

**STUDI KELAYAKAN *SOFT MOLD* YANG DICETAK
MENGUNAKAN TEKNOLOGI *FUSED FILAMENT
FABRICATION (FFF)* BERMATERIAL *THERMOPLASTIC
POLYURETHANE (TPU)* PADA PROSES *VACUUM INFUSION*
UNTUK PEMBUATAN PRODUK KOMPOSIT**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :
Nama : Rio Ari Sandika
No. Mahasiswa : 18525102
NIRM :

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

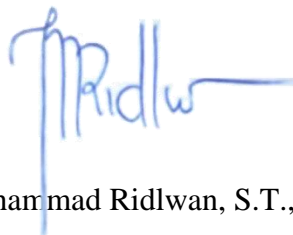
**STUDI KELAYAKAN *SOFT MOLD* YANG DICETAK
MENGUNAKAN TEKNOLOGI *FUSED FILAMENT
FABRICATION (FFF)* BERMATERIAL *THERMOPLASTIC
POLYURETHANE (TPU)* PADA PROSES *VACUUM INFUSION*
UNTUK PEMBUATAN PRODUK KOMPOSIT**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :
Nama : Rio Ari Sandika
No. Mahasiswa : 18525102
NIRM :

Yogyakarta, 15 November 2022

Pembimbing,



Muhammad Ridwan, S.T., M.T

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI


STUDI KELAYAKAN *SOFT MOLD* YANG DICETAK MENGUNAKAN TEKNOLOGI *FUSED FILAMENT FABRICATION (FFF)* BERMATERIAL *THERMOPLASTIC POLYURETHANE (TPU)* PADA PROSES *VACUUM INFUSION* UNTUK PEMBUATAN PRODUK KOMPOSIT

TUGAS AKHIR

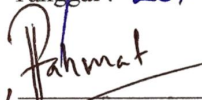
Disusun Oleh :
Nama : Rio Ari Sandika
No. Mahasiswa : 18525102
NIRM :

Tim Penguji


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


Tanggal : 28/11/2022

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


Tanggal : 20/11/2022

Irfan Aditya Dharma, S.T., M.Eng.,
Ph.D
Anggota II


Tanggal : 25-11-2022

Mengetahui

Dekan Jurusan Teknik Mesin




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

PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah yang maha segalanya, dengan ini saya menyatakan bahwa karya ini merupakan hasil kerja saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang telah saya cantumkan sumbernya sebagai referensi. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pengakuan saya tidak benar serta melanggar peraturan yang sah dalam hak kekayaan intelektual maka saya bersedia mengikuti hukuman maupun sanksi apapun sesuai hukum yang diberlakukan Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 21 November 2022



Rio Ari Sandika

18525102

HALAMAN PERSEMBAHAN

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

Orang tua penulis yaitu bapak Warsono dan ibu Sinah serta kakak-kakak penulis yaitu Andi Wibowo dan Reka Anggraini yang selalu memberikan nasihat, doa, dukungan yang tulus kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

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

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

HALAMAN MOTTO

Bapak Ibu akan menjadi orang tua paling bahagia di dunia ketika melihat anak-anaknya dapat menempuh pendidikan yang tinggi.

(Bapak Warsono)

Jika aku tidak kuat menjalani hidup tentu tuhan akan mencabut nyawaku dan hari ini aku masih hidup.

(Rio Ari Sandika)

Gantungkan cita-citamu setinggi langit! Bermimpilah setinggi langit. Jika engkau jatuh, engkau akan jatuh di antara bintang-bintang.

(Soekarno)

Semua yang t'lah diberikan olehnya, pasti ada rencana yang indah, dan tak perlu merasa gelisah, bersyukur dan berserah.

(Rumah Sakit)

Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for, for never quitting.

(Snoop D.O Double G)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji dan syukur kita panjatkan kepada ALLAH SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis bisa menyelesaikan pembuatan Tugas Akhir dengan judul Studi Kelayakan *Soft Mold* Yang Dicitak Menggunakan Teknologi *Fused Filament Fabrication* (FFF) Bermaterial *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) Pada Proses *Vacuum Infusion* Untuk Pembuatan Produk Komposit. Tugas Akhir ini disusun untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 di Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia. Tugas Akhir ini merupakan salah satu mata kuliah yang bertujuan untuk mengaplikasikan pengetahuan dan pemahaman ilmu yang telah didapat dalam bangku perkuliahan.

Selama pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis sudah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bantuannya baik langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada:

1. Allah SWT, tuhan semesta alam yang telah memberikan segala nikmat kepada penulis dan Nabi yang paling mulia Muhammad SAW juga atas segenap keluarga, para sahabat, serta para pengikutnya hingga akhir zaman.
2. Bapak, Ibu, dan Kakak yang telah sepenuhnya mendukung penulis untuk mencapai cita-citanya.
3. Kakek, nenek, dan leluhur penulis atas doa dan waktu untuk membimbing penulis menjadi manusia yang berguna.
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin
5. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan kesempatan penulis berinovasi dan mengembangkan ilmu terkait komposit.
6. Abdi Haritz, S.T. (Abdoy), Ahsanul Zikri, S.T. (Ngab Kijok), David Yade Hinanda Putra (Dapit), Kemal Ali (Skripek), Reezcky Noer Allamsyah (Ale), Aldo Susanto, Raihan Rato (Ian Curtis), M. Alfaarisi M. Kasim, S.T. (Masyo), Rhizado F (Jado), M. Rizal Ghifari, Shafly, Abiyu Wibisono,

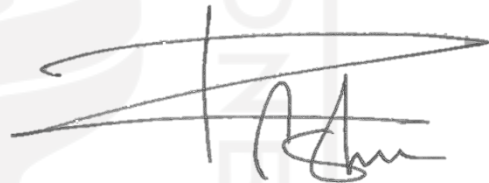
Feryan T, Faris, M Anggi N. (Om Mul), Arif RH (Om Brew), Ilyas W (Bos), dan teman-teman yang telah bersama-sama dan saling mendukung dalam pengerjaan tugas akhir.

7. Gufran Rahardi Mukhlis S.T. (Gopur) dan Juliyanto S.T (Bang Jul) atas ilmu tentang *3D Printing* kepada penulis.
8. Seluruh mahasiswa Teknik Mesin FTI UII dan untuk semua pihak yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu persatu oleh penulis.

Semoga amal kebaikan yang telah diberikan akan mendapat balasan dari Allah SWT. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penyusunan laporan berikutnya dan semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan untuk orang yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 1 Oktober 2022



Rio Ari Sandika

ABSTRAK

Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang memiliki sifat yang berbeda untuk mendapatkan material baru yang memiliki sifat dari material penyusunnya. Salah satu metode yang digunakan dalam pembuatan produk komposit yaitu *vacuum infusion*. Proses *vacuum infusion* pada dasarnya memanfaatkan tekanan atmosfer sebagai penekan cetakan. Ketika pompa vakum dihidupkan dan mulai menghisap seluruh udara pada cetakan, plastik akan menekan *filler* dengan tekanan sebesar tekanan atmosfer hingga *filler* tidak dapat ditekan lagi oleh plastik. Kelemahan dari metode ini yaitu menghasilkan limbah *vacuum bag* yang terdiri dari plastik dan *butyl tape* karena hanya dapat digunakan sekali. Pada penelitian ini proses *vacuum infusion* ditambahkan *3D printed soft mold* untuk mengurangi penggunaan *vacuum bag*. Percobaan yang dilakukan yaitu percobaan *vacuum infusion* yang ditambahkan *3D printed soft mold* dan tidak menggunakan *3D printed soft mold*. Dari hasil percobaan proses *vacuum infusion* tanpa menggunakan *3D printed soft mold* menghasilkan limbah sebesar rata-rata 85,3 gram sedangkan percobaan *vacuum infusion* dengan ditambahkan *3D printed soft mold* menghasilkan limbah plastik dan *butyl tape* sebesar rata-rata 25,3 gram. Dengan penambahan *3D printed soft mold*, limbah plastik dapat berkurang hingga 70%.

Kata kunci: Komposit, *3D printed soft mold*, *vacuum infusion*, plastik, *butyl tape*, *vacuum bag*

ABSTRACT

Composite is a combination of two or more materials that have different properties to get a new material that has the properties of the constituent materials. One of the methods used in the manufacture of composite products is vacuum infusion. The vacuum infusion process basically utilizes atmospheric pressure as a mold suppressor. When the vacuum pump is turned on and begins to suck all the air in the mold, the plastic will press the filler with a pressure equal to atmospheric pressure until the filler can no longer be compressed by the plastic. The weakness of this method is that it produces vacuum bag waste consisting of plastic and butyl tape because it can only be used once. In this research, the vacuum infusion process was added with 3D printed soft mold to reduce the use of vacuum bags. The experiment carried out was a vacuum infusion experiment which added 3D printed soft mold and did not use 3D printed soft mold. From the experimental results of the vacuum infusion process without using a 3D printed soft mold, it produces an average of 85.3 grams of waste, while the vacuum infusion experiment with the addition of 3D printed soft molds produces an average of 25.3 grams of vacuum bag waste. With the addition of 3D printed soft molds, vacuum bag waste can be reduced by up to 70%.

Keywords: Composite, 3D printed soft mold, vacuum infusion, plastic, butyl tape, vacuum bag

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Pernyataan keaslian	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak	ix
<i>Abstract</i>	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Notasi	xvi
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Komposit	6
2.2.2 <i>Vacuum Infusion</i>	7
2.2.3 <i>Vacuum Infusion Process Molding</i>	8
2.2.4 <i>3D Printing Fused Deposition Modelling (FDM)</i>	8
2.2.5 Filamen <i>Thermoplastic Polyurethane (TPU)</i>	9
Bab 3 Metode Penelitian	11
3.1 Alur Penelitian	11

3.2	Peralatan dan Bahan.....	11
3.3	Proses Pengerjaan	20
3.3.1	Desain <i>Soft Mold</i>	20
3.3.2	Proses Pembuatan dengan Mesin <i>3D Printing</i>	20
3.3.3	Proses <i>Vacuum Infusion</i>	22
Bab 4	Hasil dan Pembahasan.....	28
4.1	Percobaan Tanpa Menggunakan <i>Soft Mold</i>	28
4.1.1	Langkah-Langkah Percobaan	29
4.1.2	Hasil Percobaan	29
4.2	Percobaan Tanpa <i>Vacuum Bag</i>	31
4.2.1	Antisipasi Kebocoran Pada <i>Soft Mold</i>	31
4.2.2	Langkah-Langkah Percobaan Tanpa <i>Vacuum Bag</i>	33
4.2.3	Hasil Percobaan Tanpa <i>Vacuum Bag</i>	34
4.2.4	Evaluasi Dari Percobaan Tanpa <i>Vacuum Bag</i>	35
4.3	Percobaan Menggunakan <i>Vacuum Bag</i>	35
4.3.1	Perbaikan dari Percobaan Tanpa <i>Vacuum Bag</i>	35
4.3.2	Langkah-Langkah Percobaan Menggunakan <i>Vacuum Bag</i>	37
4.3.3	Hasil Percobaan Menggunakan <i>Vacuum Bag</i>	37
4.4	Analisis dan Pembahasan.....	39
4.4.1	Proses <i>Vacuum Infusion</i>	39
4.4.2	Kondisi Plastik.....	42
Bab 5	Penutup.....	46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	46
Daftar Pustaka	47

