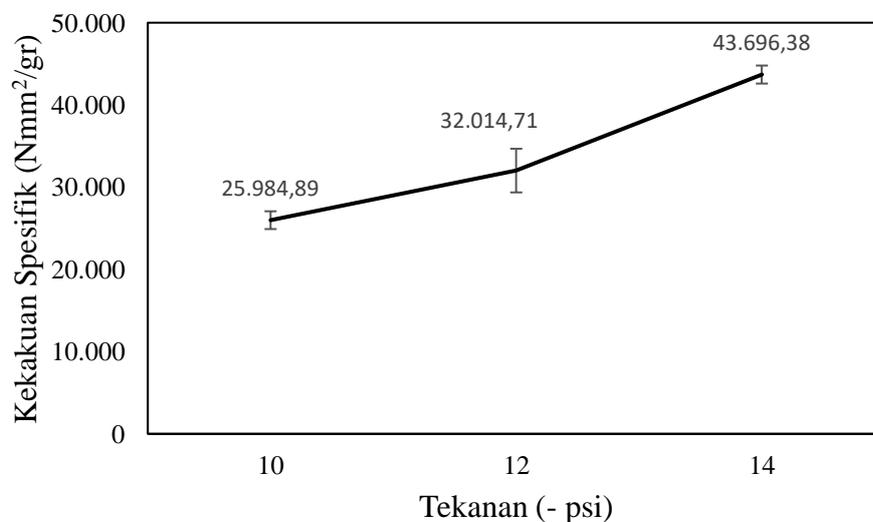
1. Kekakuan Spesifik

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

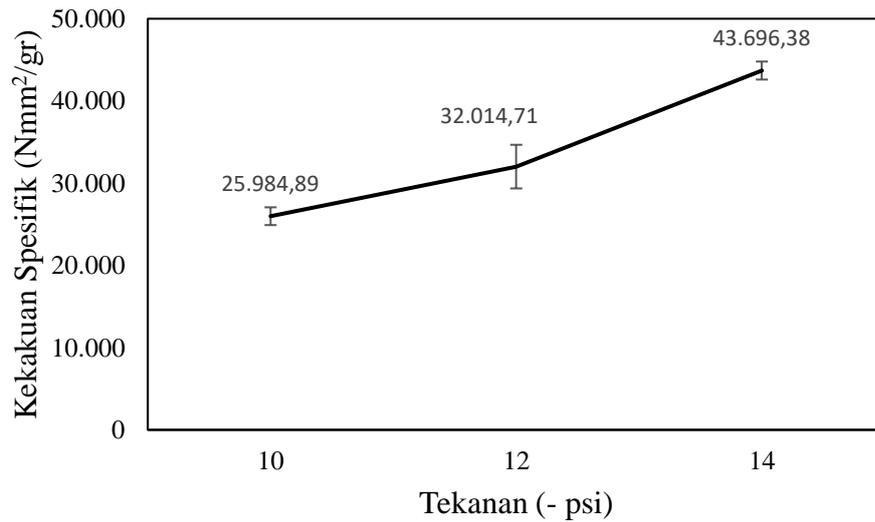
$$D \text{ spesifik} = \frac{533.869,20}{12,21}$$

$$D \text{ spesifik} = 43.696,38 \text{ Nmm}^2/\text{gr}$$

Berikut adalah grafik untuk kekakuan spesifik pada spesimen variasi tekanan *vacuum bag* dapat ditunjukkan pada Gambar 4-14.



Gambar 4-14 Grafik kekakuan spesifik tekanan *vacuum bag*.



