

**PEMBUATAN CETAKAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI  
3D PRINTING UNTUK MEMPRODUKSI HELM SEPEDA  
LIPAT KOMPOSIT KARBON FIBER DENGAN METODE  
VACUUM INFUSION**

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh:**

**Nama : Melliga Resyafa Akbar**

**No. Mahasiswa : 18525099**

**NIRM : 2018051052**

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

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PEMBUATAN CETAKAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI  
3D PRINTING UNTUK MEMPRODUKSI HELM SEPEDA  
LIPAT KOMPOSIT KARBON FIBER DENGAN METODE  
VACUUM INFUSION**

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh:**

**Nama : Melliga Resyafa Akbar**  
**No. Mahasiswa : 18525099**  
**NIRM : 2018051052**

Yogyakarta, 15/12 / 2022

Pembimbing,



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

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**PEMBUATAN CETAKAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI  
3D PRINTING UNTUK MEMPRODUKSI HELM SEPEDA  
LIPAT KOMPOSIT KARBON FIBER DENGAN METODE  
VACUUM INFUSION**

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh:**

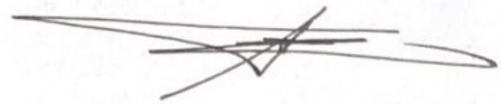
**Nama : Melliga Resyafa Akbar**  
**No. Mahasiswa : 18525099**  
**NIRM : 2018051052**

Tim Penguji

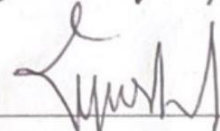
Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T.,  
M.Sc. IPP  
Ketua

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

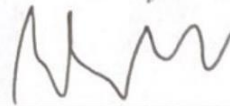
Agung Nugroho Adi, S.T., M.T.  
Anggota II



Tanggal : 22/12/2022



Tanggal : 23/12/2022



Tanggal : 27/12/2022

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Mesin



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

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

Kedua orangtua saya Papa Pontjo Prasetya dan Mama (almh) Nurhayati yang sudah membantu dan menasihati dengan segala cara serta doa yang tulus agar penulisan tugas akhir ini dapat selesai.

Bunda Fatma yang menggantikan sosok ibu, yang juga membantu memberikan nasihat, semangat serta doa yang tiada henti. Mengembalikan semangat hidup penulis agar penulisan tugas akhir ini selesai.

Kakak Nabhan dan adik Tiara yang menjadi penghibur serta penyemangat penulis.

## HALAMAN MOTTO

“Hidup adalah sepuluh persen dari apa yang terjadi padamu dan sembilan puluh persennya adalah bagaimana kamu menanggapi.” Lou Holtz

“Hidup ini bukan tentang seberapa cepat kamu berlari atau seberapa tinggi kamu mendaki, tetapi seberapa baik kamu melambung.” Vivian Komori



## KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kita rahmat dan hidayat-Nya sehingga penulis masih diberikan kesempatan untuk menulis dan menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.

Shalawat serta salam tak lupa selalu tercurahkan kepada nabi besar kita Rasulullah Muhammad SAW, yang telah membawa Islam dari jaman Jahiliyah menuju jaman Islam yang damai seperti saat ini.

Penyusunan dan penelitian tugas akhir yang berjudul “Pembuatan Cetakan Menggunakan Teknologi 3D *Printing* untuk Memproduksi Helm Sepeda Lipat Komposit Karbon Fiber dengan Metode *Vacuum Infusion*” tentu dapat terselesaikan karena adanya bantuan dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Risdiyono, S.T., M.Eng., IPM selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberi dukungan akademis maupun motivasi kepada penulis demi kelancaran masa perkuliahan penulis.
3. Dosen pembimbing tugas akhir Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP yang banyak memberikan saran serta masukan demi kelancaran penyusunan tugas akhir ini.
4. Civitas akademika pada program studi Teknik Mesin.
5. Keluarga terutama Bapak Pontjo Prasetya dan Ibu (almh) Nurhayati yang telah mendidik dan memberikan motivasi untuk membangkitkan semangat penulis.
6. Rekan-rekan S1 Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Angkatan 2018/2019.
7. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung serta memberikan fasilitas kepada penulis yang tidak bisa disebut namanya satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membantu penulis untuk bisa menyempurnakan di penelitian

selanjutnya. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan informasi dan topik pembahasan dalam skripsi ini.

Yogyakarta, 15 Desember 2022



Melliga Resyafa Akbar



## ABSTRAK

*Pembuatan helm sepeda pada umumnya menggunakan cetakan berbahan alumunium yang relatif mahal dan sulit didapat. Helm tersebut diproduksi menggunakan metode injection mold yaitu dengan menginjeksi termoplastik ke dalam cetakan tertutup yang terdiri dari core dan cavity. Inovasi pada perancangan kali ini adalah membuat helm sepeda lipat dengan bahan serat karbon menggunakan cetakan yang terbuat dari 3D print. Cetakan dibuat menggunakan mesin 3D print dengan filamen Polylactic Acid (PLA). Penelitian ini bertujuan untuk membuat cetakan helm sepeda lipat dengan memanfaatkan teknologi 3D print yang dapat digunakan untuk memproduksi secara berulang dan membuat helm sepeda lipat menggunakan cetakan 3D print. Helm sepeda lipat dibuat dengan bahan karbon fiber dengan metode vacuum infusion. Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan, telah berhasil dibuat sebuah helm sepeda lipat karbon fiber yang memiliki tampilan lebih menarik dan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan helm yang sudah tersedia di pasaran. Selain itu, cetakan helm sepeda lipat dapat digunakan sebanyak 3 kali untuk memproduksi helm sepeda lipat dan tidak mengalami perubahan.*

*Kata Kunci: Helm Sepeda Lipat, Cetakan 3D Print, Komposit Karbon Fiber*



## **ABSTRACT**

*The manufacture of bicycle helmets generally uses aluminum molds which are relatively expensive and difficult to obtain. The helmet is produced using the injection mold method, namely by injecting thermoplastic into a closed mold consisting of a core and cavity. The innovation in this design is to make folding bicycle helmets with carbon fiber materials using molds made from 3D prints. Molds are made using a 3D printing machine with Polylactic Acid (PLA) filaments. This study aims to make folding bicycle helmet molds by utilizing 3D printing technology which can be used to produce repeatedly and make folding bicycle helmets using 3D printed mold. Folding bicycle helmets are made of carbon fiber using the vacuum infusion method. Based on the design that has been done, a carbon fiber folding bicycle helmet has been successfully made which has a more attractive appearance and is lighter in weight compared to helmets that are already available in the market. In addition, folding bicycle helmet molds can be used 3 times to produce folding bicycle helmets and remain unchanged.*

*Keywords: Folding Bicycle Helmet, 3D Printed Mold, Carbon Fiber Composite*



## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Motto.....	v
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar.....	xiii
Bab 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
Bab 2 Tinjauan Pustaka.....	7
2.1 Kajian Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori.....	9
2.2.1 Komposit.....	9
2.2.2 Serat Karbon.....	10
2.2.3 Resin.....	10
2.2.4 <i>3D Print</i> .....	11
2.2.5 Filamen <i>Polylactic Acid (PLA)</i> .....	11
2.2.6 <i>Vacuum Infusion</i> .....	12
Bab 3 Metode Penelitian.....	13
3.1 Alur Penelitian.....	13
3.2 Alat dan Bahan.....	14
3.2.1 Alat.....	15
3.2.2 Bahan.....	16
3.3 Kriteria Perancangan.....	17
3.4 Metode Pembuatan Cetakan.....	17
3.5 Metode Pembuatan Helm.....	18

3.6	Metode Pengujian Helm .....	18
3.7	Target Responden .....	19
Bab 4	Hasil dan Pembahasan .....	20
4.1	Pembuatan Cetakan.....	20
4.1.1	Hasil Pembuatan Sketsa Helm.....	20
4.1.2	Hasil Pembuatan Desain Helm .....	21
4.1.3	Hasil Penentuan Desain Helm .....	22
4.1.4	Hasil Pembuatan Desain Cetakan.....	22
4.1.5	Hasil Pembuatan Cetakan Helm .....	25
4.1.6	Proses <i>Finishing</i> Cetakan Helm .....	27
4.2	Pembuatan Helm.....	27
4.2.1	Proses <i>Vacuum Infusion</i> .....	27
4.2.2	<i>Finishing</i> Produk .....	31
4.2.3	Proses <i>Assembly</i> .....	33
4.3	Hasil Pembuatan Helm .....	33
4.3.1	Percobaan Pembuatan Helm Pertama.....	34
4.3.2	Percobaan Pembuatan Helm Kedua .....	35
4.3.3	Percobaan Pembuatan Helm Ketiga .....	36
4.4	Hasil Pengujian Helm .....	37
4.4.1	Pengujian Perbandingan Dimensi Cetakan .....	37
4.4.2	Pengujian Berat Helm.....	38
4.4.3	Pengujian Helm .....	39
4.4.4	Biaya Pembuatan Helm dan Cetakan .....	43
Bab 5	Penutup .....	44
5.1	Kesimpulan .....	44
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Alat.....	15
Tabel 3-2 Bahan.....	16
Tabel 4-1 Perbandingan karakteristik helm.....	39
Tabel 4-2 Biaya pembuatan cetakan.....	43
Tabel 4-3 Biaya pembuatan 1 buah helm.....	43



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Tren pencarian sepeda di Indonesia .....	1
Gambar 1-2 Tren pencarian model sepeda di Indonesia .....	2
Gambar 1-3 a) Metode <i>plastic injection mold</i> ; b) Metode <i>vacuum forming</i> .....	3
Gambar 1-4 3D <i>print injection mold</i> .....	4
Gambar 2-1 Pembuatan cetakan helm secara manual .....	7
Gambar 2-2 Komposit .....	9
Gambar 2-3 Serat karbon.....	10
Gambar 2-4 Epoxy resin dan hardener .....	10
Gambar 2-5 Mesin 3D <i>Print</i> .....	11
Gambar 2-6 Filamen PLA+ .....	11
Gambar 2-7 Ilustrasi proses <i>vacuum infusion</i> .....	12
Gambar 3-1 Alur penelitian.....	14
Gambar 3-2 Spesifikasi mesin 3D <i>print</i> .....	18
Gambar 3-3 a) Kuesioner penentuan desain; (b) Kuesioner uji kenyamanan helm .....	19
Gambar 4-1 Sketsa desain a) helm A; b) helm B; c) helm C .....	20
Gambar 4-2 a) Desain helm A; b) Desain helm B; c) Desain helm C.....	21
Gambar 4-3 Hasil kuesioner a) desain yang menarik; b) fitur yang menarik.....	22
Gambar 4-4 Pengaturan <i>extrude</i> .....	22
Gambar 4-5 Menu <i>combine</i> .....	23
Gambar 4-6 Pembuatan <i>open mold</i> .....	23
Gambar 4-7 Desain a) cetakan helm; b) cetakan bagian 1a-1b; c) cetakan bagian 2a-2b; d) Sambungan <i>puzzle</i> .....	24
Gambar 4-8 Kerusakan cetakan bahan ABS a) <i>crack</i> ; b) <i>warping</i> .....	25
Gambar 4-9 a) Lekukan pada cetakan; b) Parameter <i>print</i> pertama PLA .....	26
Gambar 4-10 Hasil <i>print</i> a) Cetakan bagian 1a-1b; b) Cetakan utuh .....	26
Gambar 4-11 a) Tekstur permukaan hasil 3D <i>print</i> ; b) Pengolesan resin pada permukaan cetakan; c) Penghalusan permukaan cetakan.....	27
Gambar 4-12 Proses <i>vacuum infusion</i> .....	28
Gambar 4-13 a) Spesifikasi pompa vakum; b) Pengukur tekanan tabung vakum	29

Gambar 4-14 a) Sambungan T selang spiral; b) Ilustrasi penempatan selang.....	29
Gambar 4-15 a) Penyambungan selang spiral; b) Ilustrasi penempatan selang ...	30
Gambar 4-16 a) Penggunaan skrap; b) Melepas produk dari cetakan.....	30
Gambar 4-17 Hasil proses <i>vacuum infusion</i> a) pertama; b) kedua; c) ketiga .....	31
Gambar 4-18 a) Produk hasil <i>vacuum infusion</i> ; b) Produk setelah pemotongan..	31
Gambar 4-19 Pengolesan resin pada permukaan produk .....	32
Gambar 4-20 Penyemprotan <i>clear gloss</i> pada permukaan produk.....	32
Gambar 4-21 a) Penghalusan hasil cat; b) Pemolesan <i>compound</i> ; c) Pemolesan <i>wax</i> .....	33
Gambar 4-22 a) Pemasangan busa ati dan tali pengencang; b) Pemasangan busa EPS; c) Helm setelah proses <i>assembly</i> .....	33
Gambar 4-23 Hasil produk pengujian pertama.....	34
Gambar 4-24 Hasil produk pengujian kedua.....	35
Gambar 4-25 a) Keran bensin; b) Keran <i>vacuum infusion</i> .....	35
Gambar 4-26 a) Cetakan sebelum di dempul; b) Cetakan setelah di dempul.....	36
Gambar 4-27 Hasil produk pengujian ketiga.....	37
Gambar 4-28 Pengukuran cetakan setelah 3 kali digunakan.....	38
Gambar 4-29 Rongga pada sambungan cetakan.....	38
Gambar 4-30 a) Bobot helm sepeda lipat pasaran; b) Bobot helm sepeda lipat komposit .....	39
Gambar 4-31 Pengujian helm sepeda lipat kepada responden .....	40
Gambar 4-32 Hasil kuesioner proses pembuatan helm .....	40
Gambar 4-33 Hasil kuesioner kesan proses pembuatan .....	41
Gambar 4-34 Hasil kuesioner desain fisik helm.....	41
Gambar 4-35 Hasil kuesioner kenyamanan helm.....	42
Gambar 4-36 Hasil kuesioner minat membeli helm.....	42