DAFTAR TABEL

Tabel 4- 1 Berat <i>Vacuum Bag</i> yang Digunakan Pada Percobaan Tanpa Menggunakan <i>Soft Mold</i>	40
Tabel 4- 2 Berat <i>Vacuum Bag</i> Sebelum dan Sesudah Proses <i>Vacuum Infusion</i> ..	41
Tabel 4- 3 Perbandingan Berat <i>Vacuum Bag</i> Dengan <i>Soft Mold</i> dan Tanpa <i>Soft Mold</i>	42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 <i>Fiberglass</i> Serat Acak	6
Gambar 2- 2 <i>Fiberglass</i> Serat Anyam.....	6
Gambar 2- 3 Proses <i>Vacuum Infusion</i>	7
Gambar 2- 4 Cetakan Proses <i>Vacuum Infusion</i>	8
Gambar 2- 5 Mesin <i>3D Printer</i>	9
Gambar 2- 6 Filamen TPU	9
Gambar 2- 7 <i>Shore Hardness Scale</i>	10
Gambar 3- 1 Diagram Alir	11
Gambar 3- 2 <i>3D Printers</i>	12
Gambar 3- 3 Pompa Vakum	12
Gambar 3- 4 <i>Resin Trap</i>	13
Gambar 3- 5 Selang	13
Gambar 3- 6 Timbangan.....	14
Gambar 3- 7 <i>Thermoplastic Polyurethane (TPU)</i>	14
Gambar 3- 8 Serat Gelas.....	15
Gambar 3- 9 <i>Vacuum Bag</i>	15
Gambar 3- 10 <i>Infusion Mesh</i>	16
Gambar 3- 11 <i>Peel Ply</i>	16
Gambar 3- 12 <i>Butyl Tape</i>	17
Gambar 3- 13 Resin.....	17
Gambar 3- 14 Katalis.....	17
Gambar 3- 15 <i>Release Agent</i>	18
Gambar 3- 16 Plastisin	18
Gambar 3- 17 Isolasi Kertas	19
Gambar 3- 18 <i>Vacuum Block</i>	19
Gambar 3- 19 Desain <i>Soft Mold</i>	20
Gambar 3- 20 Proses <i>Printing</i>	21
Gambar 3- 21 <i>Extruder</i>	21
Gambar 3- 22 Pelapisan <i>Realease Agent pada Soft mold</i>	22
Gambar 3- 23 Pelapisan <i>Realease Agent</i> pada Cetakan	22

Gambar 3- 24 Peletakan Serat Gelas	23
Gambar 3- 25 Peletakan <i>Infusion Mesh</i>	23
Gambar 3- 26 Peletakan <i>Peel Ply</i>	24
Gambar 3- 27 Bentuk <i>Vacuum Bag</i>	24
Gambar 3- 28 Memasang Selang <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i>	25
Gambar 3- 29 Berat Resin	25
Gambar 3- 30 Berat Katalis.....	26
Gambar 3- 31 Tekanan Vakum	26
Gambar 3- 32 Proses <i>Vacuum Infusion</i>	27
Gambar 4- 1 Percobaan <i>Vacuum Infusion</i> Tanpa Menggunakan <i>Soft Mold</i>	28
Gambar 4- 2 Aliran Resin.....	30
Gambar 4- 3 Peletakan Selang Spiral.....	30
Gambar 4- 4 Hasil <i>Vacuum Infusion</i> Tanpa <i>Soft Mold</i>	31
Gambar 4- 5 Penambahan Isolasi Kertas Pada Tepian Cetakan.....	32
Gambar 4- 6 Mencari Kebocoran Udara	32
Gambar 4- 7 <i>Soft Mold</i> yang Ditambal Plastisin Pada Bagian yang Bocor	33
Gambar 4- 8 Hasil Percobaan tanpa <i>vacuum bag</i>	34
Gambar 4- 9 Proses Percobaan Menggunakan <i>Vacuum Bag</i>	35
Gambar 4- 10 Plastik yang Digunakan.....	36
Gambar 4- 11 Peletakan <i>Infusion Mesh</i>	36
Gambar 4- 12 Hasil Percobaan Menggunakan <i>Vacuum Bag</i> Sebelum Dilepas dari Cetakan.....	38
Gambar 4- 13 Pelepasan <i>Peel Ply</i> dari Produk Komposit.....	38
Gambar 4- 14 Produk Komposit yang Sudah Dilakukan Proses <i>Finishing</i>	39
Gambar 4- 15 <i>Void</i>	40
Gambar 4- 16 Plastik Menempel Dengan <i>Infusion Mesh</i>	43
Gambar 4- 17 Plastik Tidak Menempel Pada <i>Soft Mold</i>	43
Gambar 4- 18 Kondisi Plastik Setelah Proses <i>Vacuum Infusion</i> Tanpa <i>Soft Mold</i>	44
Gambar 4- 19 Kondisi <i>Vacuum Bag</i> Setelah VIP Menggunakan <i>Soft Mold</i>	44
Gambar 4- 20 Limbah <i>Vacuum Bag</i> Pada VIP Dengan <i>Soft Mold</i>	45

DAFTAR NOTASI

3D	= <i>Three-Dimensional</i>
ABS	= <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
CNC	= <i>Computer Numerical Control</i>
FDM	= <i>Fused Deposition Modelling</i>
HP	= <i>Horsepower</i>
PE	= <i>Polyethylene</i>
PETG	= <i>Polyethylene Terephthalate Glycol</i>
PLA	= <i>Polylactic Acid</i>
TPU	= <i>Thermoplastic Polyurethane</i>
TPE	= <i>Thermoplastic Co-Polyester</i>
TPE	= <i>Thermoplastic Elastomer</i>
VIP	= <i>Vacuum Infusion Process</i>



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses *vacuum infusion* merupakan metode pembuatan produk komposit yang modern. Proses ini merupakan perbaikan dari proses pembuatan produk komposit metode *hand lay-up* karena dapat mengurangi udara yang terjebak pada produk komposit. *Vacuum infusion* juga dapat membuat produk dalam jumlah lebih dari satu dengan kualitas yang sama karena hasil dipengaruhi oleh bentuk dari peralatannya itu sendiri (Saputra & Setyarso, 2016). Proses *vacuum infusion* memerlukan beberapa bahan yang sekali pakai seperti plastik, *butyl tape*, selang spiral, dan selang untuk mengalirkan resin. Bahan-bahan tersebut hanya dapat digunakan sekali pakai akibat terkena resin atau matriks yang mudah mengeras. Plastik menjadi limbah yang paling banyak pada proses *vacuum infusion*. Hal ini karena plastik yang digunakan harus selalu lebih besar dari luas permukaan cetakan. Semakin kompleks bentuk dan besar ukuran cetakan, semakin banyak pula plastik yang digunakan.

Penelitian sebelumnya sudah ada inovasi *reusable vacuum bag* bermaterial lateks yang dilakukan oleh Achmad Rahadiyanto pada tahun 2018. Pembuatan *reusable vacuum bag* bermaterial lateks dapat digunakan mencapai 10 kali pemakaian. Namun dalam proses pembuatannya masih dilakukan secara manual. Pembuatannya dengan melapisi cetakan dengan lateks menggunakan kuas hingga mencapai 10 kali pelapisan dan setiap 1 kali proses pelapisan memerlukan 1 buah kuas. Kemudian, proses pengeringan memerlukan cahaya matahari yang cukup sehingga memerlukan proses pengeringan yang lama jika cuaca tidak menentu. Penelitian lain terkait dengan *reusable vacuum bag* telah dilakukan dengan menggunakan material standar *aerospace industry* yaitu Mosites #1453 *Silicone Rubber*. Metode pembuatannya sama seperti dengan *composite prepreg layup*. *Reusable vacuum bag* ini dapat digunakan puluhan hingga ribuan kali tetapi semua itu tergantung dari kondisi temperatur, tekanan, pemakaian, dan

penyimpanan(Kaerger, n.d.). Namun, tentu materialnya juga mahal karena mengikuti standar yang digunakan di samping itu proses pembuatannya cukup rumit.

3D printing merupakan salah satu teknologi *additive manufacturing* yang digunakan untuk membuat objek tiga dimensi dari model digital. Pada umumnya *3D print* menggunakan material yang berbentuk filamen. Banyak macam filamen yang dapat digunakan pada *3D print* seperti, PLA, ABS, Nylon, dan PETG. Sifat yang dimiliki oleh objek yang terbuat dari proses *3D printing* bersifat kaku. Namun dengan majunya teknologi saat ini, filamen *3D printing* seperti TPU dan TPE menjadi salah satu material yang memiliki sifat fleksibel.

Pada penelitian ini dilakukan percobaan pengaplikasian *soft mold* yang dibuat menggunakan teknologi *3D printing* dan menguji pengaruhnya terhadap limbah *vacuum bag* yang tersusun atas plastik dan *butyl tape* pada proses *vacuum infusion*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, dapat dirumuskan masalah-masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan *soft mold* dalam mengurangi limbah *vacuum bag* pada proses *vacuum infusion*?
2. Bagaimana perbandingan limbah *vacuum bag* pada proses *vacuum infusion* dengan dan tanpa *soft mold*?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah untuk mempermudah dan pembahasan tidak menyimpang dari permasalahan yang diteliti, yaitu:

1. Tidak membahas desain dan proses *printing* dari *soft mold*.
2. Jenis material *soft mold* yang diteliti yaitu TPU Sunlu.
3. Penelitian berfokus pada kemampuan *soft mold* terhadap limbah hasil *vacuum infusion* dan tidak membahas tentang kekuatan *soft mold*.
4. Tidak membahas pembuatan dan *finishing* cetakan.
5. Tidak membahas akurasi dimensi produk yang dibuat.

6. Cetakan berbentuk persegi ccdengan ukuran (p x l x t) 200mm x 200mm x 13,5mm

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian memiliki beberapa tujuan yaitu:

1. Mengetahui kemampuan *soft mold* dalam mengurangi limbah *vacuum bag* pada proses *vacuum infusion*.
2. Mengukur perbandingan limbah *vacuum bag* pada proses *vacuum infusion* dengan dan tanpa *soft mold*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan wawasan baru terkait alternatif solusi dalam mengatasi limbah *vacuum bag* berupa plastik dan *butyl tape* pada proses *vacuum infusion* dalam pembuatan produk komposit.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Penjelasan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Menjelaskan tinjauan pustaka dan dasar teori yang mendasari penelitian *soft mold* pada proses *vacuum infusion*.

BAB III Metode Penelitian

Berisi diagram alir penelitian ini, peralatan dan bahan yang digunakan, dan proses *vacuum infusion*.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Analisa dari proses *vacuum infusion* menggunakan *vacuum bag*, *soft mold* tanpa *vacuum bag*, dan *soft mold* ditambahkan *vacuum bag*.