Gambar 4-14 menunjukkan hasil nilai kekakuan spesifik paling tinggi menggunakan spesimen variasi tekanan *vacuum bag* -14 psi dengan nilai 43.696,38 Nmm²/gr. Untuk hasil kekakuan spesifik urutan tertinggi kedua didapatkan pada variasi tekanan *vacuum bag* -12 psi dengan nilai 32.014,71 Nmm²/gr. Lalu kekakuan spesifik paling rendah ditunjukkan pada variasi tekanan *vacuum bag* -10 psi dengan nilai 25.984,89 Nmm²/gr. Berdasarkan data yang diperoleh pada penelitian ini ketika semakin besar tingkat kevakuman pada *vacuum bag* yang digunakan untuk proses komposit maka hasil yang diperoleh pada spesimen semakin lebih ringan dan lebih kuat pada hasil tegangan *bending*. Apabila tekanan *vacuum bag* semakin berkurang tingkat kevakuman udaranya maka spesimen komposit yang dihasilkan semakin tidak kaku dan nilai kekakuan spesifik menjadi lebih rendah terhadap tegangan *bending*-nya (Bani et al., 2017).

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan seperti dibawah ini :

1. Pada variasi perbandingan resin dan katalis nilai tertinggi diraih pada variasi perbandingan resin dan katalis 60:40 gram, nilai tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan spesifik paling tertinggi dibandingkan nilai perbandingan resin dan katalis 70:30 gram, 80:20 gram. Untuk nilai tekanan *vacuum bag* tertinggi pada variasi tekanan tekanan -14 psi, dengan nilai tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan spesifik paling tertinggi dibandingkan nilai tekanan *vacuum bag* -10 psi, -12 psi.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Perlunya penelitian untuk selanjutnya tentang perbandingan rasio resin dan katalis agar mengetahui tingkat kekuatan *bending* pada *komposit sandwich*.
2. Perlunya penelitian untuk selanjutnya tentang tekanan *vacuum* agar mengetahui tingkat kekuatan *bending* pada komposit *sandwich*.

