

**PEMANFAATAN PRODUK *ADDITIVE MANUFACTURING*
(*FUSED FILAMENT FABRICATION*) UNTUK *MOLDING*
KOMPOSIT METODE *VACUUM INFUSION*
(Studi Kasus Cover Spion Motor)**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Amien Tri Hartanto

No. Mahasiswa : 17525120

NIRM : 2017023654

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PEMANFAATAN PRODUK *ADDITIVE MANUFACTURING*
(*FUSED FILAMENT FABRICATION*) UNTUK *MOLDING*
KOMPOSIT METODE *VACUUM INFUSION*
(Studi Kasus Cover Spion Motor)**

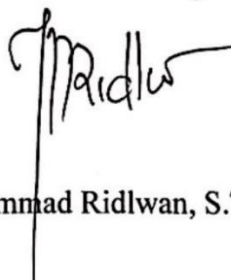
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Amien Tri Hartanto
No. Mahasiswa : 17525120
NIRM : 2017023654

Yogyakarta, 16 November 2022

Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ridlwan', written over a vertical line that extends downwards from the signature.

Muhammad Ridlwan, S.T., M.T

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PEMANFAATAN PRODUK *ADDITIVE MANUFACTURING*
(*FUSED FILAMENT FABRICATION*) UNTUK *MOLDING*
KOMPOSIT METODE *VACUUM INFUSION*
(Studi Kasus Cover Spion Motor)**

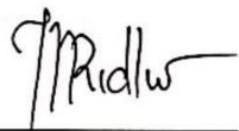
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

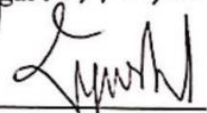
Nama : Amien Tri Hartanto
No. Mahasiswa : 17525120
NIRM : 2017023654

Tim Penguji

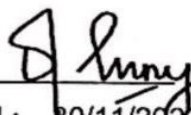
Muhammad Ridlwan, S.T., M.T
Ketua


Tanggal : 07/12/2022

Yustiasih Purwaningrum, S.T., MT
Anggota I


Tanggal : 2/12/2022

Finny Pratama Putera, S.T., M.Eng.
Anggota II


Tanggal : 30/11/2022



Teknik Mesin

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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Amien Tri Hartanto

NIM : 17525120

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Judul Skripsi : PEMANFAATAN PRODUK *ADDITIVE MANUFACTURING*
(*FUSED FILAMENT FABRICATION*) UNTUK *MOLDING*
KOMPOSIT METODE *VACUUM INFUSION* (Studi Kasus Cover
Spion Motor)

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak dipaksakan.

Yogyakarta, 9 Desember 2022



Amien Tri Hartanto

HALAMAN PERSEMBAHAN



Dengan segala puji syukur kehadiran Allah SWT berkat rahmat dan karuniaNYA serta do'a dari orang-orang tercinta sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan waktu yang telah ditentukan, Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Strata Satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, maka dengan itu saya sampaikan rasa bahagia, bangga dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

Bapak Sugiyanto dan ibu Siti Aminah yang selalu memberi dukungan, do'a, dan kasih sayangnya tanpa batas untuk penulis hingga saat ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu bakti penulis kepada kedua orang tua

Dosen pembimbing, dosen dan staff Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu, arahan, dan pelajaran berharga bagi penulis selama masa perkuliahan

Keluarga, saudara, dan teman-teman yang selalu memberi dukungan, nasehat dan semangat sehingga laporan Tugas Akhir ini selesai

HALAMAN MOTTO

*Raihlah ilmu dan untuk meraih ilmu, belajarlh untuk
tenang dan sabar*

(Umar bin Khattab)

*Jangan biarkan apa yang tidak dapat kamu lakukan mengganggu apa
yang dapat kamu lakukan*

(John Wooden)

*Ketika dalam suatu pilihan yang sulit ditentukan dengan
nalar cobalah memakai kata hatimu untuk memilihnya*

(Amien Tri Hartanto)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum warahmatullahi-wabarakatuh