BAB V Penutup

Berisi terkait kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya terkait dengan *soft mold* pada proses *vacuum infusion*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian terkait dengan penggunaan *seal latex* sebagai pengganti plastik pada proses *vacuum bagging* telah dilakukan sebelumnya. Objek pada penelitian yang digunakan adalah *windshield* sepeda motor N-max. penelitian dilakukan dengan 3 kali percobaan pembuatan *seal latex* yang dibuat dengan cara pengolesan secara berulang-ulang hingga 10 kali pelapisan. Hasil dari percobaan *vacuum bagging*, *seal latex* dapat digunakan berulang hingga 10 kali pemakaian. Untuk pembuatan produk komposit dengan ukuran 50 cm x 130 cm biaya yang diperlukan untuk membuat 1 produk sebesar Rp. 5.000 sedangkan dengan plastik memerlukan biaya sebesar 3x lipatnya. Kendala dari pembuatan *seal latex* juga yaitu lamanya proses pengeringan yang dipengaruhi oleh cuaca sedangkan proses pelapisan harus secara bertahap. Lalu kendala lain berupa, penggunaan kas yang hanya bisa digunakan untuk 1 kali proses pelapisan (Rahadiyanto, 2018).

Penelitian yang berkaitan dengan *reusable vacuum bag* juga telah dilakukan sebelumnya dengan material yang memiliki standar *aerospace industry* yaicotu Mosites #1453. Proses pembuatan *reusable vacuum bag* dilakukan sama seperti *composite prepreg layup*. *Reusable vacuum bag* memiliki beberapa keuntungan yaitu dapat digunakan berulang kali, mengurangi limbah dari proses *vacuum infusion*, lebih mudah dan cepat dalam pemakaian, kualitas tinggi, mudah dibersihkan, permukaan produk yang dicetak lebih baik, dapat didaur ulang dengan *grade* lebih rendah (Kaerger, n.d.).

Dalam proses *vacuum infusion* diperlukan sebuah *flow mesh* yang berfungsi untuk mengalirkan resin di dalam cetakan. Sebelumnya juga telah dilakukan penelitian terkait dengan inovasi *multifunctional elastomeric reusable vacuum bag* yang dilakukan oleh (Morán et al., 2021). Inovasi dari penelitian tersebut yaitu *reusable vacuum bag* yang memiliki membran yang digunakan untuk membantu aliran resin dan dapat dikontrol selama proses vakum. Penelitian tersebut memiliki keunggulan kontrol aliran dan kecepatan resin secara *real-time*. Keuntungan lain

yaitu, tidak memerlukan *vacuum bag*, *butyl tape*, *flow media*, dan *peel ply*. Dalam proses pembuatan produk komposit, *multifunctional elastomeric reusable vacuum bag* dapat memberikan hasil permukaan yang datar dan halus.

Penelitian yang membahas pembuatan *molding* menggunakan teknologi *3D printing* menggunakan filament *Polyvinyl butyral* (PVB) juga telah dilakukan oleh (Ferretti et al., 2021). Pembuatan *molding* dengan cara yang sudah ada sangat memakan banyak waktu dan biaya karena proses pembuatannya yang rumit. Di sisi lain, memerlukan master cetakan dan proses pembuatan dilakukan dengan CNC. Dengan adanya *3D printing* memungkinkan pembuatan *molding* dengan waktu dan biaya lebih cepat. Pada penelitiannya juga menjelaskan strategi pencetakan dan proses *finishing* agar cetakan dapat digunakan dengan baik. Pengujian dilakukan dengan uji *vacuum infusion* dan produk yang dihasilkan memiliki permukaan yang halus. Tetapi, perlu beberapa perbaikan seperti toleransi dimensi agar produk yang dihasilkan lebih sesuai dengan yang di desain.

3D printing memiliki keunggulan dalam pembuatan produk skala kecil dalam waktu yang cepat. Di sisi lain, *3D printing* juga memungkinkan pengguna dalam memodifikasi densitas produk yang dicetak. Namun, dengan kelebihan tersebut tentu memiliki kekurangan salah satunya *void*. (Tao et al., 2021) melakukan penelitian tentang pengaruh *void* pada sifat mekanik produk *3D printing*. *Void* merupakan kondisi kekosongan dimana tidak terisi oleh luluhan filamen di antara *layer* pada produk *3D printing*. *Void* dapat menyebabkan sifat mekanik produk *3D printing* lemah. Beberapa parameter yang berpengaruh pada *void* yaitu *nozzle temperature*, *bed temperature*, *printing speed*, *layer size*, *infill pattern* dan *density, position on the Z axis*.

2.2 Dasar Teori

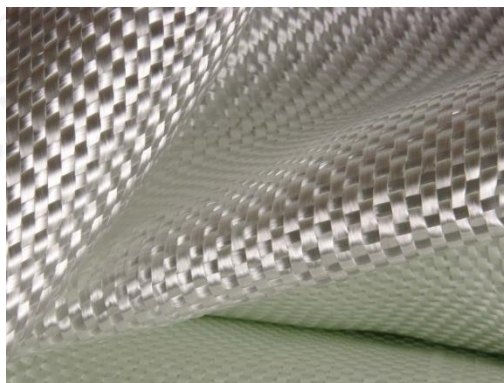
2.2.1 Komposit

Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik berbeda. Komposit memiliki sifat yang baru yang berasal dari material penyusunnya. Pada umumnya material komposit digunakan untuk sesuatu yang membutuhkan kekuatan tinggi namun harus memiliki berat yang ringan.



Gambar 2- 1 *Fiberglass* Serat Acak

Secara umum, material penyusun komposit dibagi menjadi dua yaitu *filler* dan matriks. *Filler* berfungsi sebagai penguat bahan komposit dan Sebagian besar serat berpengaruh pada kekuatan tarik bahan komposit. Pada umumnya serat yang sering digunakan yaitu *carbon fiber*, *fiberglass*, dan serat alam. (Kartini et al., 2002). Serat yang digunakan sebagai *filler* pada komposit memiliki dua jenis yaitu serat acak dan serat anyam. Gambar 2- 1 memperlihatkan serat gelas dengan jenis acak dan pada gambar 2- 2 memperlihatkan serat gelas jenis anyam.

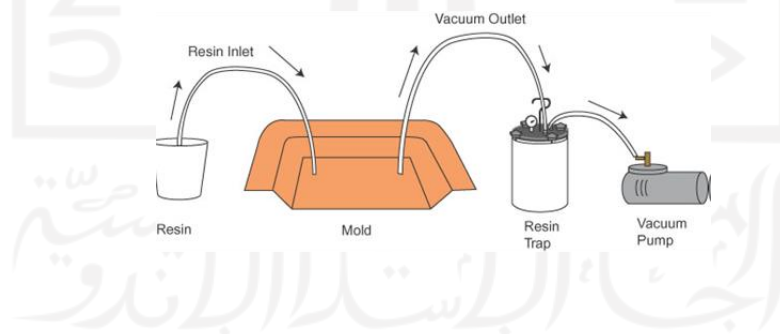


Gambar 2- 2 *Fiberglass* Serat Anyam

Matriks menjadi bagian komposit yang berfungsi untuk mengikat *filler* atau serat agar tidak berubah posisi dan menjadi kaku. Matriks akan mengikat serat sehingga beban yang dikenakan pada komposit akan disebarkan secara merata selain itu juga matriks berfungsi untuk melindungi *filler* dari kontak langsung dengan beban. Pada umumnya, matriks yang digunakan yaitu resin (Diana et al., n.d.).

2.2.2 *Vacuum Infusion*

Vacuum infusion merupakan salah satu metode pembuatan komposit yang merupakan perbaikan dari proses *hand lay-up*. Metode *hand lay-up* banyak digunakan karena peralatan yang digunakan murah dan sederhana. Namun, metode *hand lay-up* memiliki kekurangan pada produk yang dihasilkan karena dipengaruhi oleh keahlian dari operatornya. Kualitas produk hasil metode *hand lay-up* juga tidak sama jika membuat lebih dari satu dan juga banyak udara yang terjebak pada komposit yang mempengaruhi kekuatan dari produk yang dihasilkan. *Vacuum infusion* mengurangi udara yang terjebak pada komposit dan pada produksi lebih dari satu, kualitas yang dihasilkan memiliki kualitas yang sama (Saputra & Setyarso, 2016).



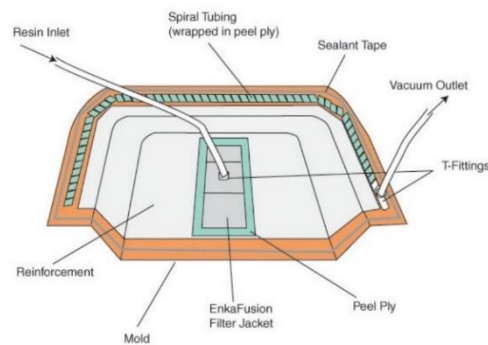
Gambar 2- 3 Proses *Vacuum Infusion*

Proses *vacuum infusion* pada dasarnya memanfaatkan tekanan atmosfer sebagai penekan cetakan. Ketika pompa vakum dihidupkan dan mulai menghisap seluruh udara pada cetakan, plastik akan menekan *filler* dengan tekanan sebesar tekanan atmosfer hingga *filler* tidak dapat ditekan lagi oleh plastik. Matriks akan terisap ketika cetakan dalam keadaan vakum dan mengisi rongga-rongga *filler*

hingga resin menyebar secara merata ke seluruh bagian cetakan. Resin yang masuk pada cetakan memiliki risiko karena waktu gel dari resin. Cetakan harus segera menyebar ke seluruh cetakan sebelum waktu gel dari resin agar komposit yang diharapkan berhasil (Morán et al., 2021).

2.2.3 *Vacuum Infusion Process Molding*

Molding merupakan cetakan yang berfungsi sebagai tempat untuk menyusun serat atau *filler* sehingga membentuk produk yang akan dibuat. Pada umumnya, cetakan atau *molding* dibuat menggunakan komposit serat gelas, kayu, atau logam. *Molding* memerlukan model bentuk yang akan dibuat diperlukan sebagai master untuk membuatnya. *Molding* dengan pembuatan tersebut memerlukan biaya yang mahal dan pembuatannya menggunakan CNC. Untuk bagian yang sulit dilakukan *finishing* dilakukan secara manual dan memerlukan pengalaman dari operator yang membuatnya (Ferretti et al., 2021).



Gambar 2- 4 Cetakan Proses *Vacuum Infusion*

2.2.4 *3D Printing Fused Deposition Modelling (FDM)*

Teknologi *3D printing* atau biasa dikenal dengan *Fused Deposition Modelling (FDM)* merupakan salah satu teknologi *rapid prototyping* yang bekerja dengan cara ekstrusi *thermoplastic* melalui *nozzle*. *Nozzle* dipanaskan pada suhu sesuai dengan titik leleh *thermoplastic* yang digunakan lalu digunakan untuk mencetak produk dengan cara *layer-by-layer*. Material yang digunakan pada *3D printing* berupa filamen dan yang paling sering digunakan yaitu PLA dan ABS (Hasdiansah, 2018).



Gambar 2- 5 Mesin 3D Printer

Filamen 3D printing pada umumnya memiliki sifat kaku namun seiring perkembangannya, filamen memiliki sifat yang elastis seperti *Thermoplastic Polyurethane* (TPU). Keunggulan lain yang dimiliki 3D printing yaitu dapat mencetak produk lebih dari satu dengan akurasi yang tinggi dan cepat. Pada saat ini, teknologi 3D printing banyak digunakan di dunia medis.