DAFTAR PUSTAKA

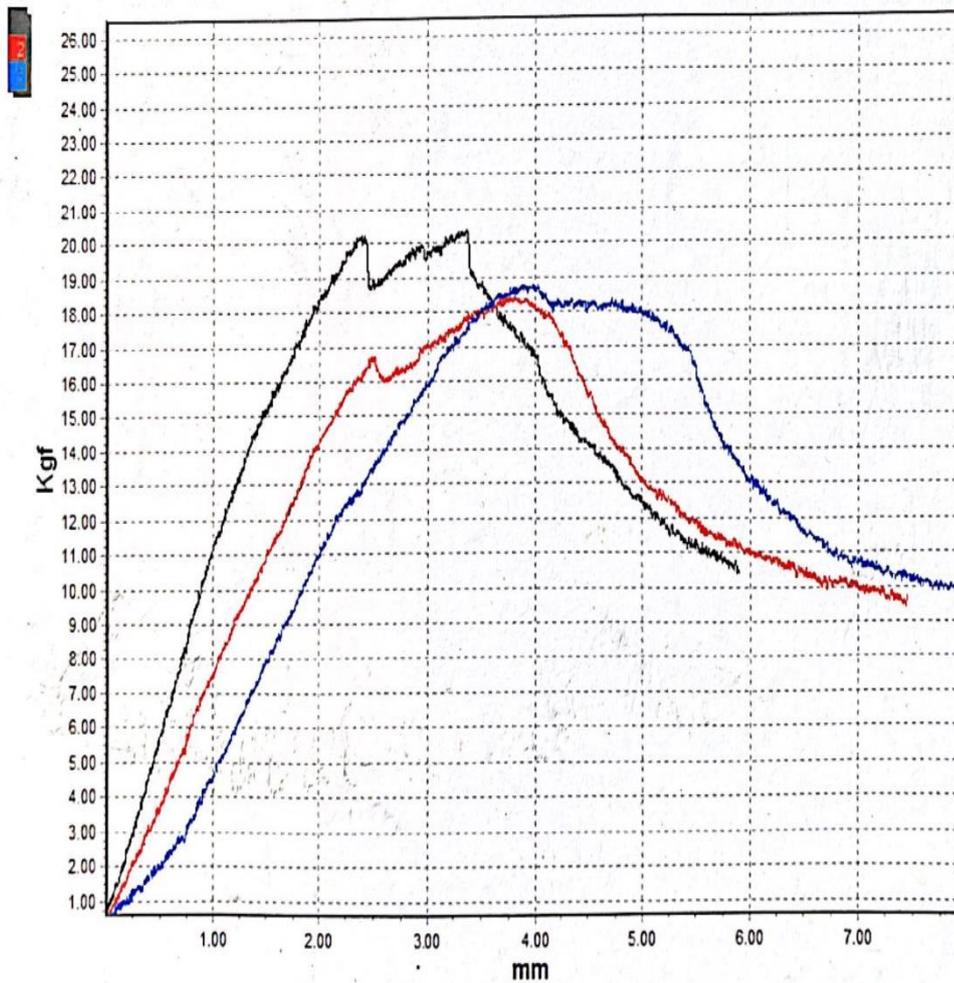
- Ashfan, M. (2022). *Pengaruh Ketebalan Core (3D Printing) Dengan Bahan PLA (Polyatic-Acid) Terhadap Uji Bending spesimen Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Infusion*. Universitas Islam Indoensia. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/37976>
- Azissyukhron, M., & Hidayat, S. (2020). Perbandingan Kekuatan Material Hasil Metode Hand Lay-up dan Metode Vacuum Bag Pada Material Sandwich Composite. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 9, 1–5.
- Bani, Y. O., Mangesa, D. P., & Bale, J. S. (2017). Pembuatan Dan Pengujian Alat Fabrikasi Komposit Vacuum Bag Dengan Menggunakan Metode VDI 2221. *Lontar Jurnal Teknik Mesin UNDANA*, 04(01), 16–25.
- Fathoni, A. (2019). Pemanfaatan Limbah Bulu Ayam untuk Pembuatan Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Infusion. *Akhir, Tugas*.
- Hendri Hestiawan, Jamasri, K. (2017). Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap Sifat Mekanis Resin Poliester Tak Jenuh. *Teknosia*, 3(1), 1–7.
- Ikhsanto, Noor, L., & Zainuddin. (2020). *Analisa Kekuatan Bending Filamen ABS dan PLA pada hasil 3D Printer Dengan Variasi Suhu Nozzle*. 21(1), 1–9. <http://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/>
- 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.
- Milya, R., Nabawi, R. A., Mesin, J. T., Teknik, F., Padang, U. N., Tawar, K. A., & Lay-up, H. (2022). *Pengaruh Persentase Resin Dan Katalis Terhadap Kekuatan*. 4(3), 78–83.
- Petras, A. (1998). *Design of Sandwich Structures*.
- Prayoga, A., Eryawanto, B., & Hadi, Q. (2018). Pengaruh Ketebalan Skin Terhadap Kekuatan Bending dan Tarik Komposit Sandwich dengan Honeycomb Polypropylene sebagai Core. *Jurnal Teknik Mesin*, 18(1), 23–28.

- Pristiansyah; Hardiansyah; Sugiyarto. (2019). Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), 0–7.
- 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.
- Utomo, S. W. E., Anggriani, D. P., Rusminanda, A., Sukma, N., & Drastiawati. (2020). Program Studi S1 Teknik Mesin , Fakultas Teknik , Universitas Negeri Surabaya 6 Utomo , Setyo Wahyu Eko Utomo1 , Dinda Putri Anggriani2 , Aldianyah Rusminanda3 , Novi Sukma Drastiawati4 ; Analisis Pengaruh Tekanan Vacuum Pada Proses 7 Utomo , Setyo Wahyu . *Analisis Pengaruh Tekanan Vacuum Pada Proses Pembuatan Komposit Carbon Fiber Menggunakan Metode Vacuum Infusion*, 6(2), 6–11.
- Wardani, D. K. (2015). *Pengaruh Rasio Resin Dan Hardener The Effect Of Resin And Hardener Ratio On The Mechanical Properties Of Composite Matrix Reinforced*.
- Xaveria, M. S., Perdinan, S., & M, S. (2013). Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit Serat Palem Saray Dengan Matriks Poliester. *Jurnal Saintia Fisika*, 2(November), 1998.