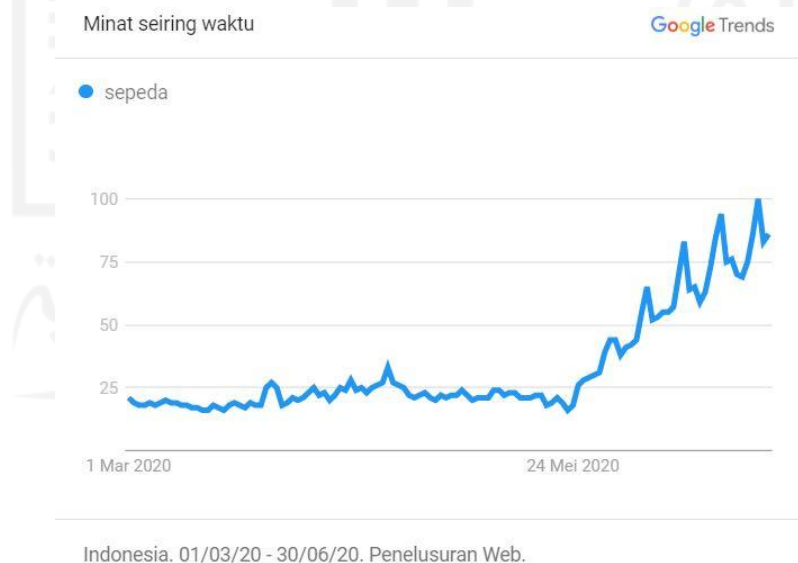
# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bersepeda menjadi sebuah tren baru di masa pandemi COVID-19. Hal ini disebabkan karena diberlakukannya pembatasan pada tempat umum seperti pusat perbelanjaan, tempat wisata hingga transportasi umum. Bersepeda menjadi pilihan masyarakat karena dapat menggantikan sarana transportasi sekaligus hiburan dan berolahraga untuk menjaga kesehatan. Hal tersebut menjadikan penjualan sepeda melonjak tinggi pada saat pandemi COVID-19.

Selain itu, Sekretaris Jenderal Asosiasi Pengusaha Sepeda Indonesia (Apsindo) menyebutkan, pada saat pandemi, permintaan sepeda melonjak tiga sampai empat kali lipat dibandingkan sebelumnya. Hal tersebut diperkuat dengan data yang didapat menggunakan Google Trends untuk melihat *search interest* di Indonesia dengan *keywords* Sepeda dengan rentang waktu 1 Maret hingga 30 Juni 2020. Dapat dilihat pada Gambar 1-1 bahwa tren sepeda mulai meningkat pada bulan Juni 2020.



Gambar 1-1 Tren pencarian sepeda di Indonesia

Model sepeda lipat menjadi pilihan banyak orang karena bentuknya yang kecil dan ringkas sehingga tidak membutuhkan ruang yang besar untuk menaruhnya. Analisis dilakukan menggunakan Google Trends dengan membandingkan setiap model sepeda dengan *keywords* Sepeda Lipat, Sepeda Gunung, Sepeda Anak dan *Roadbike* dengan rentang waktu 1 Maret hingga 30 Juni 2020. Gambar 1-2 menunjukkan data dari *search interest* untuk sepeda lipat meningkat hingga 900% sejak 1 Maret hingga 30 Juni 2020.



Indonesia. 01/03/20 - 30/06/20. Penelusuran Web.

Gambar 1-2 Tren pencarian model sepeda di Indonesia

Dapat diketahui bahwa tren pencarian sepeda lipat paling banyak dicari di Indonesia disusul dengan sepeda gunung kemudian sepeda anak dan yang terakhir adalah *roadbike*. Lonjakan tren pencarian sepeda lipat dimulai pada 1 Juni 2020 dan mencapai di angka tertinggi pada 21 Juni 2020.

Penggunaan sepeda tidak terlepas dari beberapa aksesoris dan perlengkapan keselamatan seperti pelindung lutut, pelindung siku dan juga helm. Terdapat beberapa cara dalam pembuatan helm sepeda seperti *plastic injection mold*, *vacuum forming* dan *compression mold*. Helm sepeda lipat pada umumnya dibuat menggunakan metode *plastic injection mold* seperti pada Gambar 1-3a, yaitu proses pembuatan produk dengan menginjeksi bahan cair ke dalam cetakan. Bahan yang paling banyak digunakan pada metode ini adalah polimer termoplastik. Sedangkan metode *vacuum forming* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1-3b



adalah proses pembuatan produk dimana lembaran thermoplastik dipanaskan dan dideformasi menjadi bentuk yang diinginkan sesuai dengan bentuk cetakan. Investasi yang diperlukan untuk memiliki alat tersebut tidaklah murah, pada *website* Alibaba.com sebuah cetakan *plastic injection mold* dijual dengan harga US\$3.000 atau setara dengan Rp46.788.000.



(a)

(b)

Gambar 1-3 a) Metode *plastic injection mold*; b) Metode *vacuum forming*

Karena harga cetakan yang mahal diperlukan solusi untuk membuat cetakan helm sepeda dengan biaya yang relatif murah yaitu dengan memanfaatkan teknologi *3D print*. Teknologi *3D print* sudah banyak digunakan untuk menciptakan berbagai macam benda seperti mainan, *action figure*, *frame* senjata api, hingga cetakan (*mold*) untuk membuat suatu produk. Manfaat yang didapat dalam pembuatan cetakan menggunakan *3D print* adalah harganya yang murah dibandingkan dengan cetakan berbahan baja dan memiliki tingkat kompleksitas yang hampir sama. Akan tetapi kelemahannya adalah geometri dari cetakan dapat berubah setelah beberapa kali penggunaan. Inovasi pembuatan helm sepeda lipat menggunakan cetakan *3D print* masih belum banyak dilakukan.

Penggunaan *3D print* dalam membuat cetakan memiliki potensi yang cukup baik. Mesin *3D print* memastikan bahwa produk yang dihasilkan dapat menjadikan konsisten jika sudah terkalibrasi dengan benar. Penggunaan *3D print* sebagai cetakan sudah mulai diaplikasikan untuk *cast mold* dan *injection mold*. Gambar 1-4 menunjukkan *plastic injection mold* yang dibuat menggunakan *3D print* untuk membuat mainan.



Gambar 1-4 3D *print injection mold*

Berdasarkan pada uraian yang telah disampaikan maka penelitian tentang pembuatan cetakan menggunakan mesin 3D *print* dapat dilakukan untuk memangkas biaya produksi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat diambil suatu rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana proses pembuatan cetakan helm sepeda lipat menggunakan 3D *Print*?
2. Bagaimana cara membuat helm sepeda lipat menggunakan cetakan 3D *print*?
3. Berapa jumlah lapisan serat karbon yang sesuai untuk membuat helm sepeda lipat karbon fiber?

## 1.3 Batasan Masalah

Pembatasan suatu masalah diperlukan agar tidak menyimpang ataupun melebar dari pokok masalah sehingga penelitian lebih terarah dan terfokus pada tujuan penelitian. Hal-hal yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan cetakan menggunakan mesin 3D *print* dengan filamen PLA.
2. Material komposit yang digunakan adalah karbon fiber.
3. Resin yang digunakan untuk *vacuum infusion* adalah resin epoxy *Bisphenol-A* dan *hardener* dengan perbandingan 2:1.

4. Pola *infill* yang digunakan adalah *line* dengan density sebesar 20%.
5. Resin yang digunakan untuk penghalusan *molding* adalah resin epoxy.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat cetakan helm sepeda lipat dengan memanfaatkan teknologi 3D *print* dengan sambungan *puzzle* menggunakan filamen PLA yang dapat digunakan secara berulang (minimal tiga kali) dan tidak mengalami perubahan.
2. Membuat helm sepeda lipat berbahan karbon fiber menggunakan cetakan 3D *print* dengan metode *vacuum infusion* serta mengetahui hal-hal penting dalam proses tersebut.
3. Membuat helm sepeda lipat karbon fiber memiliki tampilan lebih menarik dan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan helm yang tersedia di pasaran.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses pembuatan cetakan helm sepeda lipat dengan memanfaatkan teknologi 3D *print* dengan sambungan *puzzle* menggunakan filamen PLA yang dapat digunakan secara berulang (minimal tiga kali) dan tidak mengalami perubahan.
2. Mengetahui proses pembuatan helm sepeda lipat berbahan karbon fiber menggunakan cetakan 3D *print* dengan metode *vacuum infusion* serta mengetahui hal-hal penting dalam proses tersebut.
3. Mampu membuat helm sepeda lipat yang memiliki tampilan lebih menarik dan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan helm yang tersedia di pasaran.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan sistematika pada laporan tugas akhir ini dimaksudkan untuk mempermudah dalam pembahasan tugas akhir ini. Setiap bab pada laporan ini dijabarkan secara umum sehingga dapat mengetahui gambaran masing-masing bab secara berurutan. Sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini dijabarkan sebagai berikut.

## **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang permasalahan, perumusan masalah, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi landasan teori yang digunakan sebagai pendukung dalam pembuatan dan perancangan helm sepeda lipat berbahan karbon fiber.

## **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan bagaimana tahapan dan proses penelitian dari awal hingga akhir.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi hasil perancangan, analisis produk dan pembahasan.

## **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari seluruh proses perancangan dan penelitian.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Pembuatan cetakan helm sepeda lipat pada umumnya menggunakan proses CNC dengan material baja. Cetakan tersebut memiliki harga yang relatif mahal karena bahan yang digunakan serta proses pembuatannya. Hal tersebut membutuhkan investasi yang cukup tinggi untuk membuat sebuah helm sepeda. Sehingga diperlukan alternatif untuk membuat cetakan helm sepeda. Cetakan helm sepeda dapat dibuat secara manual seperti penelitian yang dilakukan oleh Wicaksono (2019). Dalam penelitian tersebut cetakan dibuat secara manual menggunakan tanah liat dan gypsum seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-1. Cetakan tersebut mampu memproduksi sebuah helm sepeda. Akan tetapi produk yang dihasilkan tidak rata dan terdapat pori-pori pada permukaan.



Gambar 2-1 Pembuatan cetakan helm secara manual

Selain proses diatas, pembuatan cetakan helm sepeda juga dapat dilakukan menggunakan teknologi *3D print*. *3D print* dimanfaatkan untuk membuat cetakan karena memiliki hasil cetak yang baik dan juga efektif. Hal ini didukung pada penelitian Kim et al. (2019) yang memproduksi 6 *valve cover* dari cetakan komposit *3D print*. Akan tetapi, cetakan tersebut mengalami perubahan pada geometrinya sehingga dapat mempengaruhi hasil produk. Dalam penelitian ini solusi yang dapat dilakukan adalah dengan merubah desain dan teknik fabrikasi cetakan, memberi perlakuan panas pada cetakan atau dengan melapisi permukaannya. Dengan menggunakan *3D print* sebagai pembuatan cetakan helm

sepeda lipat, maka diperlukan referensi terkait metode pembuatan helm sepeda lipat komposit.

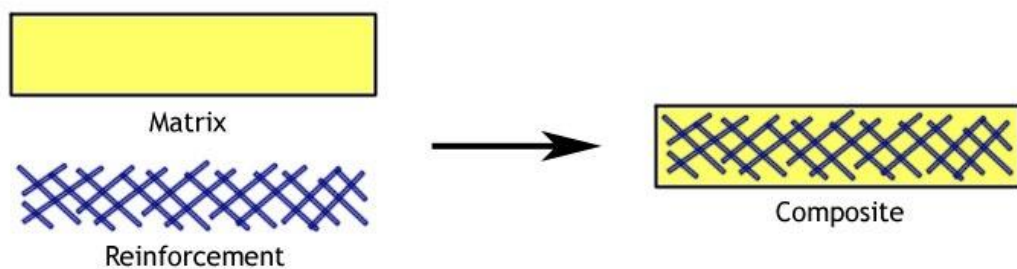
Penelitian sebelumnya menggunakan metode *hand lay-up* untuk membuat helm sepeda lipat. Hasil yang didapat adalah permukaan produk tidak rata dan terdapat pori-pori pada permukaannya. Maka dari itu diperlukan peningkatan metode yaitu dengan metode *vacuum infusion*. Dalam penelitian oleh Abdurrohman & Marta (2016) dijelaskan bahwa pada proses *hand lay-up* resin kurang meresap secara sempurna ke dalam serat dan pemberian resin tidak dapat dikontrol sehingga mempengaruhi bobot produk komposit. Berbeda dengan *vacuum infusion* yang dapat mengalirkan serat kedalam lapisan serat secara merata dan juga pemberian resin dapat dikontrol.