2.2.5 Filamen *Thermoplastic Polyurethane* (TPU)

Filamen TPU merupakan salah satu filamen yang dapat digunakan pada mesin 3D printing jenis *Fused Deposition Modelling* (FDM) yang memiliki karakter elastis seperti karet. Beberapa contoh filamen fleksibel yang lain yaitu seperti *Thermoplastic Elastomer* (TPE) dan *Thermoplastic Co-Polyester* (TPC)(Hasdiansah, 2018).



Gambar 2- 6 Filamen TPU

Tingkat kekerasan filamen fleksibel dikelompokkan berdasarkan *shore hardness scale* tipe A. pada gambar 2- 7 dapat dilihat untuk skala yang dapat

digunakan untuk mengukur tingkat elastisitas dari filamen berdasarkan skalanya. Filamen TPU umumnya memiliki skala kekerasan paling besar yaitu *shore A95*. Dari beberapa *technical data sheet* filamen TPU, nilai *tensile strength at yield* berkisar 8 sampai 9 MPa. Filamen TPU *shore A95* milik IEMAI dan Ultimaker memiliki *tensile strength at yield* sebesar 8,6 MPa dan *elongation at yield* sebesar 55% (IEMAI, n.d.)(Ultimaker, 2017).

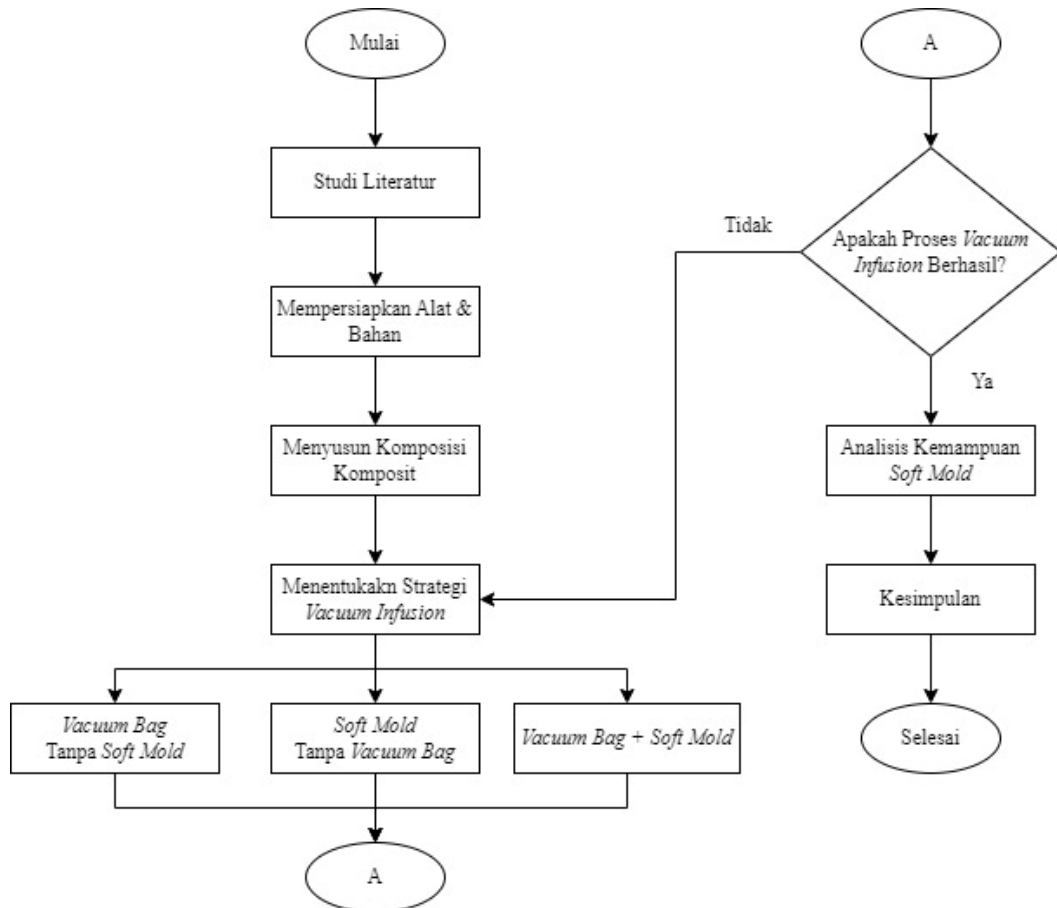


Gambar 2- 7 Shore Hardness Scale

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3- 1 Diagram Alir

3.2 Peralatan dan Bahan

1. 3D Printer

Pada penelitian ini, mesin *3D Print* yang digunakan yaitu produk Creality CR-10S Pro yang berfungsi untuk mencetak *Soft mold*. Mesin tersebut memiliki ukuran *bed* 300 x 300 mm dan jenis *extruder* yang digunakan adalah *Bowden extruder*. Gambar 3- 2 menunjukkan *3D Printer* Creality CR-10S Pro.



Gambar 3- 2 3D Printers

2. Pompa Vakum

Pompa vakum yang digunakan memiliki keluaran daya sebesar $\frac{1}{2}$ HP. Pompa vakum digunakan untuk menghisap udara pada proses *vacuum infusion*. Gambar 3- 3 menunjukkan pompa vakum yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3- 3 Pompa Vakum

3. Resin Trap

Gambar 3- 4 menunjukkan *Resin trap* yang digunakan pada penelitian ini. *Resin trap* digunakan untuk menampung sisa resin dari dalam cetakan ketika cetakan sudah terisi secara merata oleh resin. *Resin trap* yang digunakan memiliki 2 katup yang masing-masing berfungsi untuk menghubungkan cetakan dan pompa vakum. Terdapat *pressure gauge* yang berguna untuk mengetahui apakah terjadi kebocoran atau tidak pada cetakan.



Gambar 3- 4 *Resin Trap*

4. Selang

Selang yang digunakan pada penelitian ini terlihat seperti gambar 3- 5 berfungsi untuk saluran vakum dari cetakan menuju *resin trap* dan dari *resin trap* menuju pompa vakum. Selang juga digunakan pada memasukkan campuran resin dan katalis ke dalam cetakan.



Gambar 3- 5 Selang

5. Timbangan

Gambar 3- 6 menunjukkan timbangan yang digunakan untuk menakar campuran resin dan katalis agar besar perbandingannya sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 3- 6 Timbangan

6. Filamen *Thermoplastic Polyurethane* (TPU)

Filamen yang digunakan sebagai material *soft mold* yaitu *thermoplastic polyurethane* (TPU) keluaran Sunlu yang memiliki diameter 1.75 mm. TPU dapat dilelehkan pada suhu 210 °C dan menggunakan temperatur *bed* bersikar 40 °C hingga 60 °C.



Gambar 3- 7 *Thermoplastic Polyurethane* (TPU)

7. Serat Kaca

Serat kaca atau *fiber glass* digunakan sebagai serat penguat produk komposit dalam penelitian ini. Serat kaca yang digunakan merupakan serat acak seperti yang terlihat pada gambar 3- 8.



Gambar 3- 8 Serat Gelas

8. *Vacuum Bag*

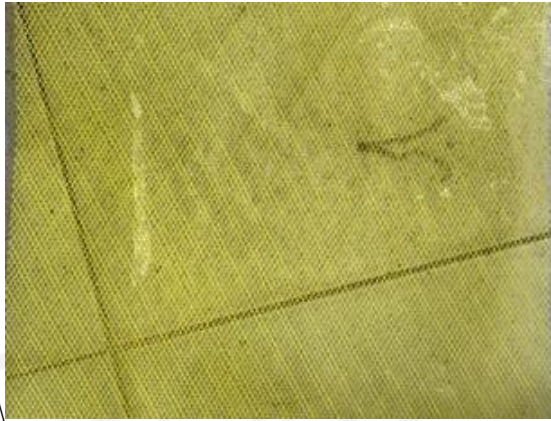
Vacuum bag berfungsi untuk merekayasa kondisi vakum yang sempurna pada cetakan. *Vacuum bag* yang digunakan jenis plastik PE yang tahan terhadap panas hingga 150 °C. Gambar 3- 9 merupakan *vacuum bag* yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3- 9 *Vacuum Bag*

9. *Infusion Mesh*

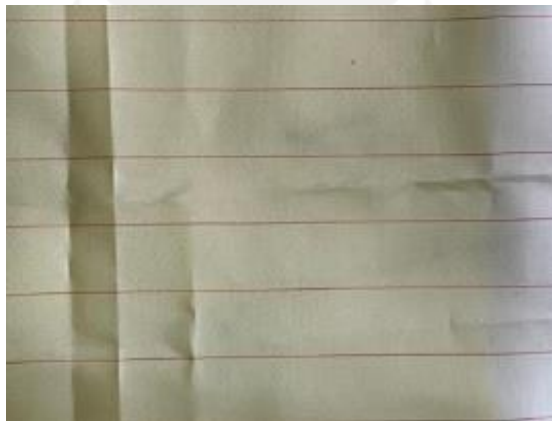
Infusion mesh berfungsi untuk media penyebaran campuran resin dan katalis sehingga dapat menyebar secara merata pada cetakan hal ini karena kondisi vakum yang terjadi di dalam cetakan menyulitkan penyebaran resin. Gambar 3- 10 menunjukkan *infusion mesh* yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3- 10 *Infusion Mesh*

10. *Peel Ply*

Peel ply digunakan sebagai sekat antara *infusion mesh* dan serat gelas sehingga *infusion mesh* tidak menempel pada serat fiber serta memudahkan pelepasan komposit dari cetakan.



Gambar 3- 11 *Peel Ply*

11. *Butyl Tape*

Butyl tape berfungsi untuk merekatkan 2 lembar *vacuum bag* pada saat proses *vacuum infusion*. *Butyl tape* memiliki daya ikat dan tekstur yang mudah untuk mengisi ruang sehingga dapat menahan udara untuk menciptakan kondisi vakum pada cetakan. *Butyl tape* yang digunakan pada penelitian ini, dapat dilihat pada gambar 3- 12.



Gambar 3- 12 *Butyl Tape*

12. Resin

Resin merupakan matriks yang berfungsi sebagai pengikat serat gelas sehingga serat gelas menjadi kaku. Resin yang digunakan yaitu resin keruh tipe 2568 WNC. Resin yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3- 13.



Gambar 3- 13 Resin

13. Katalis



Gambar 3- 14 Katalis

Gambar 3- 14 memperlihatkan katalis yang digunakan sebagai campuran resin untuk membantu percepatan proses pengerasan resin namun menghasilkan panas yang cukup tinggi.

14. Release Agent

Release agent berfungsi agar cetakan dan produk hasil cetakan mudah dilepas. *Release agent* dioleskan pada permukaan cetakan dan *soft mold*. *Release agent* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3- 15.



Gambar 3- 15 Release Agent

15. Plastisin



Gambar 3- 16 Plastisin

Plastisin digunakan untuk menambal bagian *soft mold* yang mengalami kebocoran pada percobaan tanpa menggunakan *vacuum bag*. Plastisin yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3- 16.