LAMPIRAN 1

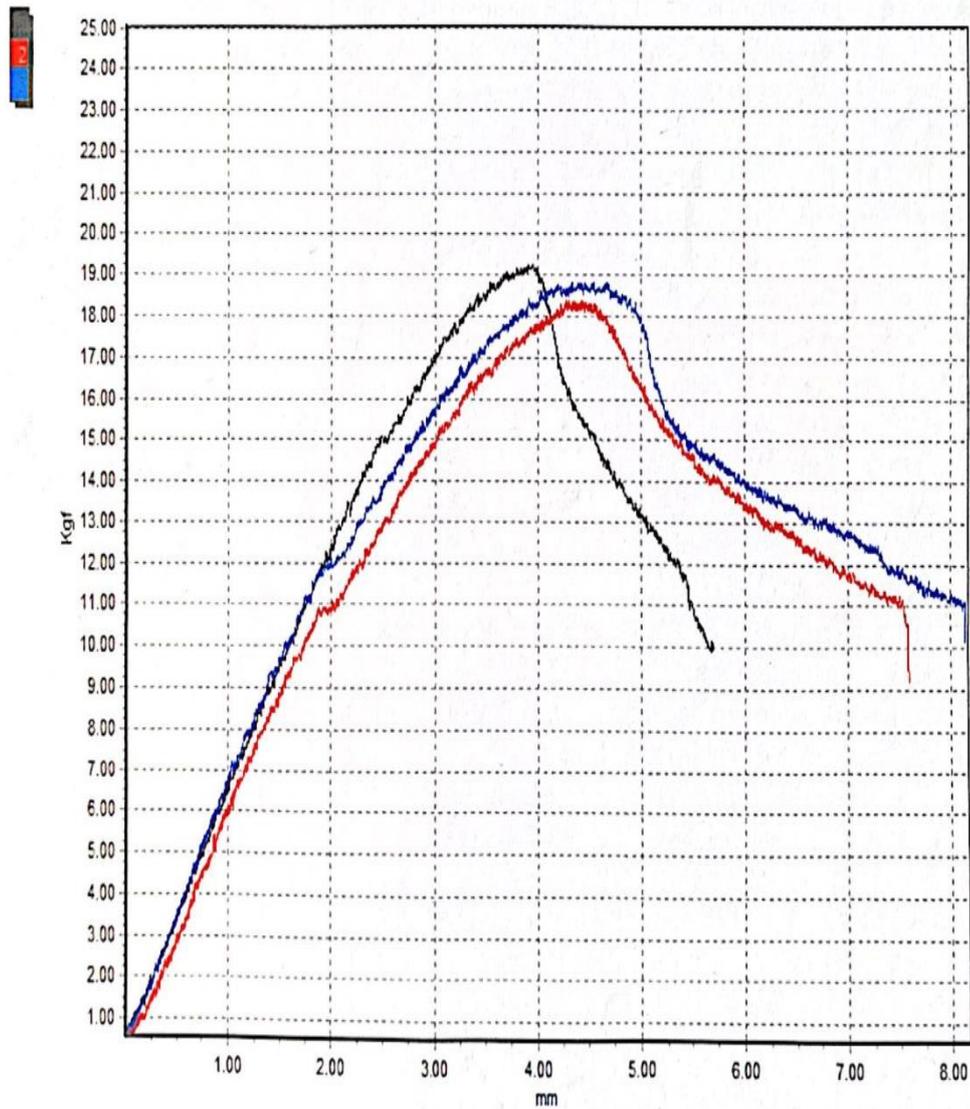
Data Grafik Pengujian Bending Perbandingan Resin dan Katalis 60:40 gram

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	20.38	0.69
2	18.43	0.63
3	18.80	0.64