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan, maka cetakan helm sepeda lipat dibuat menggunakan mesin 3D *print* dengan metode *vacuum infusion* sebagai metode pengerjaan komposit.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari dua atau lebih material yang sifat material pembentuknya berbeda-beda. Material pembentuk tersebut terdiri dari penyusun tubuh yang berfungsi memberi bentuk pada komposit dan penyusun struktural yang menentukan struktur internal dari komposit. Pada umumnya komposit tersusun atas dua bahan dasar yaitu serat dan matriks Schwartz, (1984).

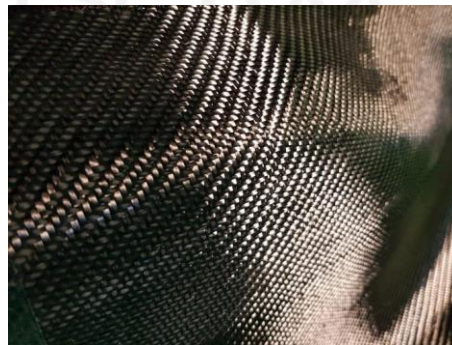


Gambar 2-2 Komposit  
(<https://artikel-teknologi.com/>)

Material komposit memiliki keunggulan yaitu proses pembuatannya dapat diarahkan dengan mudah untuk mendapatkan *mechanical properties* yang diinginkan, sifat ekspansi termal yang rendah dan dimensi stabilitas yang tinggi. Pembuatan komposit bertujuan untuk memperbaiki sifat mekaniknya.

### 2.2.2 Serat Karbon

Serat karbon beredar di pasaran pada tahun 1960. Serat karbon terbuat dari polimer organik, sekitar 90% dari bahan dasar *polyacrylonitrile* (PAN) sedangkan 10% sisanya diproduksi dari minyak bumi. Serat karbon adalah serat penguat paling kaku dan kuat. Matriks untuk serat karbon biasanya menggunakan resin polimer. Serat karbon sangat mahal dan dapat memberikan korosi galvanik saat kontak dengan logam (Lukkassen & Meidell, 2007).



Gambar 2-3 Serat karbon

### 2.2.3 Resin

Resin merupakan sebuah material yang terbuat dari bahan alami dan juga senyawa kimia. Secara fisik, resin biasanya kental, bening dan dapat meleleh jika dipanaskan (Frial-McBride, 2016). Perancangan helm sepeda lipat karbon fiber menggunakan resin epoxy sebagai matriksnya. Resin ini digunakan karena memiliki tingkat kejernihan yang sangat baik dan memiliki kualitas terbaik dibandingkan dengan jenis resin lainnya. Resin ini memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap panas dan kimia dan juga memiliki sifat adhesi yang baik.

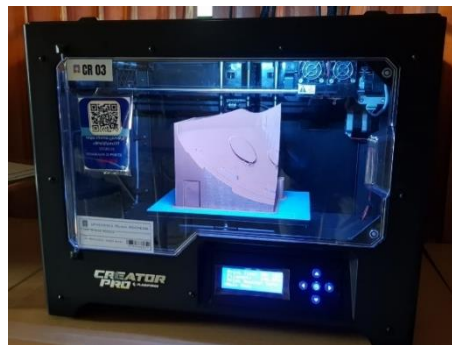


Gambar 2-4 Epoxy resin dan hardener



### 2.2.4 3D Print

Teknologi 3D *print* atau yang bisa disebut *Additive Layer Manufacturing* merupakan proses pembuatan objek 3 dimensi dengan menambah lapisan demi lapisan dari bahan tertentu. Metode ini juga sering disebut dengan *rapid prototyping* karena teknologi 3D *print* memungkinkan objek dicetak dengan cepat selama tahap pembuatan *prototype* Andriyansyah et al., (2021)



Gambar 2-5 Mesin 3D Print

### 2.2.5 Filamen *Polylactic Acid* (PLA)

*Polylactic acid* merupakan salah satu jenis plastik polimer yang terbuat dari bahan-bahan yang dapat terurai, seperti tepung jagung, tepung tapioka, atau olahan tebu. Filamen PLA memiliki banyak keunggulan karena penggunaannya yang mudah, daya rekat yang baik antar layer dan memiliki kekuatan tarik yang sedikit lebih baik daripada ABS (*Acetonitrile Butadiene Styrene*). Hal ini membuat filamen PLA populer digunakan.

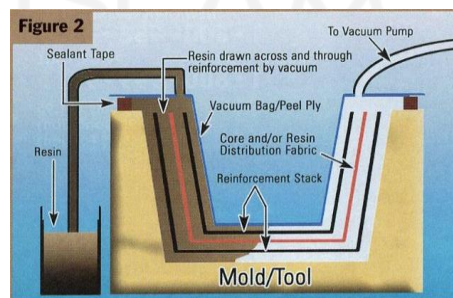


Gambar 2-6 Filamen PLA+

([www.esun3d.com](http://www.esun3d.com))

### 2.2.6 Vacuum Infusion

*Vacuum infusion* adalah salah satu metode pembuatan komposit modern yang dapat menggantikan metode *hand lay-up*, penggunaan metode *vacuum infusion* dapat meminimalisir kemungkinan udara yang terperangkap pada komposit itu sendiri. Metode ini dapat digunakan untuk membuat produk secara berulang-ulang dengan kualitas hasil yang lebih baik daripada metode *hand lay-up* Mohd Yuhazri et al., (2011).



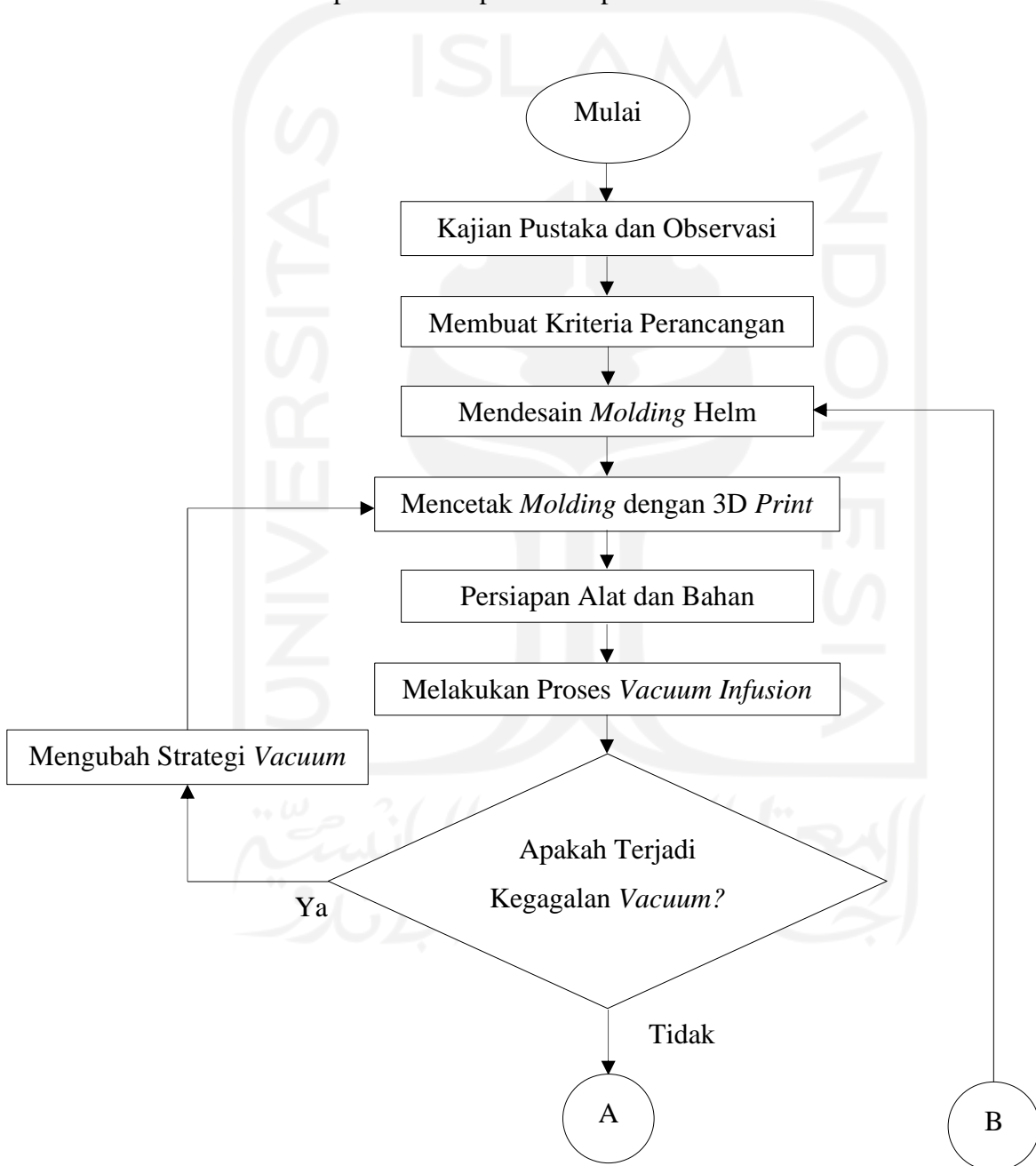
Gambar 2-7 Ilustrasi proses *vacuum infusion*

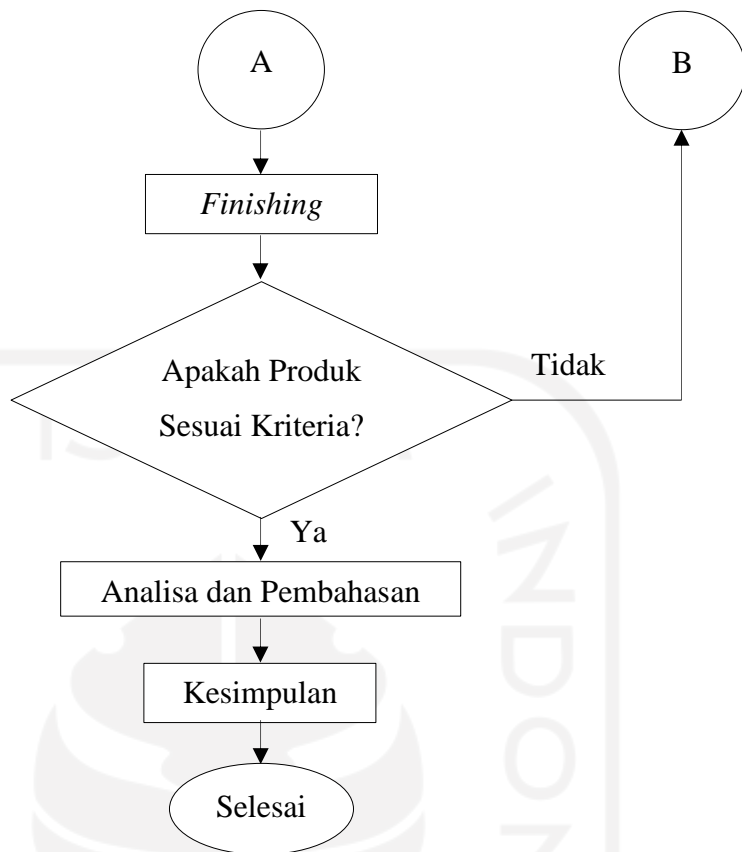
*Vacuum Infusion* menggunakan tekanan diferensial antara sistem cetakan tertutup sebagai kekuatan pendorong. Terdapat 2 saluran pada proses *vacuum infusion* yaitu saluran masuk (*inlet*) sebagai jalur masuknya resin dan saluran keluar (*outlet*) sebagai jalan keluarnya resin. Penggunaan *mold release wax* diwajibkan agar produk dapat dilepas dari cetakan.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian

Proses penelitian berjalan sesuai dengan alur penelitian yang sudah ditentukan. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:





Gambar 3-1 Alur penelitian

### 3.2 Alat dan Bahan

Dalam pembuatan helm sepeda lipat berbahan karbon fiber diperlukan beberapa alat dan bahan. Pada Tabel 3-1 adalah alat yang digunakan pada perancangan ini dan Tabel 3-2 adalah bahan yang diperlukan dalam perancangan ini:

### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian dan perancangan ini dapat dilihat pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Alat

No	Alat	Fungsi
1	Laptop	Perangkat untuk melakukan tahap desain dan <i>slicer</i> aplikasi 3D <i>Print</i> .
2	Solidworks 2018	Aplikasi untuk membuat desain helm dan cetakan.
3	Flashprint	Aplikasi <i>slicer</i> untuk proses 3D <i>print</i> .
4	Mesin 3D <i>Print</i>	Mesin untuk membuat cetakan helm sepeda lipat.
5	Pompa vakum	Alat untuk menarik udara dalam proses vakum.
6	Tabung reservoir	Alat untuk menyimpan resin sisa proses vakum agar resin tidak masuk ke pompa vakum.
7	Gelas plastik	Media untuk menaruh resin dan hardener.
8	Stik es krim	Alat untuk mengaduk campuran resin dan hardener
9	Timbangan digital	Alat untuk mengukur berat campuran resin dan hardener dan sebagai pengukur berat helm.
10	Gerinda	Alat untuk memotong sisa hasil dari proses <i>vacuum infusion</i> .
11	<i>Mini grinder</i>	Alat untuk membuat motif pada helm sepeda lipat karbon fiber.
12	Amplas grit 240, 800 & 1000	Alat untuk menghaluskan permukaan cetakan dan permukaan produk.
13	Skrap	Alat untuk memisahkan cetakan dan melepas produk dari cetakan.

### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian dan perancangan ini dapat dilihat pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Bahan

No	Bahan	Fungsi
1	Filamen PLA	Bahan pembuatan cetakan pada mesin 3D <i>print</i> .
2	<i>Mold release wax</i>	Pelapis pada cetakan agar produk mudah dilepas setelah proses <i>vacuum infusion</i> .
3	Serat karbon	Bahan utama pada pembuatan helm sepeda lipat.
4	Kain <i>peel ply</i>	Pelindung serat karbon pada proses <i>vacuum infusion</i> .
5	<i>Infusion mesh</i>	Media perambatan resin pada proses <i>vacuum infusion</i> .
6	Selang spiral	Jalur penyebaran resin pada proses <i>vacuum infusion</i> .
7	Selang 3/8"	Jalur masuk dan keluar resin saat proses <i>vacuum infusion</i> .
8	<i>Plastic vacuum bag</i>	Bahan utama untuk melakukan proses <i>vacuum infusion</i> .
9	Keran resin	Pengatur keluar dan masuknya angin saat proses <i>vacuum infusion</i> .
10	<i>Sealant tape</i>	Penutup <i>plastic vacuum bag</i> agar tidak ada udara yang masuk.
11	Epoxy resin dan hardener	Bahan perekat karbon fiber pada proses <i>vacuum infusion</i> .
12	Busa EPS	Pelindung bagian dalam helm agar helm nyaman saat digunakan.
13	<i>Chin strap</i>	Pengencang helm agar tidak mudah lepas saat helm digunakan.
14	Busa ati	Penahan busa EPS pada bagian dalam helm.
15	Dempul plastik	Penghalus motif yang terdapat pada cetakan.

### 3.3 Kriteria Perancangan

Kriteria perancangan merupakan target yang akan dicapai dalam perancangan ini. Kriteria perancangannya adalah sebagai berikut:

1. Cetakan dapat digunakan berulang kali (minimal tiga kali).
2. Bobot produk lebih ringan dibandingkan helm yang tersedia di pasaran.
3. Penyebaran resin merata dan permukaan produk halus.

### 3.4 Metode Pembuatan Cetakan

Pembuatan cetakan diawali dengan membuat konsep desain atau sketsa helm sepeda lipat. Sketsa digambar secara manual menggunakan tangan sebanyak 3 buah. Kemudian sketsa dikembangkan menjadi desain 3 dimensi menggunakan aplikasi Solidworks 2018. Hanya 1 desain helm yang akan direalisasikan menjadi sebuah produk. Penentuan desain dilakukan dengan penyebaran kuesioner, desain dengan jumlah persentase terbanyak adalah desain yang akan dipilih pada perancangan ini. Setelah menentukan desain, pembuatan desain cetakan dapat dilakukan. Cetakan didesain menggunakan aplikasi Solidworks 2018.

Untuk membuat cetakan menggunakan mesin 3D *print*, hasil desain dari cetakan harus dimasukkan kedalam aplikasi *slicer* dengan cara merubah format *file* desain cetakan menjadi .STL. Penentuan parameter *print* merupakan faktor yang penting dalam proses 3D *print*. Setelah parameter *print* telah ditentukan, maka proses pembuatan cetakan menggunakan mesin 3D *print* dapat dilakukan.

Mesin 3D *print* yang digunakan pada perancangan ini adalah Flashforge Creator Pro yang tersedia di Laboratorium Teknik Mesin UII. Spesifikasi mesin 3D *print* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3-2. Dapat diketahui bahwa ukuran *bed* mesin 3D *print* adalah 227 x 148 x 150 mm.

Specification	
Printing	Mechanical & Dimension
Extruder Quantity 2	Printer Dimension 526*360*403mm (20.7*14.2*15.9IN)
Nozzle Diameter 0.4mm	Screen LCD screen
Maximum Extruder Temperature 240°C (464°F)	Net Weight 14.8kg (32.63LBS)
Print Speed 30-100mm/s	Gross Weight 21.5kg (47.4LBS)
Maximum platform Temperature 120°C (248°F)	Spool External
Filament Compatibility PLA, TPU95A, ABS, PETG	Running Noise 50dB
Filament Diameter 1.75mm (0.069IN)	Working Environment 15-30°C (59-86°F)
Print Volume 227*148*150mm (8.9*5.8*5.9IN)	
Layer Thickness 0.1mm-0.4mm	
Print Precision ±0.2mm	

Gambar 3-2 Spesifikasi mesin 3D print

### 3.5 Metode Pembuatan Helm

Proses pengerjaan komposit yang dipilih adalah metode *vacuum infusion*. Metode ini dipilih karena memiliki banyak keunggulan dibandingkan metode *hand lay-up*. Beberapa keunggulan metode *vacuum infusion* yaitu resin dapat mengalir kedalam lapisan serat secara merata, pemberian resin dapat dikontrol dan tebal produk yang relatif tipis. Keunggulan tersebut membuat produk hasil *vacuum infusion* memiliki bobot yang ringan. Hal tersebut menjadikan metode *vacuum infusion* sebagai metode yang digunakan untuk membuat helm sepeda lipat komposit karbon fiber.

### 3.6 Metode Pengujian Helm

Produk dengan hasil terbaik dilakukan *finishing* dan *assembly*, setelah itu diuji dengan membandingkan bobotnya dengan helm sepeda yang sudah beredar di pasaran. Pengujian berikutnya dilakukan dengan mengenakan helm sepeda lipat komposit pada responden kemudian mengisi kuesioner untuk dinilai hasil perancangan tersebut. Kuesioner dilakukan menggunakan media daring Google Forms, akan tetapi penyebarannya dilakukan secara *offline* karena responden harus mengenakan helm sepeda lipat tersebut.



### 3.7 Target Responden

Data yang digunakan dalam perancangan ini adalah responden yang memiliki sepeda lipat, memiliki helm sepeda lipat dan merupakan pesepeda aktif. Pengisian kuesioner menggunakan *Google Form* secara daring dan luring. Gambar 3-3a menunjukkan kuesioner yang digunakan untuk menentukan desain yang diisi secara daring dan Gambar 3-3b menunjukkan kuesioner uji penggunaan helm yang diisi secara luring.

(a) Kuesioner penentuan desain

Apakah anda adalah pesepeda aktif dan memiliki sepeda lipat? \*

Ya  
 Tidak

Dari 3 desain helm sepeda tersebut, manakah yang paling menarik menurut anda?

Helm A  
 Helm B  
 Helm C

Dari ketiga helm tersebut, fitur helm mana yang menurut anda paling menarik?

Helm A  
 Helm B  
 Helm C

Jika helm tersebut diproduksi berdasarkan desain dan fitur yang ditawarkan, model manakah yang kemungkinan besar akan anda beli?

Helm A  
 Helm B  
 Helm C

(b) Kuesioner uji kenyamanan helm

Apakah anda menyukai desain dari helm yang kami buat? \*

1 2 3 4 5

Tidak Suka      Sangat Suka

Apakah helm yang dibuat sudah nyaman dipakai? \*

1 2 3 4 5

Tidak Nyaman      Sangat Nyaman

Apakah anda berminat untuk membeli helm yang kami buat? \*

1 2 3 4 5

Tidak Berminat      Sangat Berminat

Setelah penjelasan terkait proses pembuatan helm sepeda konvensional dan helm sepeda lipat karbon ini. Apakah anda terkesan terhadap prosesnya?

Iya  
 Tidak

Gambar 3-3 a) Kuesioner penentuan desain; (b) Kuesioner uji kenyamanan helm

## BAB 4

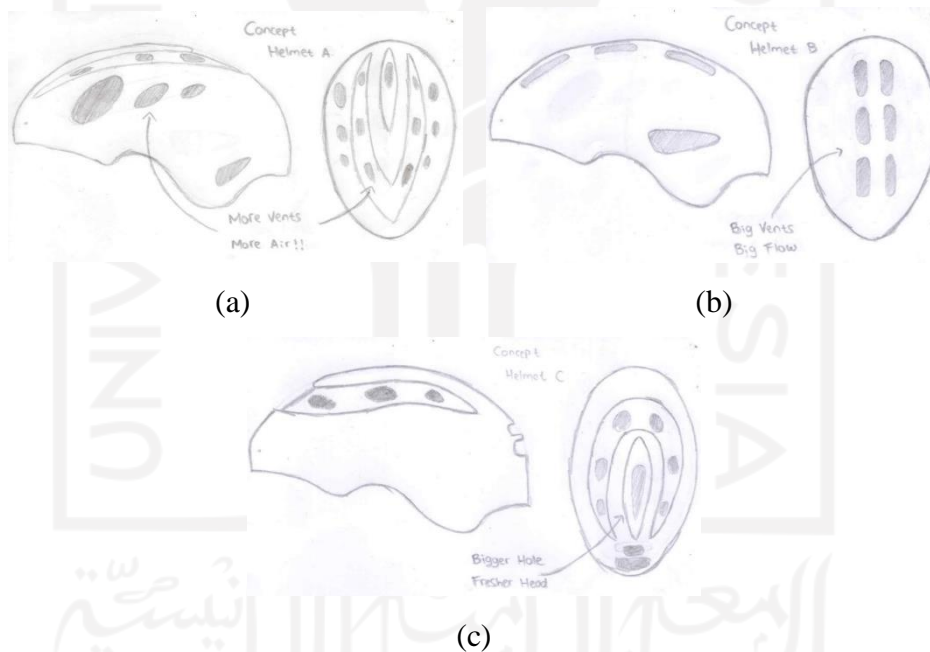
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembuatan Cetakan

Terdapat beberapa tahapan yang harus dilalui sebelum cetakan dibuat, yaitu membuat sketsa atau konsep desain, pembuatan dan penentuan desain helm dan pembuatan desain cetakan.

##### 4.1.1 Hasil Pembuatan Sketsa Helm

Pembuatan sketsa merupakan tahap awal dalam pembuatan cetakan helm. Terdapat 3 sketsa yang digambar secara manual menggunakan tangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-1.



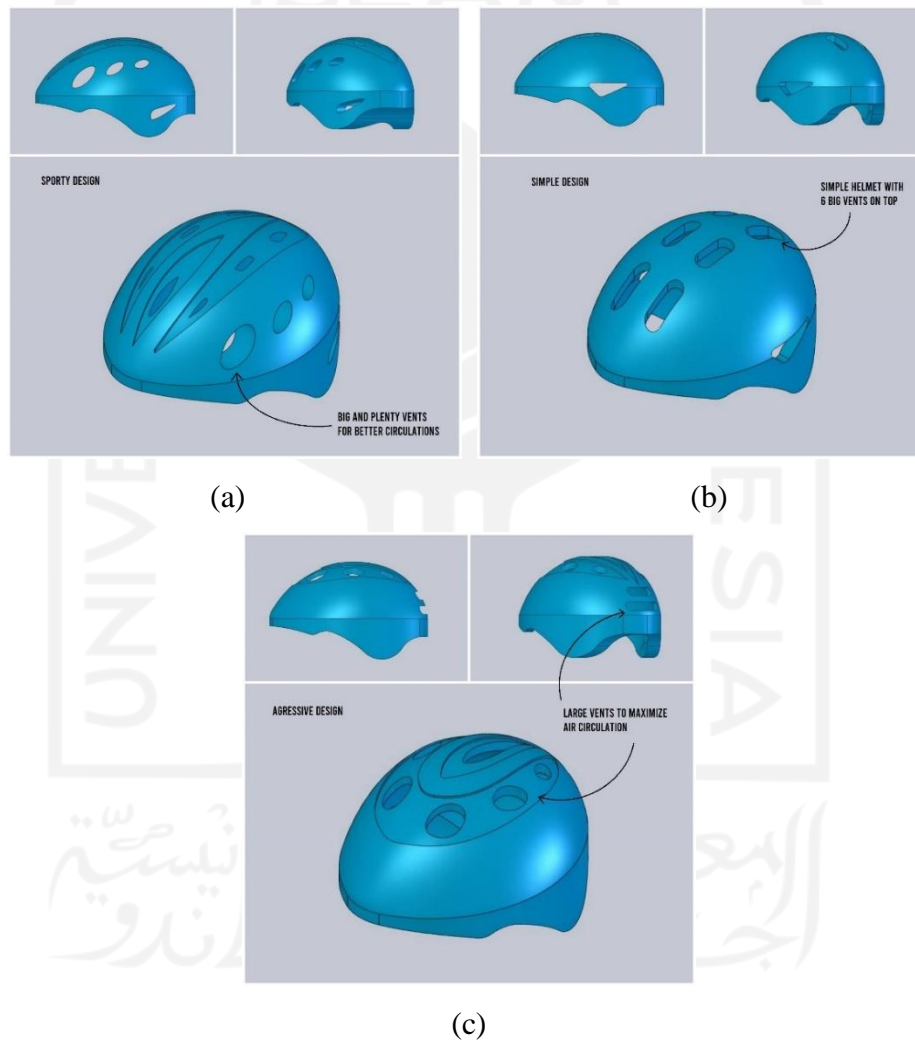
Gambar 4-1 Sketsa desain a) helm A; b) helm B; c) helm C

Pada sketsa helm A memiliki banyak lubang ventilasi dengan ukuran yang berbeda-beda untuk memasukkan banyak angin ke dalam helm. Pada sketsa helm B helm dibuat simpel dengan 6 lubang besar di bagian atas dan 1 lubang di sisi kanan dan kiri helm untuk mempermudah sirkulasi pada helm. Pada sketsa helm C terdapat motif seperti tetesan air atau *teardrop* pada bagian atas yang dilengkapi 7

lubang ventilasi dan 2 lubang ventilasi besar di bagian belakang. Tujuannya adalah agar udara masuk melalui bagian atas dan dikeluarkan melalui ventilasi belakang.