16. Isolasi Kertas

Gambar 3- 17 memperlihatkan isolasi kertas digunakan untuk menambal pada bagian tepi cetakan ketika percobaan tanpa menggunakan *vacuum bag*.



Gambar 3- 17 Isolasi Kertas

17. *Vacuum Block*

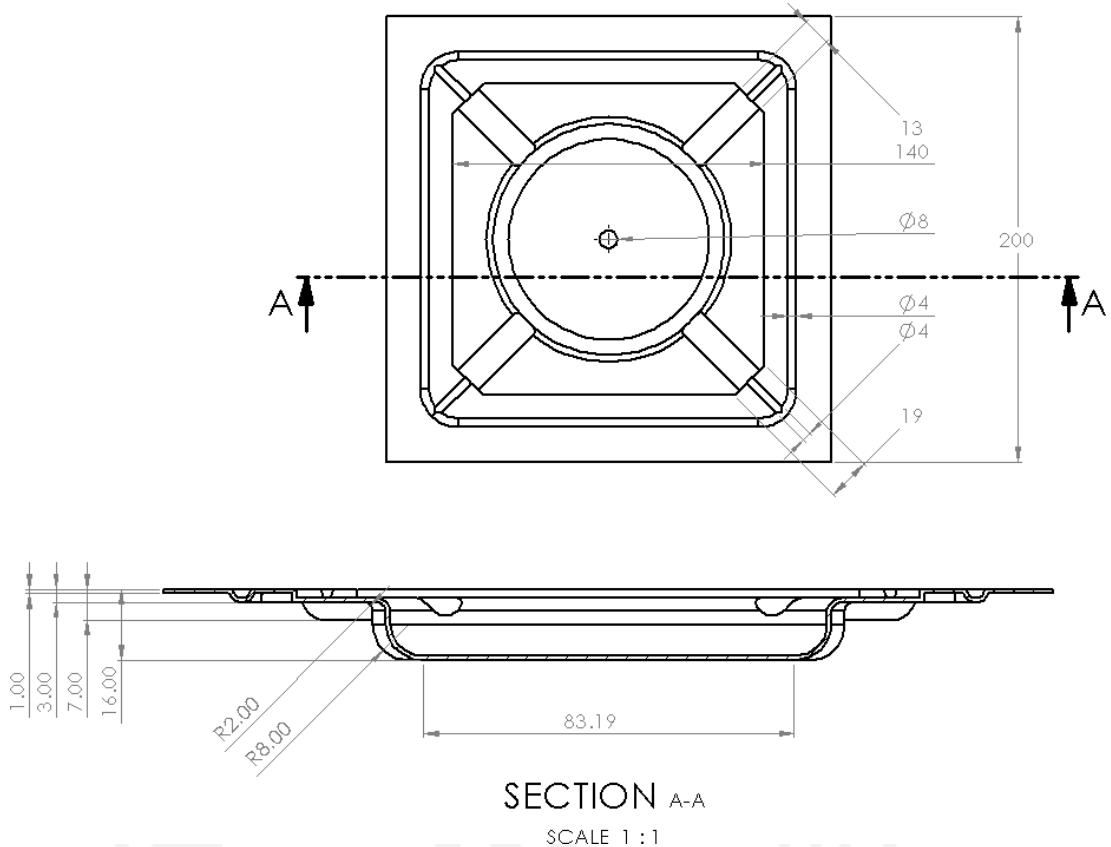
Vacuum block digunakan sebagai *connector* antara selang *inlet* resin dan *soft mold* sehingga resin dapat mengalir menuju cetakan. Gambar 3- 18 memperlihatkan bentuk *vacuum block* yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3- 18 *Vacuum Block*

3.3 Proses Pengerjaan

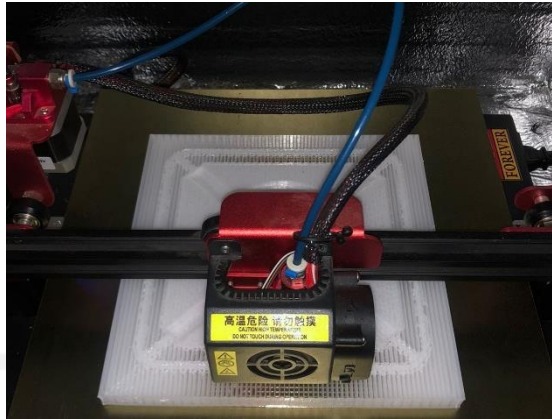
3.3.1 Desain *Soft Mold*



Gambar 3- 19 Desain *Soft Mold*

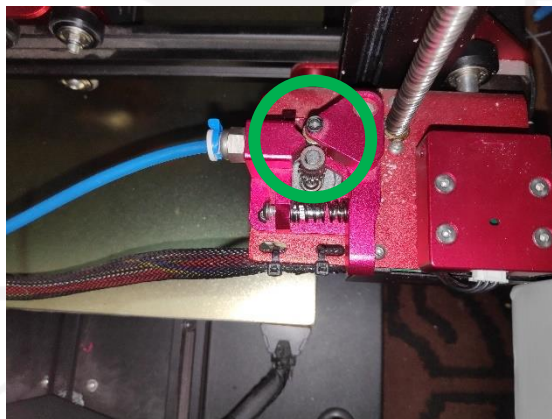
3.3.2 Proses Pembuatan dengan Mesin *3D Printing*

Proses *printing soft mold* dilakukan menggunakan mesin *3D Print Creality CR-10S Pro* yang dapat dilihat pada gambar 3- 20. Proses pencetakan memerlukan waktu selama 4 hari hal ini dikarenakan filamen jenis fleksibel. Proses *printing* menggunakan kecepatan 20 mm per detik, jika menggunakan kecepatan yang lebih tinggi, filamen yang keluar dari *nozzle* tidak lancar yang dapat menyebabkan kegagalan *printing*.



Gambar 3- 20 Proses *Printing*

Filamen jenis fleksibel memiliki karakteristik yang elastis dan mudah untuk ditebuk. Berbeda seperti filamen PLA ataupun ABS yang memiliki karakteristik keras yang akan patah jika ditebuk. Hal ini memudahkan pada proses ekstrusi filamen menuju *nozzle*. Filamen jenis fleksibel jika dilakukan ekstrusi dengan keras akan menyebabkan *buckling* yang dapat dilihat pada lingkaran hijau di gambar 3- 21. Filamen fleksibel tidak dapat di tekan atau dipaksa masuk menuju *nozzle* sehingga kecepatan *printing* dan waktu filamen diekstrusi menuju *nozzle* memerlukan kecepatan rendah agar dapat berhasil dalam proses *printing*.



Gambar 3- 21 *Extruder*

3.3.3 Proses *Vacuum Infusion*

1. Pelapisan *Realease Agent*



Gambar 3- 22 Pelapisan *Realease Agent* pada *Soft mold*

Pelapisan *realease agent* bertujuan untuk kemudahan dalam pelepasan cetakan dan produk. Cetakan dan *soft mold* keduanya dilapisi *realease agent* seperti yang terlihat pada gambar 3- 22 dan gambar 3- 23.



Gambar 3- 23 Pelapisan *Realease Agent* pada Cetakan

2. Peletakan Serat Gelas pada Bagian Cetakan

Cetakan yang sudah dilapisi dengan *realease agent*, kemudian diletakkan serat gelas sebanyak 3 lapis. Pelapisan sebanyak 3 lapis ini agar produk tidak terlalu tipis. Gambar 3- 24 memperlihatkan peletakan dari serat gelas yang melapisi seluruh bagian cetakan yang akan menjadi produk.



Gambar 3- 24 Peletakan Serat Gelas

3. Peletakan *Infusion Mesh* pada *Soft mold*

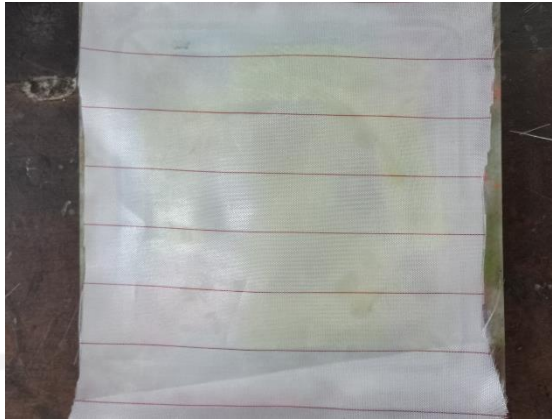
infusion mesh yang berfungsi untuk membantu proses pemerataan resin, diletakkan pada *soft mold* karena pada *soft mold* terdapat bentuk dari produk yang akan dibuat. Gambar 3- 25 memperlihatkan peletakan *infusion mesh* pada *soft mold*.



Gambar 3- 25 Peletakan *Infusion Mesh*

4. Menyusun *peel ply*

Peel ply diletakkan di antara *infusion mesh* dan serat gelas. *Peel ply* yang digunakan untuk memudahkan proses pencabutan produk dari cetakan juga berfungsi memisahkan *infusion mesh* dan serat gelas sehingga *infusion mesh* tidak menyatu dengan serat gelas.



Gambar 3- 26 Peletakan *Peel Ply*

5. Membuat *Vacuum Bag* dan Meletakkan Cetakan ke Dalam *Vacuum Bag*

Gambar 3- 27 merupakan bentuk *vacuum bag* yang digunakan. *Vacuum bag* terdiri dari 2 sisi yang keduanya direkatkan menggunakan *butyl tape*.



Gambar 3- 27 Bentuk *Vacuum Bag*

6. Menyusun Cetakan dan *Soft mold* Menjadi 1 Cetakan Utuh

Setelah cetakan sudah dilapisi dengan *release agent*, serat gelas, dan *peel ply*, cetakan dan *soft mold* disatukan sehingga menjadi 1 cetakan yang utuh. Pada gambar 3- 28 memperlihatkan cetakan yang sudah disatukan diletakkan pada *vacuum bag*.



Gambar 3- 28 Memasang Selang *Inlet* dan *Outlet*

7. Proses Pencampuran Resin dan Katalis

Pencampuran resin dan katalis menggunakan perbandingan berat. Perbandingannya yaitu 100% berat resin dicampur dengan 1% berat katalis(Ashfan F. A., 2022).



Gambar 3- 29 Berat Resin

Pada penelitian ini menggunakan resin seberat lebih kurang 200 gram seperti yang terlihat pada gambar 3- 29 pada gambar 3- 30 berat katalis yang digunakan yaitu 2 gram.



Gambar 3- 30 Berat Katalis

8. Uji Vakum

Uji vakum bertujuan untuk memastikan bahwa tidak terdapat kebocoran pada *vacuum bag*. Pada *vacuum bag* diperlukan tekanan atmosfer negatif agar proses *vacuum infusion* berhasil. Gambar 3- 31 menunjukkan *pressure gauge* yang menunjukkan tekanan di bawah tekanan atmosfer negatif.



Gambar 3- 31 Tekanan Vakum

9. Proses *Vacuum Infusion*

Proses *vacuum infusion* menggunakan satu *inlet* dan satu *outlet*. Pada gambar 3- 32 dapat dilihat untuk proses *vacuum infusion*. Resin yang sudah dicampur dengan katalis dimasukkan ke dalam cetakan melalui *inlet*. Resin akan otomatis terisap karena tekanan atmosfer negatif di dalam cetakan.