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, rahmat serta karunia-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul **“PEMANFAATAN PRODUK *ADDITIVE MANUFACTURING (FUSED FILAMENT FABRICATION)* UNTUK *MOLDING KOMPOSIT METODE VACUUM INFUSION* (Studi Kasus Cover Spion Motor)”** ini dapat selesai dengan waktu yang ditentukan. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Strata Satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Selama pengerjaan Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak dukungan dari berbagai pihak baik secara moral maupun langsung, Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis dengan segenap kerendahan hati mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, karena atas izin-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir dengan baik.
2. Bapak dan ibu tercinta yang selalu mendoakan dan memberi dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan dan nasehat selama penulisan Tugas Akhir.
5. Kepada seluruh Dosen dan Laboran Teknik Mesin UII yang telah membantu dalam Tugas Akhir ini.
6. Keluarga, saudara, dan teman-teman Teknik Mesin UII terutama Aldo Susanto rekan seperjuangan tugas akhir dan temen teman lainnya yang selalu memberi dukungan, nasehat dan semangat sehingga laporan

Tugas Akhir ini selesai.

Sebagai penulis saya menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam laporan Tugas Akhir ini karena keterbatasan pengetahuan yang dimiliki, Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sangat penulis harapkan untuk perbaikan maupun penyempurnaan, Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi-wabarakatuh

Yogyakarta, 16 November

2022

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Amien Tri Haranto', written in a cursive style.

Amien Tri Haranto

ABSTRACT

Vacuum Infusion is one of the methods in the process of making composite products which is currently increasingly being used in the industrial world. This study aims to design conventional molding for the vacuum infusion method so that the vacuum infusion process becomes more efficient. Molding for vacuum infusion is made using 3D printing with PLA (Polylactic Acid) filament. This study used three software, namely Autodesk Inventor, Autodesk Fusion 360 and Solidworks. Autodesk Fusion 360 is used to make STL 3D Scanning results of motor mirror products according to the original geometry scale and the position of the x, y, z axis as desired. Meanwhile, Autodesk Inventor 2022 is used to design composite moldings for the vacuum infusion method to make motor mirror cover products.

After the molding design process is complete, then do the molding printing with a 3D printing machine and the finishing process is carried out to obtain a smooth mold surface. After that, carry out the vacuum infusion process for the manufacture of motor mirror covers, then the rearview mirror covers that have been produced are carried out a 3D scanning process, the scanning results are matched with the main design of the motor mirror cover to see if there is a change in dimensions in the motor mirror cover after the production process with the molding using the vacuum infusion method. The scan results showed a change in the dimensions of the motor mirror cover by 0,35 to 2,10 mm from the main design.

Keywords: Accuracy geometry, 3D Printing, PLA (Polylactic Acid), Molding, Composite, Vacuum Infusion

ABSTRAK

Vacuum Infusion merupakan salah satu metode dalam proses pembuatan produk komposit yang saat ini semakin banyak digunakan dalam dunia industri. Penelitian ini bertujuan merancang molding konvensional untuk metode *vacuum infusion* agar proses *vacuum infusion* menjadi lebih efisien. *Molding* untuk *vacuum infusion* dibuat menggunakan *3D printing* dengan *filament PLA* (*Polylactic Acid*). Penelitian ini menggunakan tiga software yaitu Autodesk Inventor, Autodesk Fusion 360, dan Solidworks. Autodesk Fusion 360 digunakan untuk membuat hasil STL *3D Scanning* dari produk spion motor sesuai skala geometri asli dan posisi sumbu x, y, z sesuai dengan yang diinginkan. Sedangkan Autodesk Inventor 2022 digunakan untuk mendesain *molding* komposit untuk metode *vacuum infusion* guna membuat produk cover spion motor.

Setelah proses desain *molding* selesai, kemudian melakukan percetakan *molding* dengan mesin *3D printing* dan dilakukan proses *finishing* untuk memperoleh permukaan *mold* yang halus. Setelah itu melakukan proses *vacuum infusion* untuk pembuatan cover spion motor, kemudian cover spion yang telah diproduksi tersebut dilakukan proses *3D scanning*, hasil *scanning* dicocokkan dengan desain utama cover spion motor untuk dilihat apakah ada perubahan dimensi pada cover spion motor setelah dilakukan proses produksi dengan *molding* tersebut menggunakan metode *vacuum infusion*. Hasil *scan* menunjukkan adanya perubahan dimensi pada cover spion motor sebesar 0,35 sampai 2,10 mm dari desain utamanya.