#### 4.1.2 Hasil Pembuatan Desain Helm

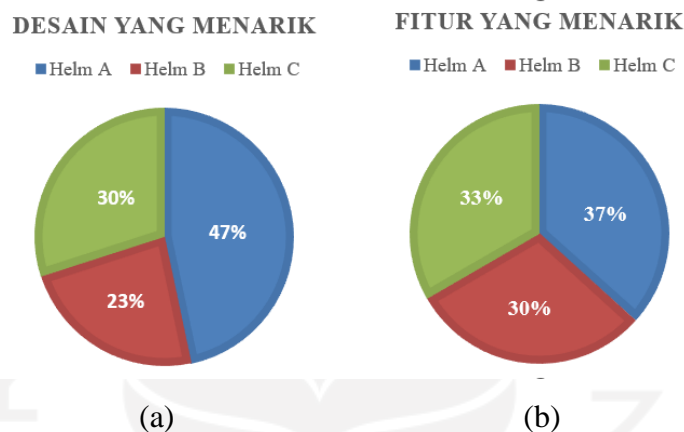
Hasil sketsa helm dikembangkan menjadi desain 3 dimensi. Desain dibuat menggunakan *software* Solidworks 2018. Gambar 4-2 menunjukkan desain dari ketiga sketsa yang telah dibuat sebelumnya. Dari 3 desain yang dibuat, hanya 1 desain yang akan dipilih untuk direalisasikan menjadi sebuah produk.



Gambar 4-2 a) Desain helm A; b) Desain helm B; c) Desain helm C

### 4.1.3 Hasil Penentuan Desain Helm

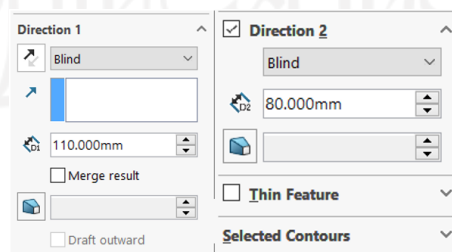
Berikut adalah hasil kuesioner yang telah disebarakan kepada responden terkait desain dan fitur helm yang dibuat. Dapat dilihat pada Gambar 4-3 a bahwa helm A memperoleh respon terbanyak untuk kategori yang menarik. Selain tampilannya yang menarik, helm ini juga mendapat respon tertinggi berdasarkan fitur yang ditawarkan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4-3 b. Sehingga, helm A akan diwujudkan dalam penelitian ini.



Gambar 4-3 Hasil kuesioner a) desain yang menarik; b) fitur yang menarik

### 4.1.4 Hasil Pembuatan Desain Cetakan

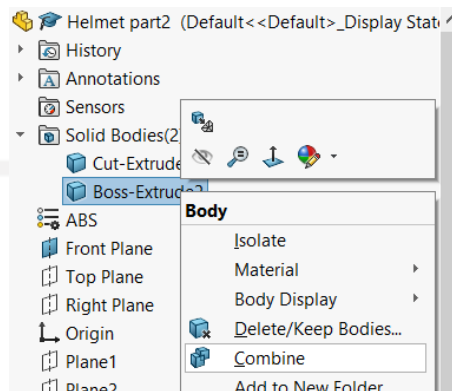
Desain cetakan dapat dibuat setelah desain sudah ditentukan. Pembuatan desain cetakan dilakukan dengan cara menggambar bentuk persegi panjang pada bagian tengah desain helm kemudian dilakukan *extrude through all* secara 2 arah. Kemudian lakukan pengaturan *extrude* sesuai dengan Gambar 4-4.



Gambar 4-4 Pengaturan *extrude*

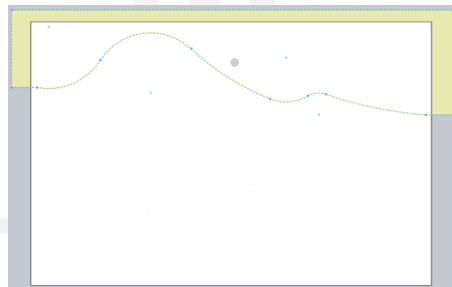
Setelah itu buka menu *combine* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-5 dan lakukan pengaturan pada kedua *solid bodies* dan kubus dengan cara memilih

2 *solid bodies* pada tab menu *solid bodies*, kemudian klik kanan dan pilih menu *combine*. Bagian yang dijadikan *main body* adalah *extrude* yang baru saja dilakukan. Selanjutnya klik OK.



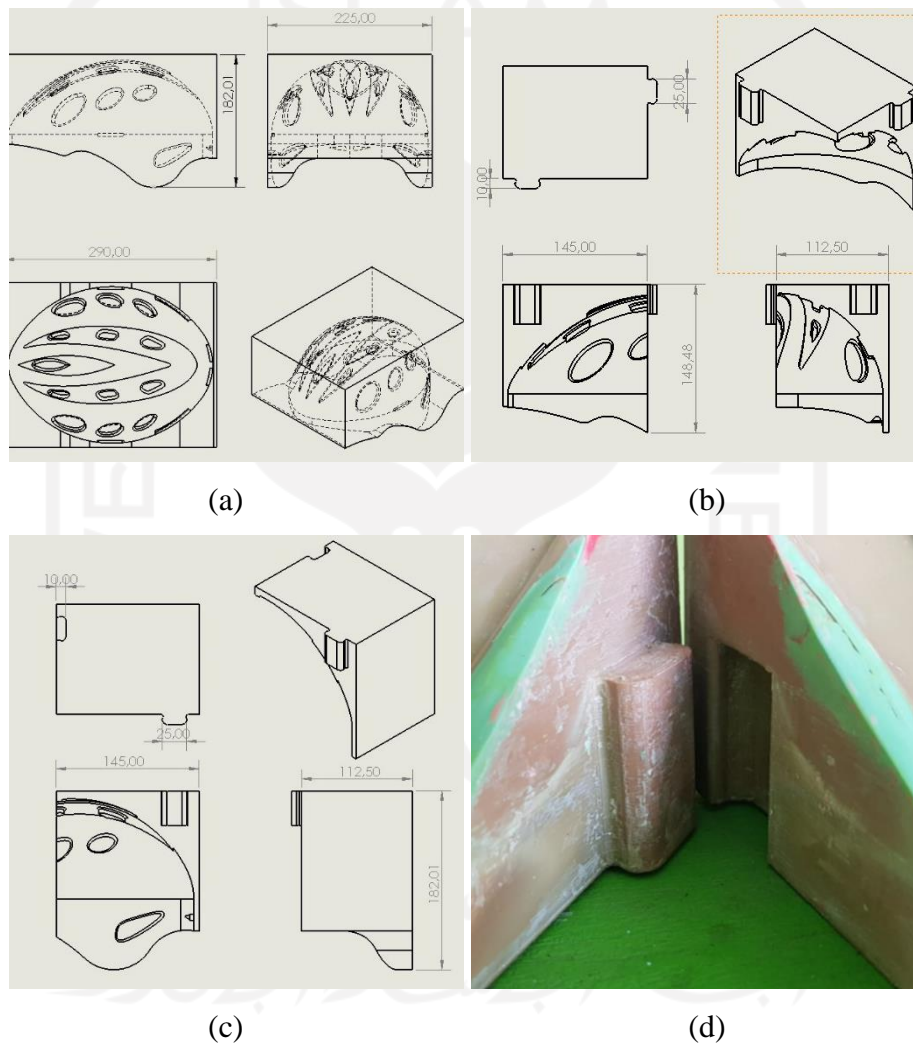
Gambar 4-5 Menu *combine*

Cetakan yang terbentuk masih belum bisa digunakan karena desain cetakan masih belum berupa *open mold*. Langkah yang dilakukan adalah gunakan *section view* untuk melihat bagian dalam cetakan. Pada perancangan ini *section view* yang digunakan adalah *front plane*. Kemudian gambar pola bagian bawah helm atau bagian atas cetakan seperti pada Gambar 4-6 dan lakukan *extrude cut* 2 arah.



Gambar 4-6 Pembuatan *open mold*

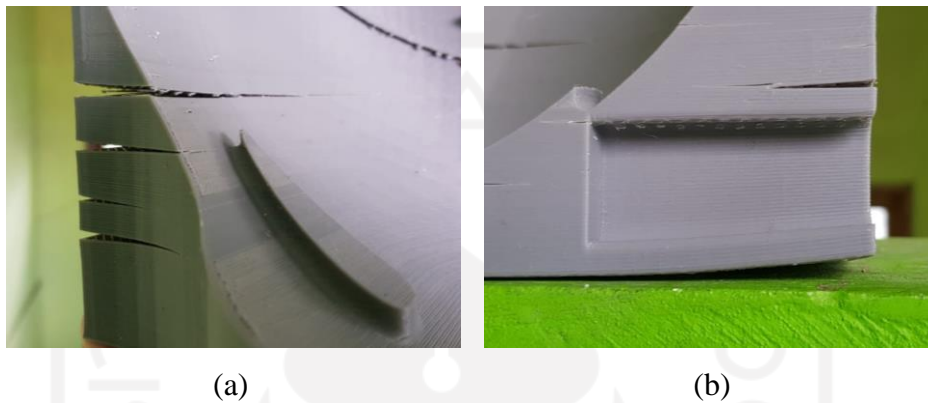
Dapat dilihat pada Gambar 4-7a dimensi cetakan helm adalah 290 x 225 x 182,01 mm. Karena keterbatasan ukuran *bed* pada mesin 3D *print* yang digunakan, maka cetakan dibagi menjadi 4 bagian yaitu 1a-1b dan 2a-2b. Gambar 4-7b dan Gambar 4-7c menunjukkan dimensi dari masing-masing bagian cetakan yaitu 145 x 112,50 x 148,48 mm dan 145 x 112,5 x 182,01 mm. Dapat dilihat pada gambar 4-7d sambungan pada setiap cetakan didesain seperti *puzzle* agar tidak mudah lepas saat proses *vacuum infusion*.



Gambar 4-7 Desain a) cetakan helm; b) cetakan bagian 1a-1b; c) cetakan bagian 2a-2b; d) Sambungan *puzzle*

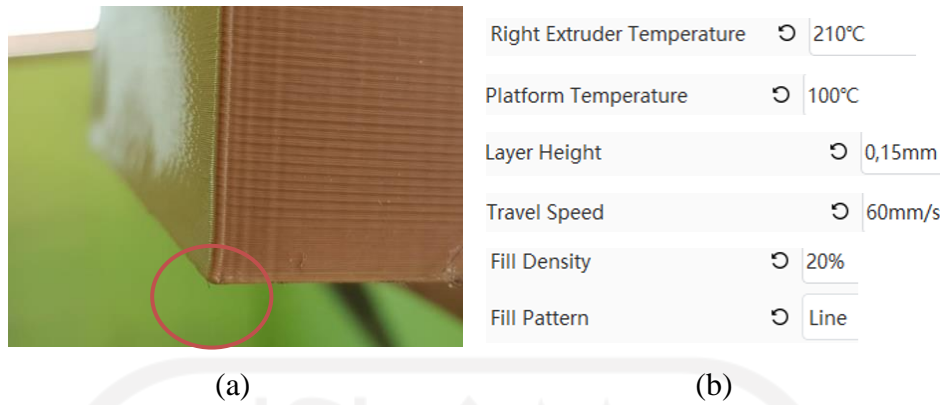
#### 4.1.5 Hasil Pembuatan Cetakan Helm

Perancangan ini pada awalnya menggunakan bahan ABS untuk membuat cetakan. Kesulitan penggunaan filamen ABS menyebabkan kendala pada hasil pembuatan pada cetakan, seperti terjadinya *crack* dan *warping* pada cetakan. Gambar 4-8 menunjukkan kendala yang terjadi pada cetakan berbahan ABS.



Gambar 4-8 Kerusakan cetakan bahan ABS a) *crack*; b) *warping*

Karena hasil *print* dengan filamen ABS mengalami kegagalan yang dapat menghambat proses perancangan, maka dilakukan perubahan bahan filamen, yaitu menggunakan PLA. Pada percobaan pertama filamen PLA hasil yang didapat cukup baik dan setiap lapisnya merekat dengan baik, tetapi suhu *bed* yang terlalu tinggi menyebabkan PLA meleleh sehingga terdapat lekukan pada bagian bawah cetakan. Gambar 4-9a menunjukkan bagian cetakan yang terdapat lekukan. Parameter *print* yang digunakan adalah *nozzle temperature* 210°C, *bed temperature* 100°C, *print speed* 60 mm/s, *infill pattern line* dengan *density* sebesar 20% dan *layer height* 0,15mm. Gambar 4-9b menunjukkan parameter *print* pada percobaan pertama.