Gambar 3- 32 Proses *Vacuum Infusion*



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Percobaan Tanpa Menggunakan *Soft Mold*

Percobaan tanpa menggunakan *soft mold* yaitu percobaan yang mirip seperti percobaan tanpa menggunakan *vacuum bag* perbedaannya media penekan tidak menggunakan *soft mold* melainkan plastik.



Gambar 4- 1 Percobaan *Vacuum Infusion* Tanpa Menggunakan *Soft Mold*

Beberapa bahan yang digunakan untuk menciptakan kondisi vakum dan sebagai media perataan tekanan di dalam cetakan, antara lain:

1. Plastik *bagging*
2. *Butyl tape*
3. *Infusion mesh*
4. *Peel ply*
5. Selang spiral

Selang spiral berfungsi untuk meratakan tekanan dan aliran resin di dalam cetakan sehingga resin tidak mengalir menuju lubang *outlet* melalui jalur terdekat.

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui berapa berat penggunaan plastik dan *butyl tape* pada proses *vacuum infusion*. Hasilnya digunakan sebagai pembandingan jika menggunakan *soft mold* sehingga dapat dilihat perbedaan penggunaan plastik untuk pembuatan produk dalam bentuk yang sama.

4.1.1 Langkah-Langkah Percobaan

Langkah-langkah pada percobaan kedua, yaitu sebagai berikut:

1. Cetakan dilapisi dengan *release agent*.
2. Peletakan serat gelas pada cetakan.
3. Meletakkan *peel ply* pada cetakan setelah peletakan serat gelas.
4. Menambahkan selang spiral agar tekanan di dalam cetakan merata.
5. Dilanjutkan dengan meletakkan *infusion mesh*.
6. Memotong *vacuum bag* lalu menempelkan *butyl tape* pada tepiannya, lalu dilakukan penimbangan berat.
7. Menempelkan *vacuum bag* pada cetakan.
8. Menambahkan selang untuk *inlet resin*, *outlet resin*, dan untuk menghubungkan *resin trap* dengan mesin vakum.
9. Menghidupkan mesin vakum dan melakukan proses vakum.
10. Setelah itu, pompa vakum dimatikan dan *vacuum bag* didiamkan selama 10 menit untuk mengecek jika terdapat kebocoran.
11. Jika tidak terdapat kebocoran, pompa vakum dihidupkan kembali dan dilakukan *infusion* resin dari selang *inlet* hingga resin mengisi seluruh bagian cetakan yang ditandai resin keluar dari selang *outlet*.
12. *Vacuum bag* didiamkan selama 1 hari untuk proses pengeringan resin.
13. Produk hasil *vacuum infusion* dilepaskan dari cetakan, dan dilakukan proses *finishing*.
14. Membersihkan cetakan dari sisa resin yang menempel untuk persiapan percobaan berikutnya.

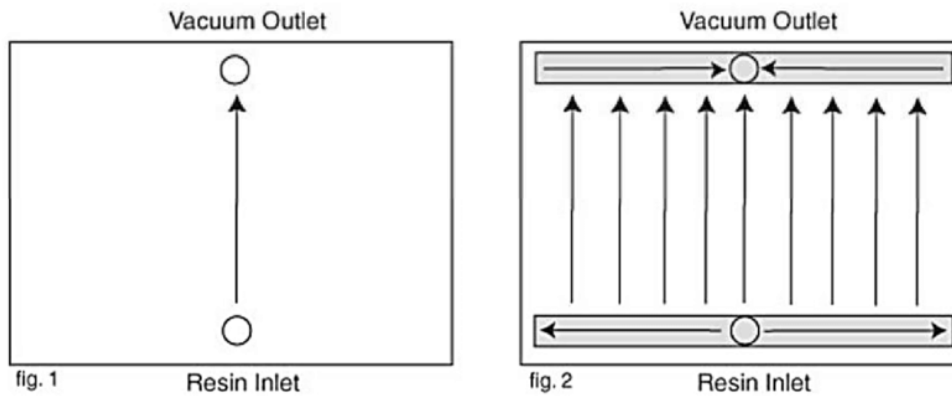
4.1.2 Hasil Percobaan

Percobaan tanpa menggunakan *soft mold* dilakukan guna untuk mendapatkan data penggunaan plastik dan *butyl tape* dalam satu kali proses *vacuum infusion*.

Infusion mesh menjadi bahan yang digunakan untuk memudahkan aliran resin di dalam cetakan. Ketika tekanan di dalam cetakan sudah negatif tekanan atmosfer, masih terdapat celah-celah kecil yang dapat dilalui resin. Namun, dengan lubang *outlet* satu titik, resin akan mengalir melalui jalur terdekat dengan *outlet*

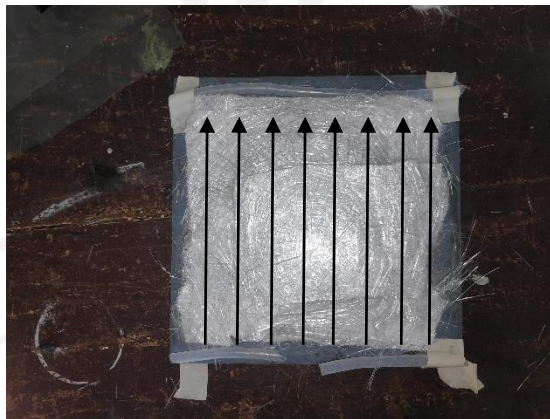
tersebut. Maka dari itu, diperlukan sebuah media yang digunakan untuk menyebarkan resin ke seluruh bagian cetakan yaitu selang spiral.

Pada gambar 4- 2 *fig. 1* memperlihatkan jalur resin jika tidak menggunakan selang spiral lalu pada *fig. 2* dapat dilihat jika digunakan selang spiral. Selang spiral menjadikan tekanan di dalam cetakan menjadi merata, sehingga resin dapat mengisi seluruh ruang hampa di dalam cetakan.



Gambar 4- 2 Aliran Resin

Pada gambar 4- 3 memperlihatkan peletakan selang spiral yang digunakan pada percobaan tanpa menggunakan *soft mold*. Panah berwarna hitam menunjukkan arah pergerakan resin dari *inlet* menuju *outlet*.



Gambar 4- 3 Peletakan Selang Spiral

Gambar 4- 4 memperlihatkan hasil produk yang dicetak menggunakan proses *vacuum infusion* tanpa penambahan *soft mold*.



Gambar 4- 4 Hasil *Vacuum Infusion* Tanpa *Soft Mold*

4.2 Percobaan Tanpa *Vacuum Bag*

4.2.1 Antisipasi Kebocoran Pada *Soft Mold*

Pada percobaan ini, *soft mold* diharapkan dapat menggantikan plastik sebagai media penekan. Sehingga perlu mengeliminasi beberapa kemungkinan yang menjadi titik yang bocor dan dilakukan pengujian vakum. Tujuan dari pengujian vakum karena proses *vacuum infusion* memanfaatkan kondisi kevakuman pada cetakan. Maka perlu dilakukan pengujian vakum agar dapat dipastikan bahwa cetakan tidak bocor dan dapat dikondisikan menjadi vakum. Dari analisa didapatkan bagian yang memungkinkan terjadinya kebocoran, yaitu:

1. Pada bagian tepi cetakan

Kebocoran yang memiliki kemungkinan terbesar yaitu pada bagian tepi di mana *soft mold* dan cetakan bertemu tanpa memiliki sistem pengunci. Cetakan keras yang mungkin dilakukan *finishing* menggunakan dempul sehingga menjadi rata. Namun, *soft mold* yang bermaterial TPU sangat sulit untuk dilakukan proses *finishing* seperti cetakan keras yang bermaterial ABS. Cara yang dilakukan pertama kali yaitu dengan memberikan isolasi kertas di seluruh tepian cetakan.



Gambar 4- 5 Penambahan Isolasi Kertas Pada Tepian Cetakan

Awal percobaan *support* hasil dari proses *3D printing* belum dilepas dan fokus pada mengeliminasi kebocoran pada bagian tepi cetakan. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa masih terjadi kebocoran.

2. Pada bagian lekukan *soft mold*



Gambar 4- 6 Mencari Kebocoran Udara

Setelah dilakukan eliminasi pada bagian tepi, eliminasi beralih ke bagian *soft mold* yang memiliki lekukan akibat dari bentuk produk yang akan dibuat. Eliminasi dilakukan menggunakan *plastisin* sebagai media penambal. Keterbatasan alat yang digunakan, pencarian titik bocor dengan suara yang ditimbulkan ketika proses vakum.

Cara lain yang digunakan yaitu dengan memberikan sedikit air pada bagian atas *soft mold*, ketika proses vakum dan ada air yang masuk menuju *resin trap*.

Menandakan daerah yang diberi air terjadi kebocoran. Gambar 4- 6 memperlihatkan proses awal eliminasi bagian kebocoran pada lekukan *soft mold* dan *support* dalam kondisi belum dilepaskan secara keseluruhan.

3. Pada seluruh bagian *soft mold* akibat proses *printing*

Gambar 4- 7 memperlihatkan *soft mold* yang penuh dengan tambalan *plastisin* untuk mengatasi kebocoran pada bagian lekukan *soft mold*. Kebocoran masih tetap terjadi namun sangat kecil, melihat dari pergerakan *pressure gauge* pada *resin trap*.



Gambar 4- 7 *Soft Mold* yang Ditambal Plastisin Pada Bagian yang Bocor

Melihat kembali kerja dari *3D printing* yaitu dengan cara ekstrusi filamen yang dipanaskan pada *nozzle* lalu dibuat untuk mencetak produk *layer-by-layer*. Ketika proses vakum, *soft mold* mengimpit cetakan keras dan terjadi tarikan pada *soft mold*. Ikatan antar *layer soft mold* tidak mampu menahan udara, sehingga udara dapat menerobos celah tersebut sehingga tidak terjadi kondisi vakum pada cetakan.

4.2.2 Langkah-Langkah Percobaan Tanpa *Vacuum Bag*

Langkah-langkah pada *percobaan tanpa vacuum bag*, sebagai berikut:

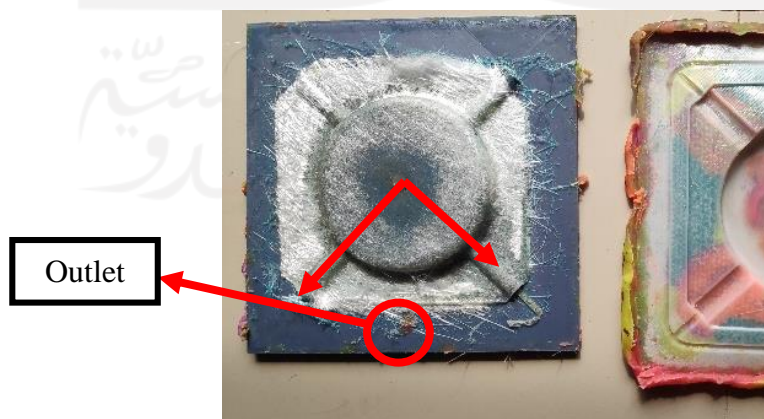
1. Pelapisan *release agent* pada cetakan.
2. Peletakan serat gelas pada cetakan.
3. *Soft mold* dipasangkan pada cetakan.
4. Pada bagian tepi cetakan diberi *plastisin*.