Kata kunci: Ketelitian Geometri, *3D Printing*, *PLA* (*Polylactic Acid*), *Molding*, *Komposit*, *Vacuum Infusion*

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| Halaman Judul | i |
| Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing | ii |
| Lembar Pengesahan Dosen Penguji | iii |
| Halaman Persembahan | iv |
| Halaman Motto | v |
| Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih | vi |
| <i>Abstract</i> | viii |
| Abstrak | ix |
| Daftar Isi | x |
| Daftar Tabel..... | xii |
| Daftar Gambar | xiii |
| Bab 1 Pendahuluan | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |
| Bab 2 Tinjauan Pustaka | 6 |
| 2.1 Kajian Pustaka | 6 |
| 2.2 Dasar Teori | 8 |
| 2.2.1 Komposit | 8 |
| 2.2.2 <i>Vacuum Infusion</i> | 9 |
| 2.2.3 <i>Fused Filament Fabrication</i> | 11 |
| 2.2.4 <i>3D Scanning</i> | 13 |
| Bab 3 Metode Penelitian | 16 |
| 3.1 Alur Penelitian | 16 |
| 3.2 Peralatan dan Bahan..... | 17 |
| 3.3 Desain Produk dan <i>Molding</i> | 28 |
| 3.3.1 Desain Produk | 28 |

| | | |
|----------------|---|----|
| 3.3.2 | Desain <i>Molding</i> | 30 |
| Bab 4 | Hasil dan Pembahasan | 32 |
| 4.1 | Pembuatan <i>Molding</i> | 32 |
| 4.1.1 | Proses <i>3D printing</i> cetakan..... | 32 |
| 4.1.2 | Proses <i>Finishing</i> | 34 |
| 4.2 | Proses <i>Vacuum Infusion</i> | 35 |
| 4.3 | Produk Hasil <i>Vacuum Infusion</i> | 37 |
| 4.4 | Analisis dan Pembahasan..... | 39 |
| 4.4.1 | Pengujian <i>Molding</i> | 39 |
| 4.4.2 | Kualitas Geometri Produk | 39 |
| Bab 5 | Penutup..... | 44 |
| 5.1 | Kesimpulan | 44 |
| 5.2 | Saran atau Penelitian Selanjutnya..... | 44 |
| Daftar Pustaka | | 45 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 4-1 Hasil pencapaian kriteria perancangan..... | 39 |
|--|----|