Gambar 4-9 a) Lekukan pada cetakan; b) Parameter *print* pertama PLA

Kemudian dilakukan perubahan suhu pada *bed temperature* menjadi 60°C agar PLA tidak meleleh saat proses *printing* berlangsung. Waktu yang dibutuhkan untuk mencetak 1 bagian cetakan adalah  $\pm 22$  jam, artinya untuk membuat 1 cetakan utuh memakan waktu selama  $\pm 88$  jam. Gambar 4-10 menunjukkan hasil *print* cetakan bagian 1a-1b dan cetakan utuh.



Gambar 4-10 Hasil *print* a) Cetakan bagian 1a-1b; b) Cetakan utuh



#### 4.1.6 Proses *Finishing* Cetakan Helm

Dapat dilihat pada Gambar 4-11a hasil cetak mesin 3D *print* memiliki tekstur permukaan yang tidak rata, hal ini berdampak pada hasil akhir produk yang kurang baik. Maka dari itu dilakukan proses *finishing* pada cetakan helm, proses ini diawali dengan mengamplas permukaan cetakan menggunakan amplas grit 240. Gambar 4-11b menunjukkan pengolesan resin sebanyak 2 lapis untuk memberikan permukaan yang rata. Agar hasil produk maksimal, resin di amplas hingga halus menggunakan amplas grit 800 dan 1000 seperti pada Gambar 4-11c.



(a)

(b)

(c)

Gambar 4-11 a) Tekstur permukaan hasil 3D *print*; b) Pengolesan resin pada permukaan cetakan; c) Penghalusan permukaan cetakan

## 4.2 Pembuatan Helm

### 4.2.1 Proses *Vacuum Infusion*

Proses *vacuum infusion* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-12 adalah salah satu metode pembuatan komposit dengan memanfaatkan kevakuman. pada perancangan ini proses *vacuum infusion* dilakukan sebanyak 3 kali untuk memproduksi helm.



Gambar 4-12 Proses *vacuum infusion*

Sebelum melakukan *vacuum infusion*, cetakan diberi *mold release wax* sebanyak 4 lapis agar produk dapat dilepas dari cetakan. Bahan yang digunakan adalah 3 lapis serat karbon, 1 lapis kain *peel ply* dan 1 lapis *infusion mesh*. Penyusunan selang dan selang spiral diperlukan sebagai jalur *inlet* dan *outlet* resin. Kemudian cetakan dimasukkan ke dalam plastik vakum dan ditutup menggunakan *sealant tape*. Uji kebocoran perlu dilakukan sebelum memasukkan resin ke dalam vakum. Jika tidak terdapat kebocoran maka resin dapat diinfuskan ke dalam vakum.

Perbandingan resin dan hardener yang digunakan adalah 2:1 dengan jumlah resin 200 gram dan hardener 100 gram. Estimasi waktu hingga karbon tertutup resin sepenuhnya adalah  $\pm 5$  menit. Gambar 4-13 menunjukkan spesifikasi pompa vakum dan pengukur tekanan pada tabung vakum. Mesin vakum yang digunakan adalah pompa vakum 1 tahap dengan spesifikasi 6 CFM, kapasitas vakum 5 Pa dengan tenaga 1 HP. Tekanan yang dihasilkan dari tabung vakum adalah -14 psi.



(a)



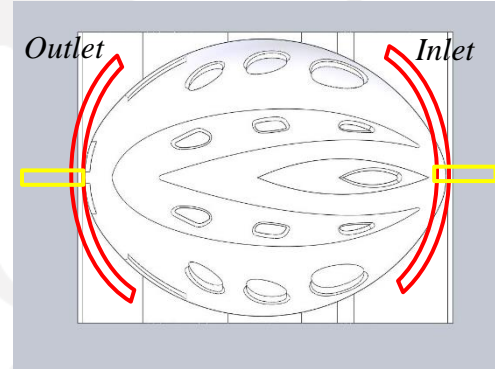
(b)

Gambar 4-13 a) Spesifikasi pompa vakum; b) Pengukur tekanan tabung vakum

Penempatan *inlet* dan *outlet* menentukan hasil dari proses *vacuum infusion*. Pada percobaan pertama penempatannya berada pada bagian depan dan belakang cetakan dan diberi sambungan T untuk selang spiral. Gambar 4-14 menunjukkan sambungan T untuk selang spiral ilustrasi penempatan *inlet* dan *outlet* pada cetakan. Pada Gambar 4-14b warna merah menunjukkan selang spiral dan warna kuning menunjukkan selang 3/8”.



(a)

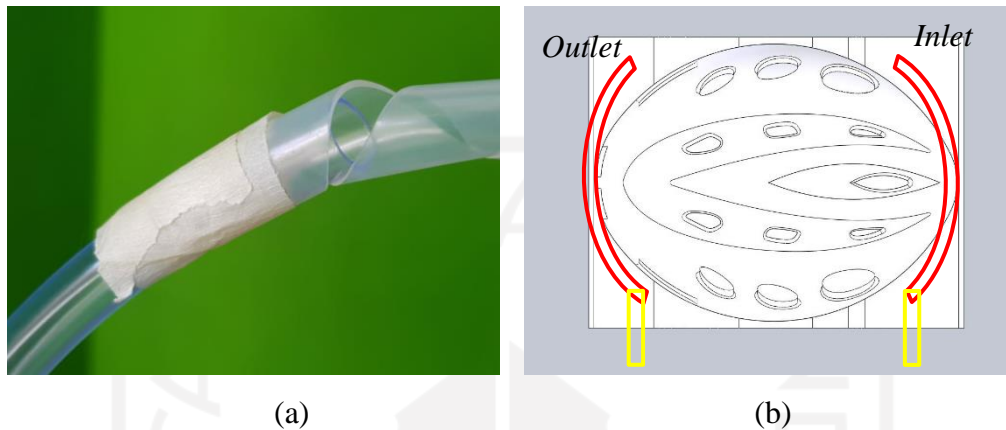


(b)

Gambar 4-14 a) Sambungan T selang spiral; b) Ilustrasi penempatan selang

Penggunaan sambungan T menyebabkan penyebaran resin tidak merata terutama pada sekitar bagian sambungan karena resin langsung dialihkan ke selang spiral yang menuju ke bagian kanan dan kiri cetakan. Pada percobaan selanjutnya, sambungan T ini tidak digunakan dan penempatan *inlet* dan *outlet* diubah menjadi satu sisi. Selang spiral dililitkan diluar selang dan direkatkan menggunakan isolasi kertas agar tidak mudah lepas. Jalur *inlet* dipasang pada bagian cetakan dengan

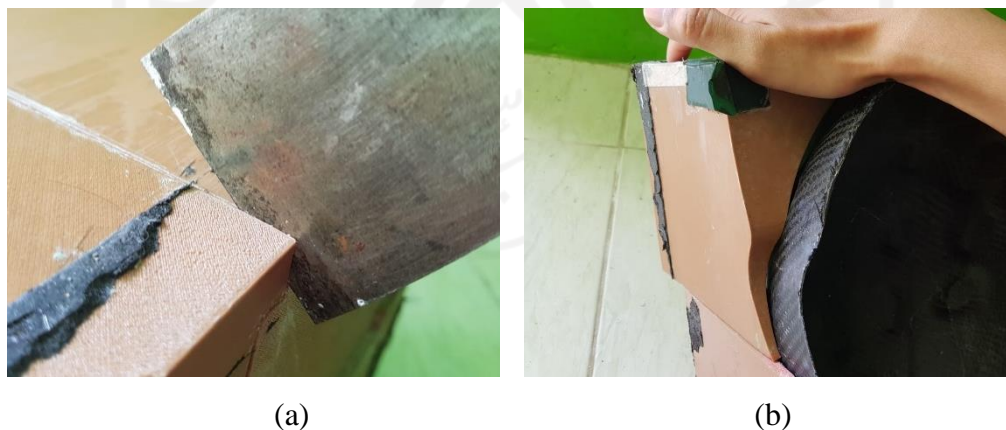
ukuran tertinggi dan *outlet* dipasang pada bagian cetakan terendah. Gambar 4-15 menunjukkan sambungan selang spiral dan penempatan jalur *inlet* dan *outlet* pada percobaan kedua. Pada Gambar 4-15b warna merah menunjukkan selang spiral dan warna kuning selang 3/8”.



Gambar 4-15 a) Penyambungan selang spiral; b) Ilustrasi penempatan selang

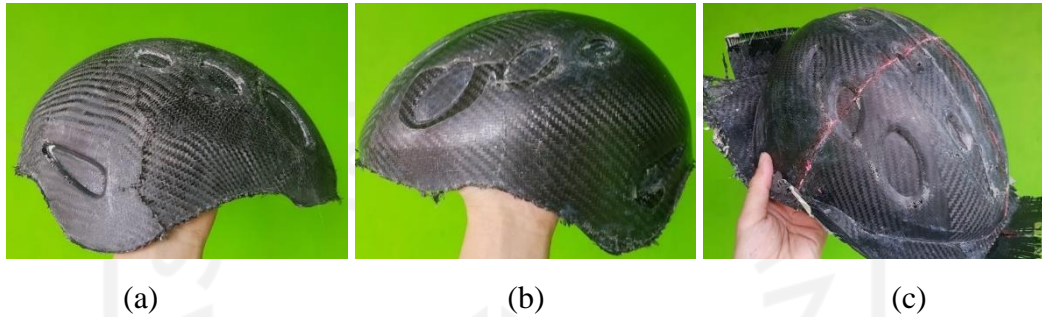
Penyambungan selang spiral dengan cara dililit dan penempatan *inlet* dan *outlet* pada percobaan kedua sudah baik karena penyebaran resin merata dan seluruh permukaannya terlapisi dengan resin.

Pelepasan produk dari cetakan dilakukan menggunakan alat bantu skrap untuk memisahkan cetakan yang menyatu akibat resin. Skrap dimasukkan ke celah sambungan cetakan agar cetakan terpisah, kemudian dorong cetakan kedepan seperti yang ditunjukkan Gambar 4-16.



Gambar 4-16 a) Penggunaan skrap; b) Melepas produk dari cetakan

Hasil produk dari 3 kali proses *vacuum infusion* dapat dilihat pada Gambar 4-17. Dari ketiga hasil, produk dengan hasil akhir terbaik adalah helm ketiga. Oleh karena itu, helm ketiga dipilih untuk dilanjutkan ke tahap *finishing* dan *assembly* hingga menjadi produk yang dapat digunakan.



Gambar 4-17 Hasil proses *vacuum infusion* a) pertama; b) kedua; c) ketiga

#### 4.2.2 *Finishing* Produk

Gambar 4-18 menunjukkan produk sebelum dan sesudah melalui proses *finishing*. Tahap pertama dilakukan dengan pemotongan bagian yang tidak terpakai termasuk pemotongan untuk membuat motif pada helm.



Gambar 4-18 a) Produk hasil *vacuum infusion*; b) Produk setelah pemotongan

Produk masih memiliki beberapa *void* atau lubang kecil pada permukaannya. Untuk menutupi *void* tersebut dilakukan reparasi dengan cara mengoleskan resin pada permukaan helm sebanyak 2 lapis seperti pada Gambar 4-19. Setelah resin mengering, permukaan diampas basah menggunakan amplas grit 240 dan 500 agar permukaan helm sepeda lipat halus.



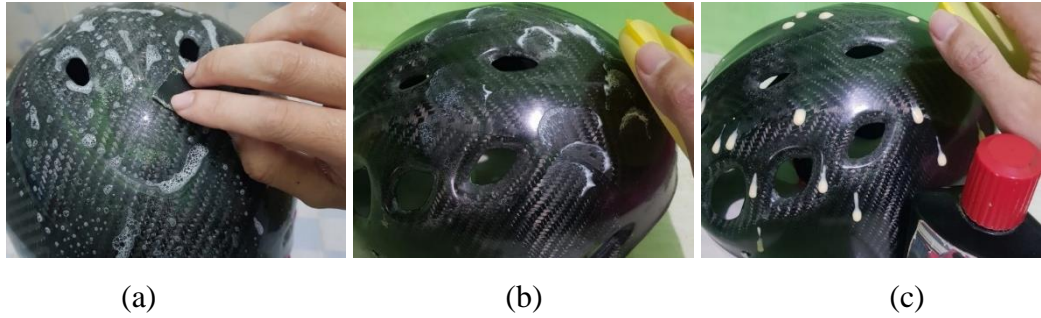
Gambar 4-19 Pengolesan resin pada permukaan produk

Dapat dilihat pada Gambar 4-20 produk diberi lapisan cat *clear gloss* pada permukaannya. Hal ini bertujuan agar produk menarik saat dilihat. Lapisan *clear gloss* disemprotkan pada permukaan helm sebanyak 5 lapis dengan jeda 10 menit setiap lapisannya. Pemberian 5 lapis bertujuan agar produk terlapisi dengan baik dan cat tidak mudah habis saat proses pengamplasan halus pada tahap berikutnya.