5. Menghidupkan mesin vakum.
6. Setelah tekanan di dalam sudah negatif tekanan atmosfer, resin yang sudah dicampur dengan katalis dimasukkan ke dalam cetakan.
7. Pompa vakum terus dinyalakan hingga kondisi resin sudah menjadi gel karena cetakan yang masih terdapat kebocoran kecil.
8. Setelah resin sudah menjadi gel, cetakan dibiarkan selama sehari agar resin menjadi keras dan kering.
9. Melepas *soft mold* dan mengangkat produk yang dihasilkan, lalu dilakukan analisis terkait hasil dan penyebab kegagalan pada percobaan tanpa *vacuum bag*.

4.2.3 Hasil Percobaan Tanpa *Vacuum Bag*

Hasil dari percobaan tanpa *vacuum bag* gagal, resin tidak menyebar secara merata. Hal ini karena pada bagian dalam, celah untuk resin untuk mengalir kecil. Sehingga resin kesulitan untuk bergerak menyebar ke seluruh cetakan. Pada gambar 4- 8 yang ditunjukkan panah merah, memperlihatkan pergerakan resin yang hanya bergerak ke titik terdekat *outlet*.

Gambar 4- 8 memperlihatkan dari hasil percobaan yang tetap dilakukan walaupun masih terdapat sedikit kebocoran. Percobaan tetap dilakukan dengan mempertimbangkan kebocoran yang tipis dan waktu gel resin yang sudah dicampur dengan katalis dengan perbandingan 100gram:1gram.



Gambar 4- 8 Hasil Percobaan tanpa *vacuum bag*

4.2.4 Evaluasi Dari Percobaan Tanpa *Vacuum Bag*

Dari hasil percobaan tanpa *vacuum bag*, terdapat beberapa hal yang menjadi evaluasi yaitu sebagai berikut:

1. *Soft mold* tidak dapat menahan kebocoran udara ketika proses vakum.
2. Memerlukan *infusion mesh* sebagai *flow mesh* resin agar merata ke seluruh bagian cetakan.
3. Memerlukan *peel ply* sebagai pemisah antara serat gelas dan *infusion mesh*.
4. Plastik digunakan untuk merekayasa kondisi vakum pada cetakan.

4.3 Percobaan Menggunakan *Vacuum Bag*

4.3.1 Perbaikan dari Percobaan Tanpa *Vacuum Bag*

Dari evaluasi hasil percobaan tanpa *vacuum bag* beberapa bahan tambahan digunakan, yaitu:

1. *Vacuum bag*
2. *Butyl tape*
3. *Infusion mesh*
4. *Peel ply*

Pada gambar 4- 9 memperlihatkan proses *vacuum infusion* pada percobaan menggunakan *vacuum bag*. Percobaan ini, *vacuum bag* dapat menahan kebocoran udara dan cetakan dapat tervakum. Resin dapat menyebar secara merata ke seluruh bagian yang cetakan.



Gambar 4- 9 Proses Percobaan Menggunakan *Vacuum Bag*

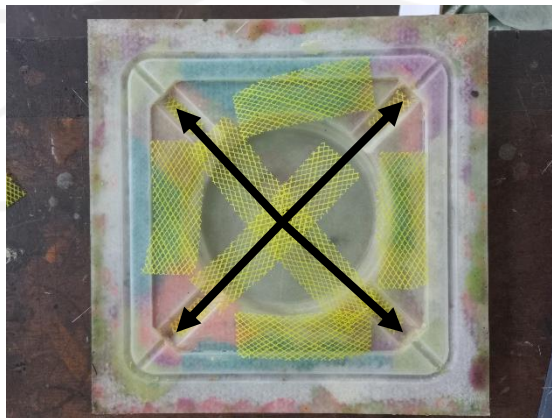
Dikarenakan *soft mold* tidak dapat menahan kebocoran akibat vakum maka diperlukan plastik untuk merekayasa kondisi vakum pada proses *vacuum infusion*. Tujuan pada percobaan kedua yaitu untuk mengurangi penggunaan plastik dan dapat mengalirkan resin ke seluruh bagian cetakan yang diharapkan.

Plastik yang digunakan memiliki berat awal 230 gram dengan ukuran lebih kurang 100 cm x 50 cm x 2 lembar plastik. Penyebab plastik rusak pada proses *vacuum infusion* yaitu akibat dari *butyl tape* dan resin. Agar plastik dapat digunakan berkali-kali maka diperlukan plastik dengan ukuran yang besar.



Gambar 4- 10 Plastik yang Digunakan

Selanjutnya, untuk mengatasi tujuan kedua yaitu resin dapat menyebar ke seluruh bagian cetakan yang diharapkan, diatasi dengan menggunakan *infusion mesh*. *Infusion mesh* dipotong menjadi bagian kecil lalu diletakkan seperti pada gambar 4- 11.



Gambar 4- 11 Peletakan *Infusion Mesh*

4.3.2 Langkah-Langkah Percobaan Menggunakan *Vacuum Bag*

Langkah-langkah pada percobaan kedua, yaitu sebagai berikut:

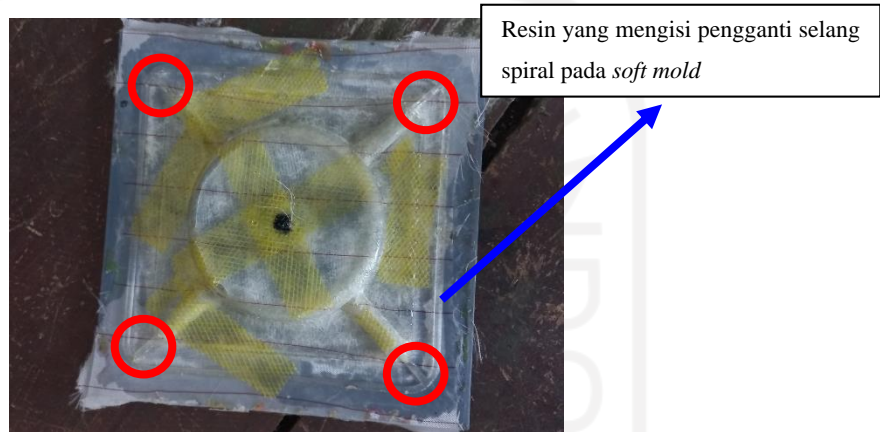
1. Cetakan dan *soft mold* dilapisi dengan *release agent*
2. Peletakan serat gelas pada cetakan.
3. Meletakkan *infusion mesh* pada *soft mold*.
4. Meletakkan *peel ply* di atas *infusion mesh* yang sudah diletakkan pada *soft mold*.
5. Menggabungkan *soft mold* dan cetakan menjadi 1 cetakan utuh.
6. Menimbang berat *vacuum bag* lalu cetakan dimasukkan ke dalam *vacuum bag*.
7. Menghidupkan mesin vakum hingga tekanan di dalam cetakan negatif tekanan atmosfer.
8. Setelah itu, pompa vakum dimatikan dan *vacuum bag* didiamkan selama 10 menit untuk mengecek jika terdapat kebocoran.
9. Jika tidak terdapat kebocoran, pompa vakum dihidupkan kembali dan dilakukan *infusion* resin dari selang *inlet* hingga resin mengisi seluruh bagian cetakan yang ditandai resin keluar dari selang *outlet*.
10. *Vacuum bag* didiamkan selama 1 hari untuk proses pengeringan resin.
11. Pada hari berikutnya, dilakukan pembongkaran dengan menggunting bagian tertentu untuk mengeluarkan cetakan dari *vacuum bag*.
12. Bagian *vacuum bag* yang terpotong ditimbang untuk mengetahui pengurangan beratnya.
13. Produk hasil *vacuum infusion* dilepaskan dari cetakan, dan dilakukan proses *finishing*.
14. Membersihkan cetakan dari sisa resin yang menempel untuk persiapan percobaan berikutnya.

4.3.3 Hasil Percobaan Menggunakan *Vacuum Bag*

Pada gambar 4- 12 dapat dilihat hasil dari percobaan dengan menggunakan *vacuum bag*. Dengan penambahan *infusion mesh*, resin dapat mengalir ke seluruh bagian inti cetakan yang merupakan bentuk produk yang diinginkan. *Infusion mesh* menjadikan tekanan lebih merata di dalam cetakan sehingga resin keluar menuju

outlet melalui empat titik yang dapat dilihat pada lingkaran merah pada gambar 4-12.

Sisa resin yang berlebih akan keluar dari inti cetakan dan menuju ke pengganti selang spiral sebelum keluar menuju *resin trap*. Panah biru pada gambar 4-12 memperlihatkan resin yang sudah mengering sebelum keluar menuju *resin trap*.



Gambar 4- 12 Hasil Percobaan Menggunakan *Vacuum Bag* Sebelum Dilepas dari Cetakan

Gambar 4- 13 memperlihatkan pelepasan *peel ply* dari produk komposit. *Peel ply* berfungsi untuk memisahkan *infusion mesh* dan serat gelas dan juga digunakan untuk membantu melepaskan produk dari cetakan. Di samping itu, *peel ply* berguna membuang tumpukan resin yang berlebih di atas produk bersama *infusion mesh* sehingga produk yang dihasilkan memiliki permukaan rata.



Gambar 4- 13 Pelepasan *Peel Ply* dari Produk Komposit

Setelah *peel ply* terlepas semuanya dari produk, lalu dilakukan proses *finishing* produk. Gambar 4- 14 terlihat produk hasil dari percobaan menggunakan *vacuum bag*.

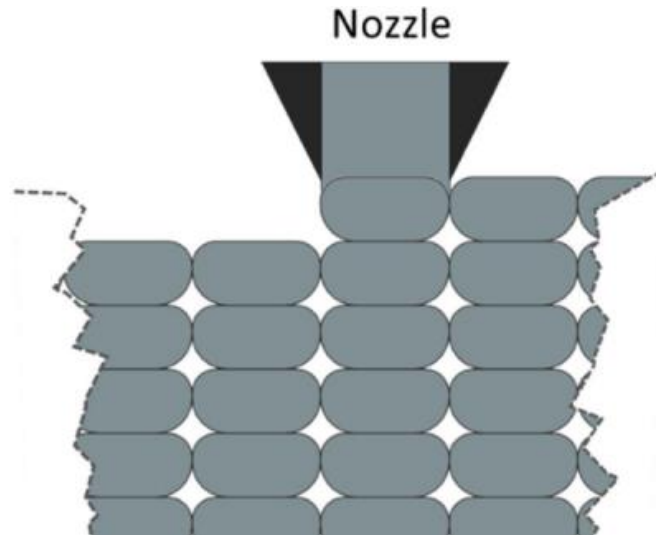


Gambar 4- 14 Produk Komposit yang Sudah Dilakukan Proses *Finishing*

4.4 Analisis dan Pembahasan

4.4.1 Proses *Vacuum Infusion*

Kebocoran yang terjadi ketika proses *vacuum infusion* dengan menggantikan peran *vacuum bag* menggunakan *soft mold* tidak dapat dihindari walaupun sudah dilakukan penambalan menggunakan plastisin.