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2-1 Jenis-jenis dari <i>fiber-reinforced composites</i> | 9 |
| Gambar 2-2 Proses <i>vacuum infusion</i> | 10 |
| Gambar 2-3 Komponen dalam proses <i>vacuum infusion</i> | 11 |
| Gambar 2-4 Proses <i>vacuum infusion</i> | 11 |
| Gambar 2-5 Profil <i>3D printer</i> kelas konsumen yang paling umum: (A) komponen utama <i>3D printer</i> ; dan (B) tata letak ujung dingin dan ujung panas ekstruder. ... | 12 |
| Gambar 2-6 Proses <i>Fused Filament Fabrication (FFF)</i> | 13 |
| Gambar 2-7 Skema proses <i>3D scanning</i> | 14 |
| Gambar 2-8 Hasil <i>scan</i> benda nyata | 15 |
| Gambar 3-1 Alur penelitian | 16 |
| Gambar 3-2 Laptop Acer Aspire E 14 | 17 |
| Gambar 3-3 Logo Autodesk Inventor | 17 |
| Gambar 3-4 Logo Fusion 360 | 18 |
| Gambar 3-5 Logo Solidworks | 18 |
| Gambar 3-6 Mesin <i>3D print</i> Creality cr10 s Pro | 18 |
| Gambar 3-7 <i>Filament PLA</i> | 19 |
| Gambar 3-8 <i>3D scan</i> SensePro | 19 |
| Gambar 3-9 Meja putar otomatis | 20 |
| Gambar 3-10 Tabung reservoir | 20 |
| Gambar 3-11 <i>Vacuum pump</i> | 21 |
| Gambar 3-12 Resin & katalis | 21 |
| Gambar 3-13 Timbangan digital | 22 |
| Gambar 3-14 <i>Fiberglass</i> | 22 |
| Gambar 3-15 <i>Vacuum bag film</i> | 22 |
| Gambar 3-16 <i>Sealant tape</i> | 23 |
| Gambar 3-17 Kain <i>peel ply</i> | 23 |
| Gambar 3-18 Strimin | 24 |
| Gambar 3-19 Selang 10 mm | 24 |
| Gambar 3-20 Selang spiral | 24 |
| Gambar 3-21 Dempul plastik | 25 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3-22 <i>Hardener</i> | 25 |
| Gambar 3-23 <i>Mold release agent</i> | 25 |
| Gambar 3-24 Kuas | 26 |
| Gambar 3-25 Isolasi kertas | 26 |
| Gambar 3-26 Gelas plastik | 27 |
| Gambar 3-27 Tuas pengaduk..... | 27 |
| Gambar 3-28 Amplas bulat..... | 27 |
| Gambar 3-29 Amplas persegi | 28 |
| Gambar 3-30 Spray cat | 28 |
| Gambar 3-31 Tampak atas hasil <i>scan</i> | 29 |
| Gambar 3-32 Tampak samping hasil <i>scan</i> | 29 |
| Gambar 3-33 Tampak bawah hasil <i>scan</i> | 29 |
| Gambar 3-34 Tampak samping desain cover spion..... | 30 |
| Gambar 3-35 Tampak atas desain cover spion..... | 30 |
| Gambar 3-36 Tampak atas desain <i>molding</i> | 31 |
| Gambar 3-37 Tampak samping desain <i>molding</i> | 31 |
| Gambar 3-38 Tampak bawah desain <i>molding</i> | 31 |
| Gambar 4-1 Proses <i>Slicing</i> | 32 |
| Gambar 4-2 Proses <i>3D printing molding</i> | 33 |
| Gambar 4-3 Hasil <i>3D printing molding</i> | 34 |
| Gambar 4-4 Proses <i>finishing</i> menggunakan dempul | 35 |
| Gambar 4-5 Hasil <i>finishing</i> | 35 |
| Gambar 4-6 Proses <i>vacuum infusion</i> | 36 |
| Gambar 4-7 Kondisi <i>molding</i> saat proses <i>vacuum</i> | 37 |
| Gambar 4-8 Produk 1 | 37 |
| Gambar 4-9 Produk 2 | 38 |
| Gambar 4-10 Produk 3 | 38 |
| Gambar 4-11 Produk 4 | 38 |
| Gambar 4-12 Pengolahan <i>mesh</i> hasil <i>scanning</i> | 40 |
| Gambar 4-13 Hasil perubahan dari <i>mesh</i> menjadi <i>surface</i> | 41 |
| Gambar 4-14 Hasil penggabungan hasil <i>scanning</i> produk dan desain aslinya..... | 42 |
| Gambar 4-15 Hasil analisis geometri produk 1 | 43 |

Gambar 4-16 Hasil analisis geometri produk 343

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses manufaktur dalam beberapa tahun terakhir telah menyebabkan kemajuan yang pesat dan berkesinambungan dalam industri manufaktur, salah satu proses manufaktur yang mengalami kemajuan yang pesat yaitu manufaktur aditif (AM), juga dikenal sebagai percetakan 3D. *Additive manufacturing* (AM) adalah teknik di mana bagian tersebut dimodelkan menggunakan perangkat lunak *computer-aided design* (CAD) atau metode lain dan *sliced* menggunakan jenis perangkat lunak lain, yang disebut "*slicer*", untuk mengubah model CAD menjadi bahasa pemrograman *computer numerical control* (CNC) yang dapat digunakan untuk mengontrol *printer*. Hadirnya teknologi *additive manufacture* dalam dunia manufaktur membawa perubahan besar pada dunia, terutama di kalangan industri. Teknologi *Additive Manufacturing* (AM) menawarkan potensi penghematan biaya yang signifikan karena berkurangnya limbah material dan kemampuan untuk produksi geometri rumit tanpa alat. Karena itu, hal tersebut telah mendapatkan perhatian yang cukup besar selama dekade terakhir (Sudbury et al., 2017).