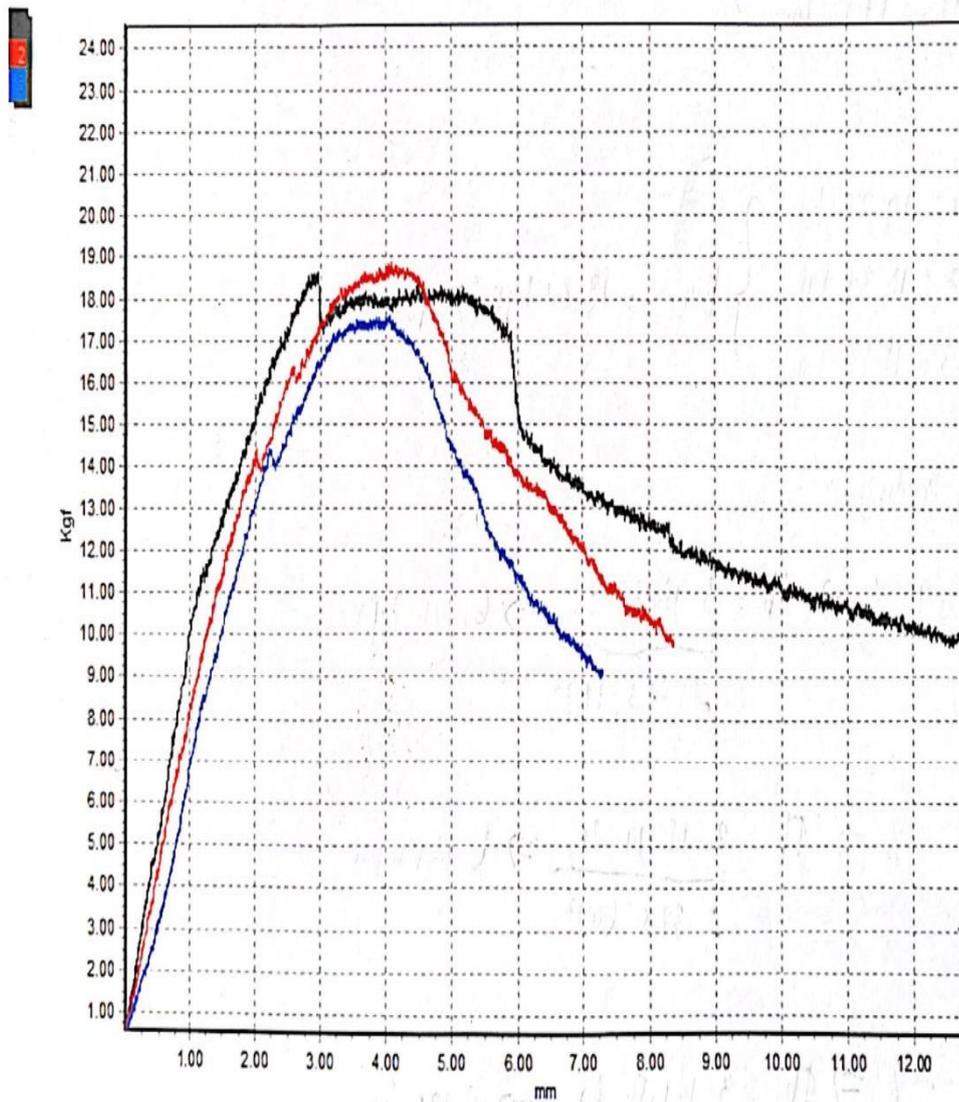
Data Grafik Pengujian Bending Perbandingan Resin dan Katalis 70:30 gram

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	19.25	0.65
2	18.39	0.63
3	18.84	0.64