Gambar 4-20 Penyemprotan *clear gloss* pada permukaan produk

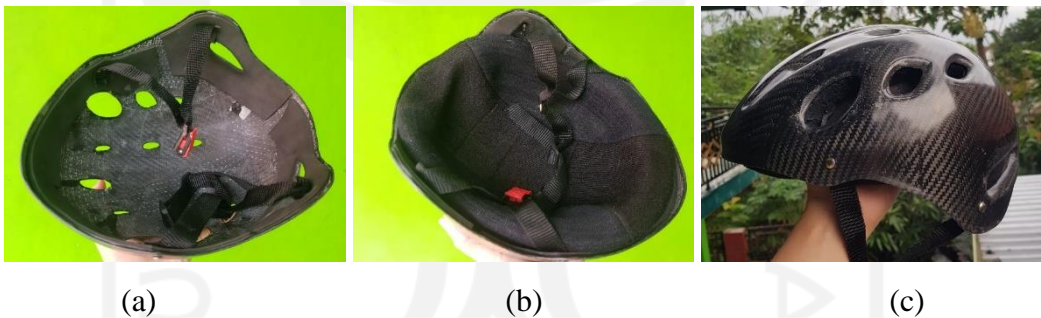
Pada Gambar 4-21a menunjukkan proses pengamplasan permukaan setelah diberi lapisan *clear gloss* untuk menghilangkan permukaan kulit jeruk pada hasil cat. Pengamplasan dilakukan secara basah menggunakan amplas grit 1000 agar tidak menghabiskan lapisan cat pada permukaan. Setelah di amplas hingga halus produk dipoles menggunakan *compound* dan *wax* seperti pada Gambar 4-21b dan Gambar 4-21c untuk hasil yang maksimal.



Gambar 4-21 a) Penghalusan hasil cat; b) Pemolesan *compound*; c) Pemolesan *wax*

### 4.2.3 Proses *Assembly*

Agar produk dapat digunakan, diperlukan pemasangan *part* pendukung seperti busa EPS dan tali pengencang. Produk diberi tambahan busa ati dengan tebal 2 mm sebanyak 2 lapis pada sisi dalam agar busa EPS tidak mudah goyang dan terlepas. Gambar 4-22a dan Gambar 4-22b menunjukkan proses *assembly* yang dilakukan pada helm dan Gambar 4-23c menunjukkan hasil akhir produk.



Gambar 4-22 a) Pemasangan busa ati dan tali pengencang; b) Pemasangan busa EPS; c) Helm setelah proses *assembly*

### 4.3 Hasil Pembuatan Helm

Dilakukan 3 kali percobaan pembuatan helm sepeda lipat karbon fiber menggunakan cetakan yang terbuat dari 3D *print* dengan metode *vacuum infusion*. Terdapat kendala yang dialami pada setiap percobaan dan ditemukan solusi yang dilakukan agar percobaan menghasilkan produk yang terbaik.

### 4.3.1 Percobaan Pembuatan Helm Pertama

Gambar 4-23 menunjukkan hasil produk pada pengujian pertama. Kendala yang ditemukan adalah permukaan tidak terkena resin dan serat karbon sobek saat melepas produk dari cetakan. Kendala tersebut disebabkan oleh penggunaan lem semprot yang ditujukan untuk membuat motif pada cetakan. Lem semprot menghambat resin saat proses *vacuum infusion* sehingga resin tidak menutup seluruh permukaan produk seperti yang ditunjukkan pada perbesaran A. Lem semprot menyebabkan kesulitan saat melepaskan produk dari cetakan karena serat karbon merekat dengan cetakan sehingga menyebabkan robeknya serat saat dilepas dari cetakan seperti yang ditunjukkan pada perbesaran B.



Gambar 4-23 Hasil produk pengujian pertama

Berdasarkan masalah yang dialami solusi yang dilakukan adalah menghindari penggunaan lem semprot untuk membuat produk menggunakan metode *vacuum infusion*. Penambahan lapisan karbon fiber juga dilakukan agar produk lebih kokoh dan tidak lentur.



### 4.3.2 Percobaan Pembuatan Helm Kedua

Pada pengujian kedua kendala yang dialami adalah banyaknya *void* atau rongga pada permukaan helm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-24. Hal ini disebabkan karena angin yang masuk melalui keran saat proses *vacuum infusion* berlangsung. Pada pengujian kedua ini dilakukan penambahan lapisan serat karbon yaitu menjadi 3 lapis. Akan tetapi pemotongan serat karbon kurang besar sehingga tebal lapisan tidak merata.



Gambar 4-24 Hasil produk pengujian kedua

Berdasarkan masalah yang ditemui pada pengujian kedua, maka solusi yang dilakukan adalah melakukan penggantian keran yang digunakan untuk proses *vacuum infusion*. Keran yang digunakan pada proses ini adalah keran bensin motor balap seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-25a. Gambar 4-25b menunjukkan keran khusus untuk proses *vacuum infusion* yang akan digunakan untuk percobaan untuk membuat helm selanjutnya.



(a)

(b)

Gambar 4-25 a) Keran bensin; b) Keran *vacuum infusion*

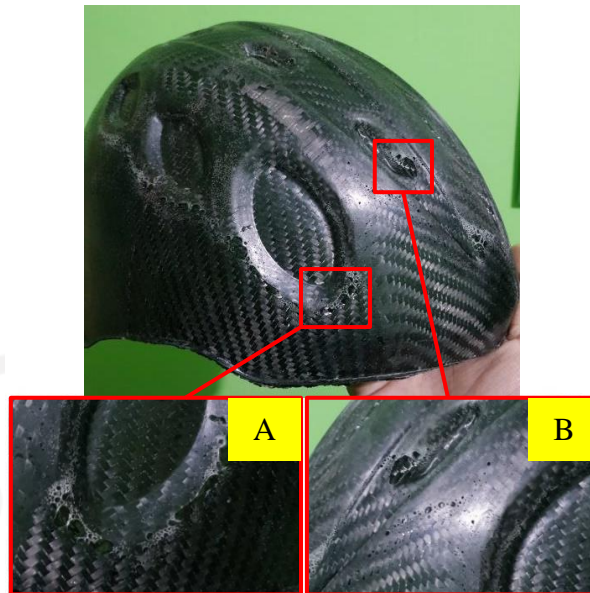
Bentuk motif pada cetakan juga mempengaruhi kendala yang terjadi pada percobaan kedua ini. Bentuk motif yang memiliki lekukan tajam menyebabkan angin terjebak pada cetakan saat proses *vacuum infusion*. Solusi yang dilakukan adalah memberikan dempul pada lekukan motif agar lekukan menjadi landai dan tidak menjebak angin pada cetakan saat proses *vacuum infusion*. Gambar 4-26 menunjukkan motif pada cetakan sebelum di dempul dan motif pada cetakan setelah diberi dempul.



Gambar 4-26 a) Cetakan sebelum di dempul; b) Cetakan setelah di dempul

### 4.3.3 Percobaan Pembuatan Helm Ketiga

Gambar 4-27 menunjukkan hasil percobaan pembuatan helm ketiga. Kendala yang dialami adalah adanya beberapa *void* seperti yang dapat dilihat pada perbesaran A dan B pada permukaan helm yang disebabkan oleh gelembung udara yang terjebak pada cetakan saat proses *vacuum infusion*. Penyebab *void* dapat berasal dari gelembung udara yang terdapat pada resin dan juga *plastic vacuum* yang kurang memberikan tekanan ke cetakan helm khususnya pada sekitar motif sehingga gelembung udara tidak tersedot kedalam tabung *chamber*.



Gambar 4-27 Hasil produk pengujian ketiga

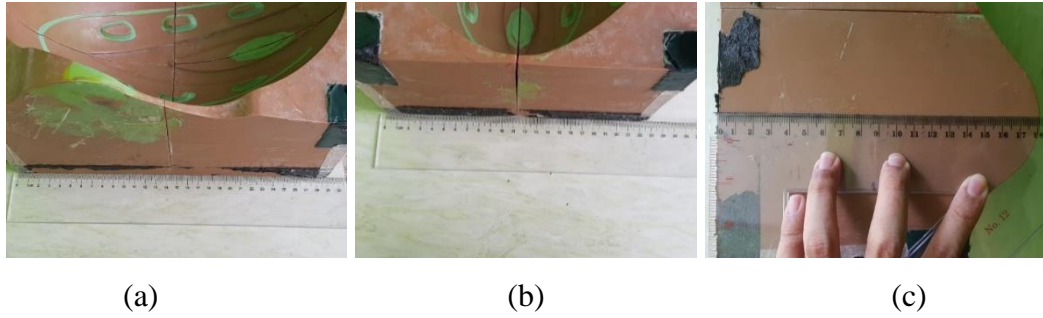
Berdasarkan masalah yang didapat solusi yang dilakukan adalah melakukan reparasi pada permukaan produk dengan cara mengoleskan resin pada permukaan helm. Permukaan dilapisi resin sebanyak 2 lapis dengan resin yang sama yang digunakan pada proses *vacuum infusion*.

#### 4.4 Hasil Pengujian Helm

Pengujian helm dilakukan dengan membandingkan helm yang sudah beredar di pasaran dan melakukan uji penggunaan pada responden yang merupakan pesepeda aktif dan memiliki sepeda lipat beserta helm sepeda lipat. Pengujian pada cetakan juga dilakukan dengan membandingkan dimensi cetakan setelah 3 kali digunakan dengan dimensi cetakan hasil desain pada aplikasi Solidworks 2018.

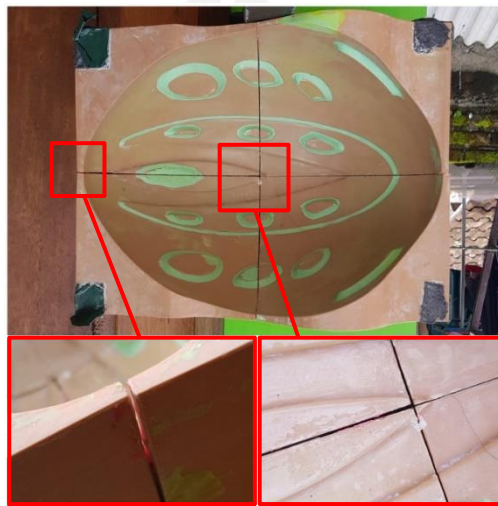
##### 4.4.1 Pengujian Perbandingan Dimensi Cetakan

Setelah dilakukan 3 kali pembuatan helm dengan metode *vacuum infusion*, dilakukan pengukuran untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada cetakan. Dapat dilihat pada Gambar 4-28, dimensi cetakan yang sudah digunakan sebanyak 3 kali adalah 290 x 225 x 182 mm. Dapat diketahui bahwa tidak terdapat perubahan dimensi yang terjadi pada cetakan.



Gambar 4-28 Pengukuran cetakan setelah 3 kali digunakan

Akan tetapi terdapat rongga pada setiap sambungan cetakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-29. Rongga pada cetakan disebabkan oleh skrap yang digunakan untuk memisah cetakan saat melepaskan produk dari cetakan.



Gambar 4-29 Rongga pada sambungan cetakan

#### 4.4.2 Pengujian Berat Helm

Helm sepeda lipat komposit ditimbang dan dibandingkan dengan helm sepeda yang sudah beredar di pasaran. Perbandingan bobot dilakukan dalam kondisi helm yang siap pakai lengkap dengan tali pengencang dan busa EPS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-30.



(a)

(b)

Gambar 4-30 a) Bobot helm sepeda lipat pasaran; b) Bobot helm sepeda lipat komposit

Bobot helm sepeda lipat yang tersedia di pasaran adalah 373.7 gram sedangkan helm sepeda lipat karbon fiber memiliki bobot 311.2 gram. Hasil perbandingan bobot helm sepeda lipat tersebut didapat selisih bobot sebesar 62.5 gram.

Tabel 4-1 Perbandingan karakteristik helm

Nama Produk	Bobot Produk (gram)	Bahan Produk
Helm Sepeda Lipat Pasaran	373.7 gram	Termoplastik
Helm Sepeda Lipat Komposit	311.2 gram	Serat karbon

#### 4.4.3 Pengujian Helm

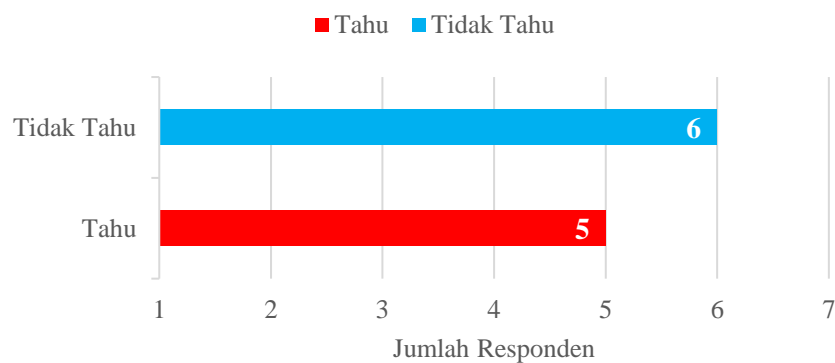
Setelah produk berhasil dibuat maka dilanjutkan pengujian produk dengan cara digunakan langsung oleh responden seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-31. Pengisian kuesioner dilakukan setelah responden mengenakan helm sepeda lipat karbon fiber. Pada pengujian ini didapat 11 responden yang merupakan pesepeda aktif dan memiliki sepeda lipat beserta helm sepeda lipat.