Kemajuan terbaru dalam pendekatan *Additive Manufacturing* (AM) *Fused Filament Fabrication* (FFF) ditujukan dengan fokus pada aplikasi perkakas dan cetakan untuk bahan dan struktur komposit (Brenken et al., 2018). FFF adalah proses AM deposisi berbasis ekstrusi polimer, *filament* polimer atau komposit polimer disuplai terus menerus ke dalam mesin pencairan yang dipanaskan dan kemudian dilebur dan diekstrusi ke *platform* di bawahnya (Chen & Smith, 2021). Perkembangan terbaru printer skala besar, yang melelehkan bahan berbentuk pelet yang disimpan oleh ekstruder sekrup, telah menghasilkan nama lain, yang juga disebut *Fused Deposition Modelling* (FDM). Dalam proses berbasis ekstrusi, pencetakan dicapai dengan pengendapan terkontrol dari bahan material cair (Brenken et al., 2018). Teknik pembuatan *additive manufacturing* paling populer saat ini, karena menawarkan berbagai pilihan bahan termoplastik dari

PLA hingga bahan material teknik seperti nilon. Proses pembuatan ini dapat digunakan untuk membuat komponen padat dengan bentuk dan geometri yang kompleks. Meskipun proses *Additive Manufacturing* (AM) perlu adanya pembaruan karena produktivitasnya yang rendah, kualitas permukaan yang lebih rendah, ketidakstabilan dimensi, dan anisotropi internal yang menurunkan sifat mekanik produk (Ferretti et al., 2021).

Bahan komposit yang terdiri dari serat dan resin dapat diproduksi melalui berbagai metode. Salah satu metode yang biasanya digunakan untuk volume produksi rendah dan aplikasi khusus adalah metode *hand lay-up*, yang melibatkan penggabungan serat dan resin secara manual pada permukaan cetakan (Sudbury et al., 2017). Pembuatan cetakan biasanya sangat mahal, dengan pilihan bahan adalah *fiberglass* atau cetakan logam. Namun demikian, model awal diperlukan untuk pembangunan cetakan *fiberglass*, biasanya dibuat oleh CNC dalam kayu atau dalam busa poliuretan kepadatan tinggi. Model ini kemudian ditutupi dengan lapisan agen pelepas (*Polyvinyl Alcohol*) atau lilin. Lapisan mantel gel diterapkan di atas model untuk mendapatkan permukaan mengkilap dan homogen pada cetakan, dan akhirnya serat direndam dalam epoksi atau resin termoseting untuk memberikan kekakuan dan konsistensi pada cetakan. Seluruh proses harus dilakukan secara manual oleh operator berpengalaman dan sulit untuk dimekanisasi. Oleh karena itu, pembuatan prototipe tunggal dalam serat karbon sangat mahal karena perlu untuk membuat cetakan dan mengamortisasinya dengan satu bagian (Ferretti et al., 2021).

Perlu penelitian untuk mencari solusi masalah di atas dengan menggunakan teknologi *3D printing*. Dalam hal pembuatan produk komposit perlu mendapatkan cetakan berkualitas tinggi yang hemat biaya untuk mengurangi biaya prototipe atau produksi *batch* kecil. Kemungkinan membuat cetakan untuk metode *vacuum infusion* dengan teknologi FFF adalah solusi yang baik. Proses *vacuum infusion* adalah teknik yang menggunakan tekanan *vacuum* untuk mendorong resin ke dalam laminasi. Kemampuan untuk memodelkan proses infus memiliki potensi besar mengurangi biaya dengan meningkatkan prediktabilitas dan pada akhirnya mencapai produksi yang konsisten (Abdurohman et al., 2018). Dalam pembuatan produk komposit perlu

diperhatikan dalam pemilihan produknya. Produk yang dibuat menggunakan metode vacuum infusion merupakan produk dengan bentuk yang tidak memiliki sudut dibawah 90° atau memiliki bentuk yang melengkung. Produk dengan bentuk sudut yang tajam dibawah 90° tidak cocok untuk pembuatan produk komposit dengan memanfaatkan metode *vacuum infusion*. Hal tersebut dikarenakan akan susah memisahkan antara produk dan *mold* setelah resin mengering. Jika hal tersebut dipaksakan dapat mengakibatkan kerusakan pada *mold*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang terdapat pada latar belakang maka dibuat rumusan masalah yaitu:

1. Apakah *molding* yang terbuat dari *3D printing* dapat digunakan untuk proses pembuatan produk komposit dengan metode *vacuum infusion*?
2. Bagaimana ketelitian geometri produk hasil *vacuum infusion* menggunakan *molding 3D printing*?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah ada maka disusunlah batasan masalah, batasan masalah berfungsi sebagai pembatas dalam penelitian dan yang disampaikan dalam pembahasan penelitian ini. Sehingga tidak menimbulkan permasalahan diluar penelitian yang dilakukan, adapun batasan permasalahan dalam penelitian ini antara lain:

1. Pembuatan *molding* atau cetakan menggunakan mesin *3D printing* (FFF).
2. Material komposit yang digunakan untuk pembuatan prototipe produk menggunakan *fiberglass*.
3. Proses *vacuum infusion* menggunakan tekanan -14 psi.
4. Tidak membahas sifat mekanik *molding* dan produk.
5. Tidak membahas lebih lanjut hasil proses pengujian cetakan.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan yang akan dicapai pada perancangan ini adalah:

1. Membuat *molding* dengan *3D printing* untuk produk komposit (studi kasus cover spion motor) dengan metode *vacuum infusion*.
2. Melakukan pengukuran terhadap produk hasil dari *vacuum infusion* menggunakan *molding 3D printing* untuk mengetahui kualitas geometrinya.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat yang diharapkan dari perancangan dan pembuatan *molding* dari *3D printing* untuk komposit untuk *vacuum infusion* ini adalah:

1. Mengetahui apakah *molding* dengan *3D printing* dapat digunakan untuk membuat produk komposit dengan metode *vacuum infusion*.
2. Mengetahui apakah ada perubahan dimensi geometri produk dengan desain produknya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini disusun secara berurutan untuk mempermudah dalam pembahasan, penulisan tugas akhir ini dijelaskan sebagai berikut:

Bab I PENDAHULUAN

Bagian ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan

Bab II TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini berisi kajian pustaka dan menjelaskan dasar teori yang digunakan dalam penelitian dan perancangan yang dilakukan

Bab III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian dan metode penelitian yang digunakan

Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi tentang hasil dan pembahasan berdasarkan penelitian dan perancangan yang telah dilakukan

Bab V PENUTUP

Bagian ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan yang dilakukan serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam penelitian yang berjudul *The Durability of Large-Scale Additive Manufacturing Composite Molds* oleh (Hassen et al., 2016) dalam penelitian ini membahas Teknologi *Big Area Additive Manufacturing* (BAAM) Oak Ridge National Laboratory memungkinkan produksi cepat cetakan komposit termoplastik menggunakan termoplastik *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene* (ABS) yang diisi serat karbon. Menyajikan hasil validasi yang menunjukkan stabilitas cetakan cetak termoplastik untuk proses *Vacuum Assisted Resin Transfer Molding* (VARTM) suhu kamar. Resin termoplastik Elium Arkema diselidiki dengan berbagai bahan penguat. Hasil eksperimen meliputi karakterisasi dimensi permukaan alat menggunakan teknik pemindaian laser setelah *demolding* 10 bagian. Cetakan komposit termoplastik menawarkan produksi yang cepat dibandingkan dengan cetakan termoset yang dibuat secara tradisional.

Pada proses pembuatan produk komposit dengan metode *vacuum infusion* terdapat proses pembuatan *molding*, oleh karena itu (Ferretti et al., 2021) meneliti tentang pembuat cetakan menggunakan teknologi FDM dapat menjadi solusi cerdas untuk mengurangi biaya, tetapi karena proses pengendapan lapisan, kekasarannya cukup tinggi. Permukaan dapat ditingkatkan dengan mengurangi ketinggian lapisan, tetapi masih tidak mungkin untuk mencapai tingkat penyelesaian permukaan yang sama dari cetakan logam atau *gelcoat* tanpa menggunakan pengisi. Polimer termoplastik, juga digunakan dalam proses FDM, umumnya larut dalam pelarut tertentu. Aspek ini dapat dieksploitasi untuk melakukan penghalusan kimiawi pada permukaan eksternal suatu komponen. Kombinasi FDM dan *chemical smoothing* dapat menjadi solusi untuk menghasilkan cetakan berbiaya rendah dengan *finishing* permukaan yang sangat baik.

Pada penelitian oleh (Baraja, 2021) meneliti tentang proses pembuatan yang digunakan adalah menggabungkan proses *3D Printing* dengan komposit

sandwich. Komposit *sandwich* adalah komposit yang berisi tiga lapis, yaitu *skin*, *core*, dan *skin*. Dalam proses penelitian ini, produk hasil *3D Printing* sebagai cetakan sekaligus sebagai *core*. Produk yang dibuat adalah helm sepeda, karena memiliki geometri yang kompleks. Kemudian helm sepeda hasil cetak *3D Printing* dilakukan proses komposit *sandwich* dengan menggunakan proses *Vacuum Infusion*. Kemudian melakukan analisis geometri dengan cara hasil *scanning* pada helm sepeda dicocokkan dengan desain utama hasil helm sepeda untuk dilihat apakah ada perubahan dimensi pada helm sepeda setelah dilakukan proses komposit *sandwich* metode *vacuum infusion*.