**Data Grafik Pengujian Bending Perbandingan Resin dan Katalis
80:20 gram**

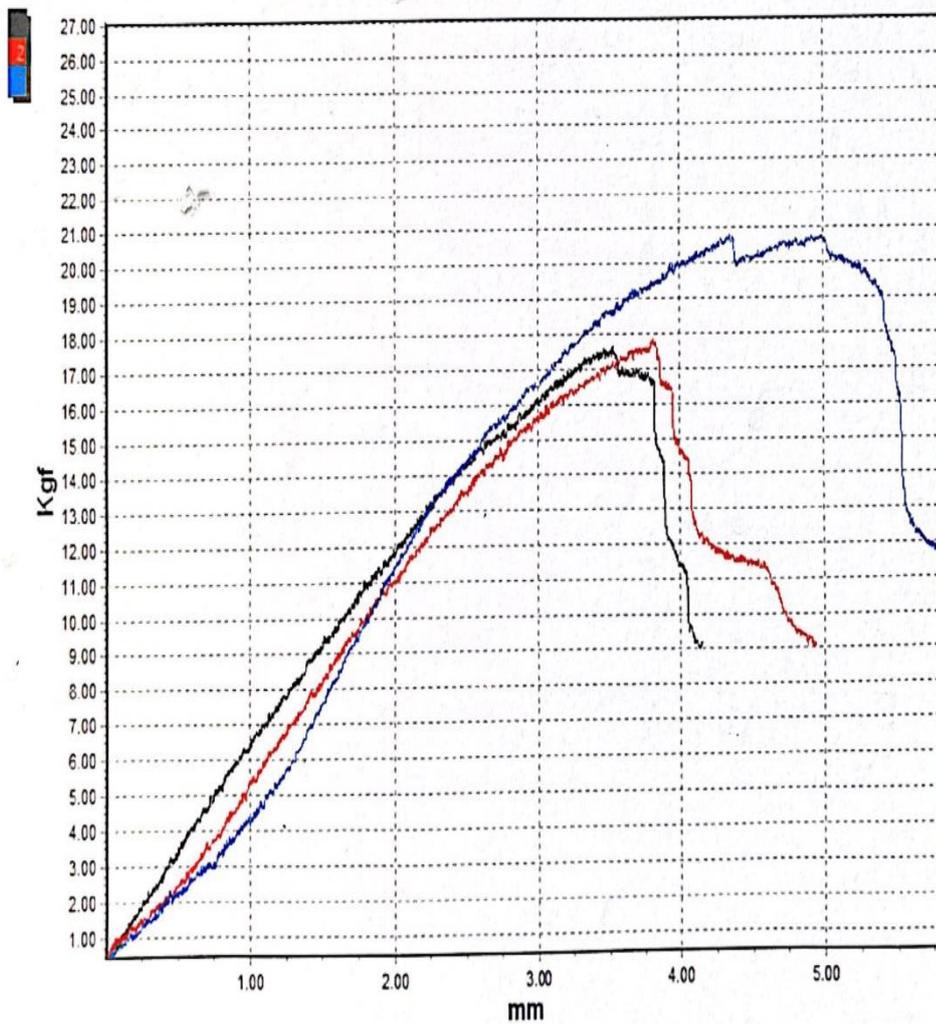
	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	18.65	0.63
2	18.88	0.64
3	17.60	0.60