Gambar 4- 15 Void

Gambar 4- 15 memperlihatkan *void* atau rongga-rongga yang tidak terisi oleh filamen ketika proses *printing*. Rongga-rongga tersebut menjadikan ikatan antar *layer 3D print* menjadi lemah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Gojzewski et al., 2020) menunjukkan bahwa modulus elastisitas pada dua permukaan *layer* yang menyatu memiliki nilai yang paling rendah pada dua permukaan *layer* yang menyatu. Hal tersebut yang memungkinkan terjadinya kebocoran pada *soft mold*. Proses antisipasi kebocoran dengan meletakkan air pada permukaan luar *soft mold* Ketika proses *vacuum*, air dapat terhisap dan masuk menuju *resin trap*.

Dari hasil percobaan *vacuum infusion* jika tidak menggunakan *soft mold*, dapat dilihat pada tabel 4- 1 memperlihatkan berat *vacuum bag* yang digunakan untuk sekali proses *vacuum infusion*. Data diambil sebanyak 3 kali percobaan dengan jumlah limbah yang dihasilkan yaitu 256 gram atau rata-rata 85,3 gram untuk sekali proses *vacuum infusion*.

Tabel 4- 1 Berat *Vacuum Bag* yang Digunakan Pada Percobaan Tanpa Menggunakan *Soft Mold*

Percobaan	Berat Vacuum Bag (gr)
1	87,0
2	83,0

3	86,0
Rata-Rata	85,3
Total Berat	256

Plastik hanya dapat digunakan untuk sekali proses *vacuum infusion* dikarenakan resin yang menempel pada plastik. Resin yang sudah mengeras akan merusak plastik sehingga tidak dapat digunakan lagi. Permasalahan tersebut yang menjadi kekurangan proses *vacuum infusion*.

Metode penggunaan *vacuum bag* ditambah *soft mold* berhasil dan dilakukannya percobaan sebanyak 3. Tabel 4- 2 merupakan tabel berat dari *vacuum bag* sebelum dan sesudah dilakukan *vacuum infusion*. Berat dari *vacuum bag* sudah termasuk berat plastik dan *butyl tape* yang digunakan.

Tabel 4- 2 Berat *Vacuum Bag* Sebelum dan Sesudah Proses *Vacuum Infusion*

Percobaan Ke-	Berat Vacuum Bag* (gr)		Penambahan berat (gr)	Pengurangan berat (gr)
	Berat Sembelum	Berat Sesudah		
1	217	188	-	29,0
2	208	182	20,0	25,0
3	200	178	18,0	22,0
Jumlah			38,0	76,0
Rata-Rata			19,0	25,3

*Berat plastik ditambah dengan berat *butyl tape*

Proses *vacuum infusion* dengan penambahan *soft mold* menghasilkan limbah *vacuum bag* rata-rata 25,3 gram atau dalam 3 kali percobaan limbah yang dihasilkan sebanyak 76 gram.

Dari hasil percobaan yang dilakukan, limbah *vacuum bag* dengan *soft mold* dan tidak menggunakan *soft mold* dapat dilihat pada tabel 4- 3. Rata-rata selisih berat *vacuum bag* yang digunakan pada percobaan yaitu 60,0 gram. Dengan kata lain, penerapan *soft mold* pada proses *vacuum infusion* dapat mengurangi limbah *vacuum bag* sebesar 180 gram untuk 3 kali proses percobaan.

Tabel 4- 3 Perbandingan Berat *Vacuum Bag* Dengan *Soft Mold* dan Tanpa *Soft Mold*

Percobaan	<i>Vacuum Bag</i> (gr)		Selisih Berat (gr)
	Tanpa <i>Soft Mold</i>	Dengan <i>Soft Mold</i>	
1	87,0	29,0	58,0
2	83,0	25,0	58,0
3	86,0	22,0	64,0
Jumlah	256,0	76,0	180,0
Rata-Rata	85,3	25,3	60,0

4.4.2 Kondisi Plastik

Limbah hasil proses *vacuum infusion* tanpa menggunakan *soft mold* menghasilkan limbah plastik lebih besar dibandingkan dengan penambahan *soft mold*. Hal tersebut terjadi karena *vacuum bag* yang telah digunakan bersentuhan langsung dengan *filler*, sehingga resin ketika mengisi *filler* menyentuh *vacuum bag*. Resin yang sudah mengeras akan menyebabkan plastik menempel dengan *infusion mesh*. Sehingga plastik menjadi rusak selama proses pemisahan dengan *infusion mesh* dan juga akibat dari resin menempel pada *vacuum bag*.

Pada gambar 4- 16 dapat dilihat plastik yang menempel dengan *infusion mesh* setelah proses *vacuum infusion*. Sedangkan proses *vacuum infusion* dengan penambahan *soft mold*, plastik tidak menempel pada *soft mold* dan juga terjaga dari resin yang mengeras karena terhalang oleh *soft mold*. Pada gambar 4- 17 dapat dilihat plastik tidak menempel pada *soft mold* ketika mengeluarkan cetakan dari dalam *vacuum bag*.



Gambar 4- 16 Plastik Menempel Dengan *Infusion Mesh*



Gambar 4- 17 Plastik Tidak Menempel Pada *Soft Mold*

Vacuum bag terdiri dari dua lembar plastik yang pada tepiannya direkatkan menggunakan *butyl tape* sehingga udara terperangkap di dalam *vacuum bag*. Proses *vacuum infusion* dengan penambahan *soft mold* juga menghasilkan limbah plastik dikarenakan *soft mold* dan cetakan diletakkan di dalam *vacuum bag* selama proses *vacuum infusion*.

Pada gambar 4- 19 dan 4- 20 dapat dilihat perbedaan kondisi plastik setelah proses *vacuum infusion* tanpa menggunakan *soft mold* dan dengan penambahan *soft mold*. Kondisi *vacuum bag* yang digunakan untuk proses *vacuum infusion*

tanpa menggunakan *soft mold* memiliki banyak lipatan dan resin yang menempel. Sedangkan yang menggunakan *soft mold* memiliki permukaan yang halus dan hanya terdapat jejak kecil dari *soft mold* dikarenakan permukaan *soft mold* yang tidak rata akibat *support* pada waktu proses *printing*.



Gambar 4- 18 Kondisi Plastik Setelah Proses *Vacuum Infusion* Tanpa *Soft Mold*



Gambar 4- 19 Kondisi *Vacuum Bag* Setelah VIP Menggunakan *Soft Mold*

Untuk mengeluarkan hasil produk komposit yang dibuat dari proses *vacuum infusion*, maka perlu mengeluarkan cetakan dari dalam *vacuum bag*. Sehingga perlu dilakukan pemotongan pada bagian tepi *vacuum bag* untuk

mengeluarkannya. Pada gambar 4- 20 dapat dilihat untuk limbah *vacuum bag* setelah proses *vacuum infusion* dengan penambahan *soft mold*. Limbah tersebut tidak dapat digunakan kembali karena plastik yang menempel pada *butyl tape* sulit untuk dilepaskan.



Gambar 4- 20 Limbah *Vacuum Bag* Pada VIP Dengan *Soft Mold*

UNIVERSITAS
MESIA
الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil percobaan yang dilakukan pada penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. *Soft mold* mampu mengurangi limbah *vacuum bag* pada proses *vacuum infusion* karena dapat melindungi *vacuum bag* dari resin dan menghindari lipatan pada *vacuum bag* yang dapat menyebabkan kebocoran pada *vacuum bag*.
2. Dari 3 kali percobaan proses *vacuum infusion* dengan ukuran cetakan (p x l x t) lebih kurang 200 mm x 200 mm x 13,5 mm menghasilkan limbah *vacuum bag* sebesar rata-rata 85,3 gram jika tidak menggunakan *soft mold*. Sedangkan, ketika menggunakan *soft mold* hanya menghasilkan limbah *vacuum bag* sebesar rata-rata 25,3 gram atau dapat menghemat penggunaan *vacuum bag* dibandingkan percobaan tanpa menggunakan *soft mold*.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Pada penelitian selanjutnya, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan pada penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Mempertimbangkan ketahanan plastik ketika digunakan pada proses *vacuum infusion* berulang-ulang.
2. *Inlet* dan *outlet* resin di desain berada pada *soft mold*.
3. Membandingkan limbah *vacuum bag* dengan beberapa ukuran cetakan yang berbeda.
4. Menghitung berat plastik dan *butyl tape* secara terpisah sehingga dapat melihat penggunaan plastik dan *butyl tape* untuk sekali proses *vacuum infusion*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashfan F. A., M. (2022). Pengaruh Ketebalan Core (3D Print) Dengan Bahan PLA (Polyactic-Acid) Terhadap Uji Bending Spesimen Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Infusion. <http://hdl.handle.net/123456789/39780>
- Diana, L., Safitra, A. G., & Ariansyah, M. N. (n.d.). Analisis Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer. 4(2), 9.
- Ferretti, P., Santi, G. M., Leon-Cardenas, C., Freddi, M., Donnici, G., Frizziero, L., & Liverani, A. (2021). Molds with Advanced Materials for Carbon Fiber Manufacturing with 3D Printing Technology. *Polymers*, 13(21), 3700. <https://doi.org/10.3390/polym13213700>
- Gozewski, H., Guo, Z., Grzelachowska, W., Ridwan, M. G., Hempenius, M. A., Grijpma, D. W., & Vancso, G. J. (2020). Layer-by-Layer Printing of Photopolymers in 3D: How Weak is the Interface? *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(7), 8908–8914. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b22272>
- Hasdiansah. (2018). Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Elastisitas Produk Yang Dihasilkan. Seminar Nasional Inovasi Teknologi, Teknologi, 187–192.
- IEMAI. (n.d.). TPU Technical Data Sheet (TDS).
- Kaerger, J. C. (n.d.). SAMPE Europe Conference 2019 Nantes—France. 16.
- Kartini, R., Darmasetiawan, H., & Karo, A. K. (2002). PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT POLIMER BERPENGUAT SERAT ALAM. 3(3), 9.

- Morán, J. I., Ludueña, L. N., Stocchi, A. L., Basso, A. D., & Francucci, G. (2021). The driven flow vacuum infusion process: An overview and analytical design. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 40(23–24), 880–897. <https://doi.org/10.1177/07316844211017649>
- Rahadiyanto, A. (2018). PERBAIKAN PROSES PEMBUATAN PRODUK KOMPOSIT DENGAN METODE VACUUM BAGGING. 41.
- Saputra, A. H., & Setyarso, G. (2016). Vacuum infusion equipment design and the influence of reinforcement layers addition to the resin infusion time. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 162(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/162/1/012015>
- Tao, Y., Kong, F., Li, Z., Zhang, J., Zhao, X., Yin, Q., Xing, D., & Li, P. (2021). A review on voids of 3D printed parts by fused filament fabrication. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 4860–4879. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.10.108>
- Ultimaker. (2017). Technical Data Sheet TPU 95A. <https://3dnewworld.com/wp-content/uploads/2017/08/TPU95A.pdf>