Dalam manufaktur komposit, fabrikasi perkakas dan pemeliharaan perkakas berkontribusi pada sebagian besar dari total biaya. Permintaan untuk lebih banyak perkakas sangat menekankan pada kemampuan industri untuk membuat alat berkualitas tinggi sambil mempertahankan efektivitas biaya alat. Dalam penelitian yang berjudul *Investigating the Effectiveness of a 3D Printed Composite Mold* oleh (Wang et al., 2019) meneliti tentang keefektifan cetakan komposit cetak 3D. Penutup katup baja dari mesin bolak-balik pesawat dimodelkan menggunakan pemindaian 3D dan desain berbantuan komputer (CAD) untuk membuat cetakan komposit cetak 3D. Penutup katup serat karbon dievaluasi untuk akurasi dan kualitas dimensi sementara cetakan komposit cetak 3D dievaluasi untuk daya tahan dan stabilitas dimensi. Data yang dikumpulkan dari penelitian ini memberikan informasi berharga dalam pemahaman cetakan komposit cetak 3D, potensi perbaikan cetakan, dan pertimbangan untuk desain perkakas di masa depan.

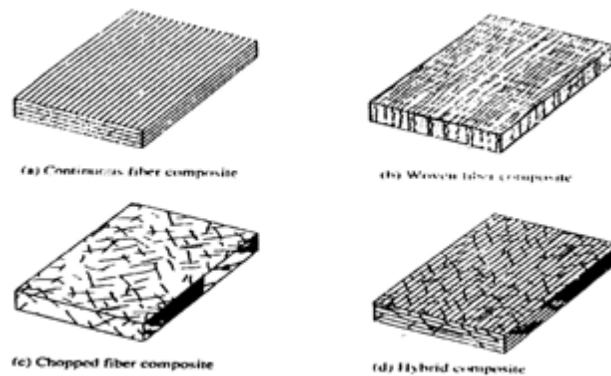
Pada penelitian yang berjudul *An assessment of additive manufactured molds for hand-laid fiber reinforced composites* oleh (Sudbury et al., 2017) tujuan dari proyek ini adalah untuk menggunakan manufaktur aditif area besar, umumnya dikenal sebagai pencetakan 3D, untuk membuat cetakan untuk proses produksi skala kecil ini dan menilai kemampuan untuk menggunakannya untuk komposit layup tangan. Ditemukan bahwa cetakan cetak dapat menjadi pendekatan yang efektif untuk proses produksi terbatas (4-5) dari bagian komposit yang diperkuat serat, tergantung pada bentuk cetakan, permukaan akhir, dan komposisi lapisan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Komposit adalah bahan dengan dua atau lebih konstituen atau fase berbeda yang memiliki sifat fisik atau kimia yang berbeda, yang dibangun menjadi arsitektur kompleks pada tingkat skala mikro, meso, atau makro. Pengembangan material komposit telah memperkaya sistem material modern, berkontribusi pada kemajuan berkelanjutan dalam ilmu dan teknik material dan meningkatkan kehidupan manusia. Komposit dapat dikatakan sebagai hasil desain struktural dan optimasi pada dimensi dan level yang berbeda, sering menggabungkan perkembangan terbaru dari berbagai bahan individu. Peningkatan kinerja atau fungsi baru yang dimiliki oleh satu bahan penyusun tidak dapat menyediakan dapat direalisasikan dalam komposit melalui *compositing*, antarmuka atau efek dimensi pada tingkat yang berbeda (Yi et al., 2018).