LAMPIRAN 2

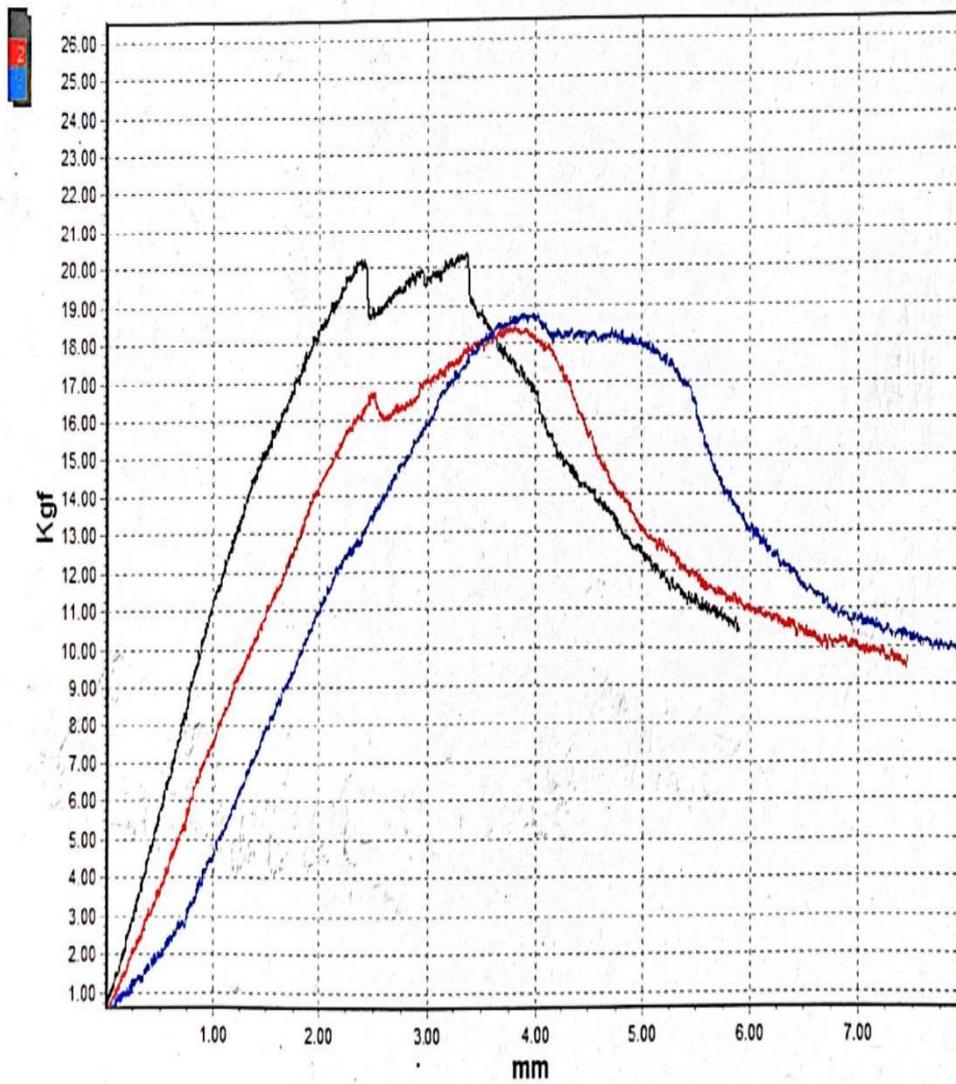
Data Grafik Pengujian Bending Tekanan *Vacuum Bag* -10 psi

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	17.64	0.60
2	17.86	0.61
3	20.80	0.71



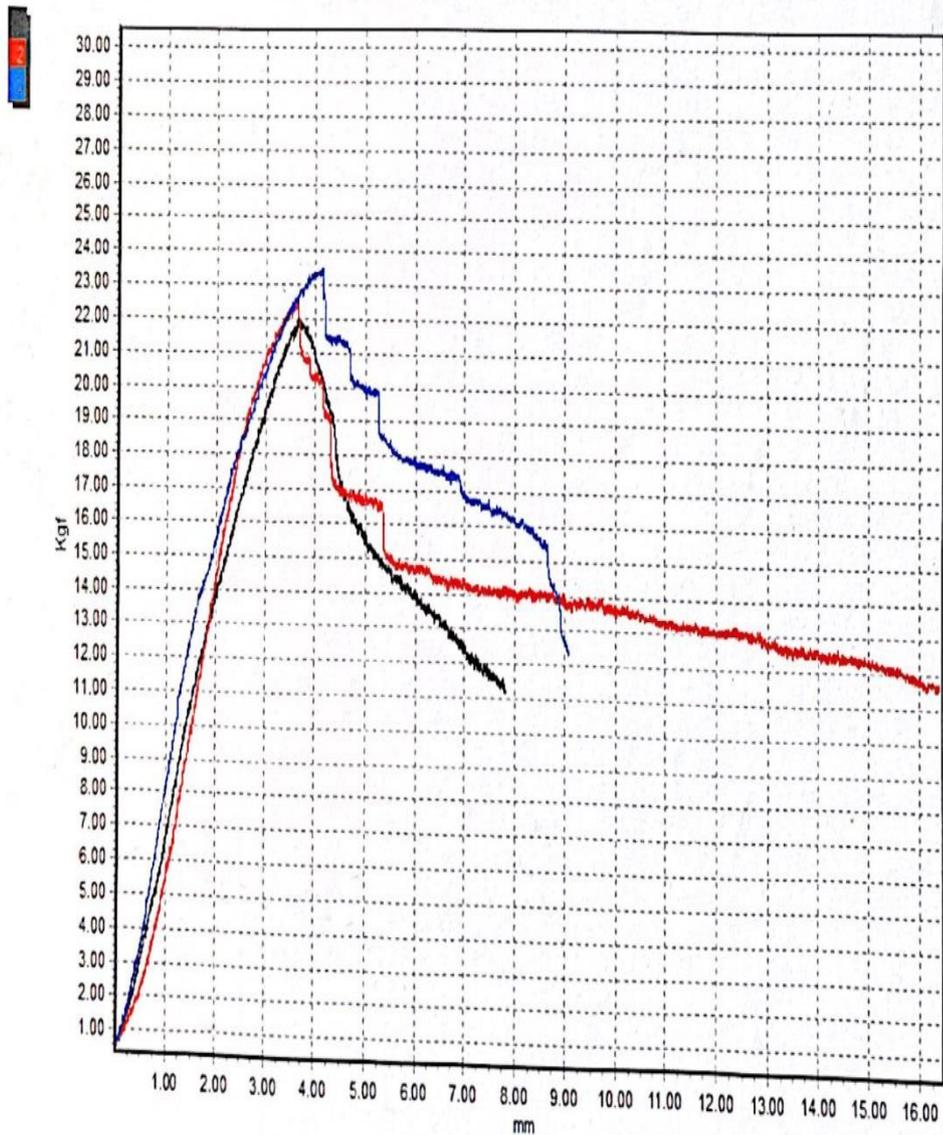
Data Grafik Pengujian Bending Tekanan Vacuum Bag -12 psi