Gambar 4-31 Pengujian helm sepeda lipat kepada responden

Berikut ini adalah hasil kuesioner yang telah dilakukan kepada responden terkait pengetahuan mengenai proses pembuatan helm sepeda pada umumnya. Dapat dilihat pada Gambar 4-32 bahwa sebagian besar responden tidak mengetahui bagaimana helm sepeda pada umumnya dibuat.

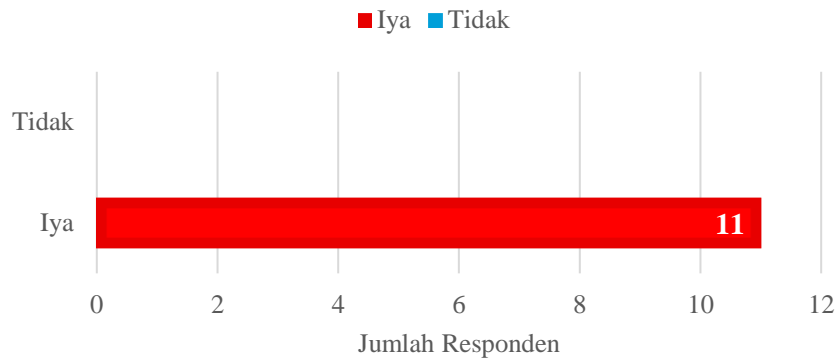
#### PROSES PEMBUATAN HELM PADA UMUMNYA



Gambar 4-32 Hasil kuesioner proses pembuatan helm

Proses pembuatan helm sepeda lipat komposit dijelaskan kepada responden untuk mengetahui kesan terhadap proses pembuatannya. Ditunjukkan pada Gambar 4-33 bahwa seluruh responden terkesan dengan proses pembuatan helm tersebut.

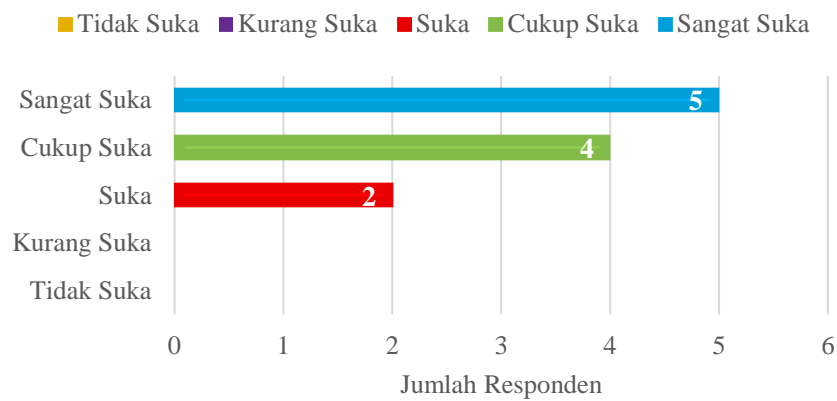
## TERKESAN DENGAN PROSES PEMBUATAN



Gambar 4-33 Hasil kuesioner kesan proses pembuatan

Gambar 4-34 menunjukkan data terkait desain fisik helm. Dapat diketahui sebanyak 46% responden sangat menyukai desain fisik dari helm sepeda lipat karbon fiber, sebanyak 36% responden cukup menyukai desain fisik helm dan 18% sisanya suka dengan desain fisik helm. Tidak ada yang kurang menyukai dan tidak menyukai desain fisik helm sepeda lipat karbon fiber. Hasil kuesioner menunjukkan bahwa desain fisik helm sangat disukai oleh responden.

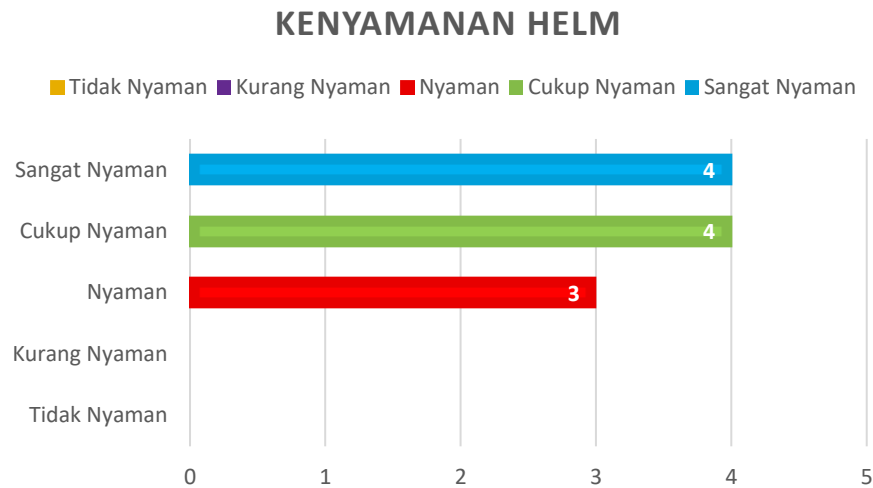
## DESAIN FISIK HELM



Gambar 4-34 Hasil kuesioner desain fisik helm

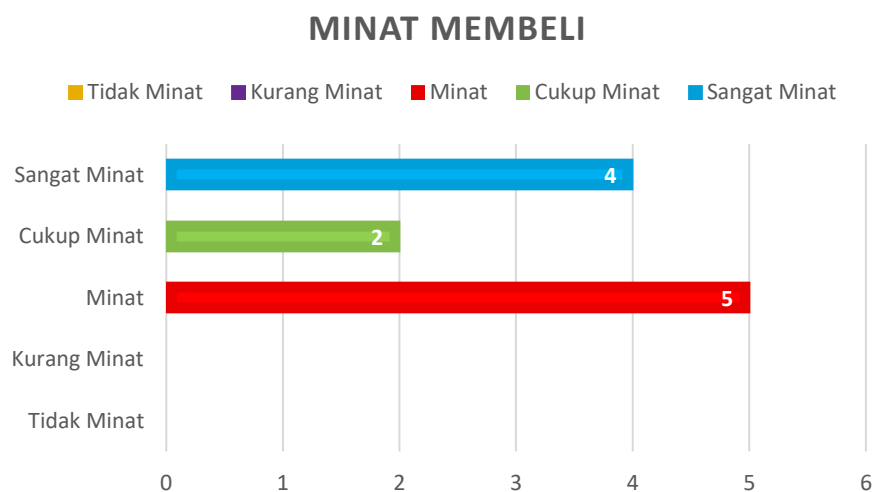
Data yang didapat dari segi kenyamanan dapat dilihat pada Gambar 4-35. Hasil yang didapat adalah sangat nyaman dan cukup nyaman mendapatkan nilai yang sama yaitu sebanyak 36.5% responden. Sisanya sebanyak 27% responden

hanya merasakan nyaman saat menggunakan helm tersebut. Tidak ada yang merasa kurang nyaman dan tidak nyaman saat menggunakan helm tersebut.



Gambar 4-35 Hasil kuesioner kenyamanan helm

Data yang ditunjukkan pada Gambar 4-36 merupakan minat responden untuk membeli helm sepeda lipat karbon fiber. Dapat diketahui sebanyak 36% responden sangat berminat untuk membeli helm tersebut dan sebanyak 18% responden cukup berminat untuk membelinya. Sebanyak 46% responden sisanya hanya berminat untuk membeli helm tersebut. Tidak ada responden yang kurang berminat atau tidak berminat untuk membeli helm sepeda lipat karbon fiber.



Gambar 4-36 Hasil kuesioner minat membeli helm



#### 4.4.4 Biaya Pembuatan Helm dan Cetakan

Estimasi biaya yang dikeluarkan untuk membuat cetakan dapat dilihat pada Tabel 4-2.

Tabel 4-2 Biaya pembuatan cetakan

No	Nama Bahan	Jumlah	Total
1	Filamen PLA 1kg	2 spools	Rp. 500,000
2	Penggunaan listrik	28.8 kWh	Rp. 41,607
<b>Total</b>			<b>Rp. 541,607</b>

Estimasi biaya yang dikeluarkan untuk membuat 1 buah helm sepeda lipat komposit dapat dilihat pada Tabel 4-3. Perlu diketahui bahwa estimasi biaya yang dihitung hanya bahan yang digunakan dalam pembuatan 1 buah helm sepeda lipat komposit.

Tabel 4-3 Biaya pembuatan 1 buah helm

No	Nama Bahan	Jumlah	Total
1	Serat karbon woven	137 x 50 cm	Rp. 230,000
2	Resin epoxy <i>vacuum</i>	180 g	Rp. 20,000
3	Hardener	90 g	Rp. 23,000
4	Resin epoxy <i>molding</i>	40 g	Rp. 5,200
5	Hardener	12 g	Rp. 1,700
6	Plastik <i>vacuum</i>	75 x 90 cm	Rp. 20,000
7	<i>Sealant tape</i>	200 cm	Rp. 12,500
8	<i>Peel ply</i>	35 x 45 cm	Rp. 4,500
9	<i>Infusion mesh</i>	35 x 45 cm	Rp. 3,000
10	Kran resin	2 buah	Rp. 41,000
11	Selang 3/8"	200 cm	Rp. 12,000
12	Selang spiral	60 cm	Rp. 1,500
13	Cat pylox	½ kaleng	Rp. 16,500
14	Busa EPS & strap	1	Rp. 30,000
<b>Total</b>			<b>Rp. 416,978</b>

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Cetakan helm sepeda lipat menggunakan teknologi *3D printing* telah berhasil dibuat. Cetakan mampu memproduksi helm komposit karbon fiber dengan metode *vacuum infusion* dengan hasil yang baik dan mampu untuk mencetak helm sebanyak 3 kali dan tidak mengalami kerusakan yang signifikan. Dalam memproduksi cetakan, dengan keterbatasan ukuran mesin 3D print yang ada, dapat digunakan sambungan *puzzle* untuk membagi cetakan menjadi beberapa bagian.
2. Helm sepeda lipat komposit karbon fiber telah berhasil dibuat menggunakan metode *vacuum infusion*. Hal-hal penting dalam proses pembuatan helm tersebut untuk menghasilkan produk yang tidak banyak kegagalan adalah posisi selang *inlet* dan *outlet* harus diletakkan di samping kanan helm. Selain itu, hindari penggunaan lem semprot yang diaplikasikan pada cetakan karena mengakibatkan kesulitan dalam melepas helm dari cetakan. Sebagai tambahan, untuk menghindari angin yang masuk saat proses pemvakuman sebaiknya digunakan kran khusus untuk *vacuum infusion*.
3. Berdasarkan hasil kuesioner yang telah dilakukan, diperoleh data bahwa helm yang dibuat lebih menarik dan memiliki bobot yang lebih ringan sebesar 17% dibandingkan dengan helm yang tersedia di pasaran yang terbuat dari proses injeksi plastik.

#### **5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya**

Setelah seluruh proses penelitian ini dilakukan, penulis memberikan beberapa saran yaitu:

1. Pada penelitian ini sambungan cetakan menggunakan metode *puzzle*. Hal ini menyulitkan proses melepas produk dari cetakan karena cetakan saling

mengunci satu sama lain. Maka dari itu desain cetakan perlu diubah dengan sambungan pengencang baut agar memudahkan melepas produk dari cetakan.

2. Sudah dilakukan pengukuran bentuk cetakan tetapi hanya sebatas dimensi cetakan dan pengukuran secara manual menggunakan penggaris. Perlu dilakukan analisis geometri untuk mengetahui potensi perubahan pada cetakan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurohman, K., & Marta, A. (2016). Kajian Eksperimental Tensile Properties Komposit Poliester Berpenguat Serat Karbon Searah Hasil Manufaktur Vacuum Infusion Sebagai Material Struktur LSU (An Experimental Study of Polyester Composite Tensile Properties Reinforced Unidirectional Carbon Fiber Manufactured by Vacuum Infusion for LSU Material). 61–72.
- Andriyansyah, D., Sriyanto, & Jamaldi, A. (2021). Perancangan Dan Pembuatan Mesin 3D Printer Tipe Cantilever. *Abdi Masya*, 1(2), 108–114. <https://doi.org/10.52561/abma.v1i2.139>
- Frial-McBride, M. G. (2016). Extraction of resins from *Capsicum annum* var. *longum* (Siling haba) for the study of their potential anti-microbial activities. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8(3), 117–127. [www.jocpr.com](http://www.jocpr.com)
- Kim, G., Wang, P. H., & Sterkenburg, R. (2019). Investigating the Effectiveness of a 3D Printed Composite Mold. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, 13(11). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3566395>
- Lukkassen, D., & Meidell, A. (2007). *Advanced Materials and Structures and their Fabrication Processes*.
- Mohd Yuhazri, Y., Phongsakorn, P. T., & Sihombing, H. (2011). *Mechanical Properties of Kenaf/Polyester Composites*.
- Schwartz, M. M. (1984). *Composite Materials Handbook* (2nd ed.). McGraw-Hill Companies.
- Wicaksono, I. A. (2019). *Pembuatan Produk Helm Sepeda BMX Menggunakan Bahan Komposit Serat Sisal Acak dengan Metode Hand Lay Up*. Universitas Negeri Yogyakarta.

**LAMPIRAN**