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	20.38	0.69
2	18.43	0.63
3	18.80	0.64



Data Grafik Pengujian Bending Tekanan Vacuum Bag -14 psi

	Maximum Force (Kgf)	Bending strength (Kgf/mm ²)
1	22.00	0.75
2	22.53	0.77
3	23.50	0.80



Tabel perbandingan resin katalis dan tekanan *vacuum bag* terhadap tegangan bending

Kode Spesimen	Panjang (mm)	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Berat (gram)	P (N)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (Mpa)
RK 60:40 A1	99.23	10.58	37.33	12.48	199,86	3.36	5,29
RK 60:40 A2	99.85	10.69	37.36	12.16	180,74	3.74	4,78
RK 60:40 A3	99.84	10.76	37.36	12.00	184,37	3.91	4,88
RK 70:30 B1	99.66	10.74	37.21	12.74	182.89	4.47	4,85
RK 70:30 B2	98.73	10.64	37.34	12.67	185.15	4.26	4,91
RK 70:30 B3	99.07	10.62	37.42	12.34	172.60	4.04	4,58
RK 80:20 C1	99.17	10.49	37.50	12.56	188,78	3.91	5,07
RK 80:20 C2	99.40	10.65	37.34	12.67	180,34	4.40	4,85
RK 80:20 C3	99.28	10.62	37.36	12.32	184,76	4.54	4,96
TKN -10 D1	98.77	10.59	37.40	15.84	172,99	3.49	4,63
TKN -10 D2	99.11	10.70	37.37	16.12	175,15	3.81	4,68
TKN -10 D3	99.05	10.55	37.36	16.16	203,98	4.37	5,45
TKN -12 E1	98.90	10.59	37.12	13.62	199,86	3.66	5,41

TKN -12 E2	99.02	10.55	37.26	13.76	180,74	3.60	4,89
TKN -12 E3	98.98	10.57	37.28	13.62	184,37	4.14	4,99
TKN -14 F1	99.23	10.58	37.33	12.48	215,75	3.36	5,71
TKN -14 F2	99.85	10.69	37.36	12.16	220,94	3.74	5,85
TKN -14 F3	99.84	10.76	37.36	12.00	230,46	3.91	6,10

Keterangan:

RK = Perbandingan resin dan katalis.

TKN = Tekanan *vacuum bag*.