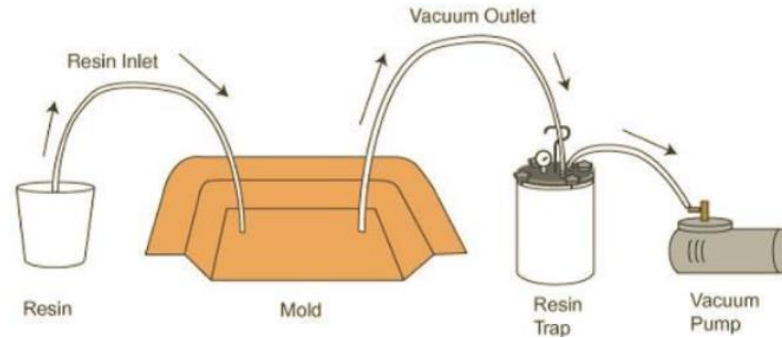
Manfaat yang didapatkan dari penggunaan komposit adalah kombinasi sifat kekuatan dan kekakuan yang tinggi serta berat jenis yang ringan. Hal tersebut didapat dengan memilih kombinasi material penguat dan material matriks yang tepat, sehingga didapat sebuah material komposit dengan sifat yang tepat sesuai dengan sifat produk tersebut. Material komposit mempunyai sifat dari material konvensional pada umumnya dari proses pembuatannya melalui pencampuran yang tidak homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat dengan gabungan, yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat (Widodo, 2008).



Gambar 2-1 Jenis-jenis dari *fiber-reinforced composites*
 Sumber: (Widodo, 2008)

2.2.2 *Vacuum Infusion*

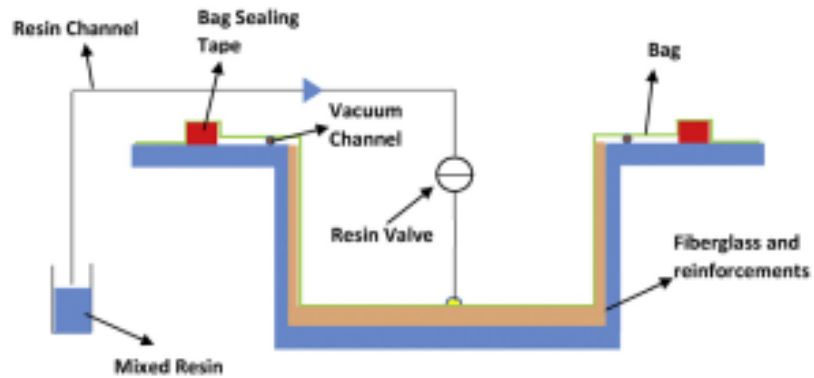
Proses *vacuum infusion* adalah teknik yang menggunakan tekanan vakum untuk mendorong resin menjadi laminasi. Bahan kering diletakkan ke dalam cetakan dan ruang hampa diterapkan sebelum resin dimasukkan. Setelah vakum total tercapai, resin benar-benar tersedot ke dalam laminasi melalui tabung yang ditempatkan dengan hati-hati. Proses ini dibantu oleh bermacam-macam persediaan dan bahan. Gambar 2-2 menunjukkan prosedur pembuatan komposit menggunakan proses infus vakum. *Glass fabric* digunakan dalam penelitian ini sebagai bahan penguat, resin epoksi (jenis *lycal*) telah dimanfaatkan sebagai bahan matriks (Abdurohman et al., 2018). Cetakan diperlukan dalam proses *vacuum infusion*, karena teknologi tanpa cetakan saat ini tidak memungkinkan produksi komponen komposit. Pembuatan cetakan biasanya menggunakan bahan *fiberglass* atau cetakan logam. Namun demikian, model awal diperlukan untuk pembangunan cetakan *fiberglass*, biasanya dibuat oleh CNC dalam kayu atau dalam busa poliuretan kepadatan tinggi. Model ini kemudian ditutup dengan lapisan agen pelepas (*Polyvinyl Alcohol*) atau lilin. Lapisan gelcoat diterapkan di atas model untuk mendapatkan permukaan yang mengkilap dan homogen pada cetakan, dan akhirnya serat direndam dalam epoksi atau resin termoseting untuk memberikan kekakuan dan konsistensi pada cetakan (Ferretti et al., 2021).



Gambar 2-2 Proses *vacuum infusion*

Sumber: (Baraja, 2021)

Metode *Vacuum Infusion* dilakukan dengan memasukkan resin ke dalam cetakan yang dibantu dengan pompa vakum. Metode ini memiliki kelebihan dapat mendistribusikan resin ke dalam cetakan dengan merata akibat daya tarik yang disebabkan oleh pompa vakum sehingga terjadi kevakuman yang maksimal pada cetakan yang menghasilkan peningkatan sifat mekanik pada hasil komposit tersebut. Metode pembuatan pada komposit ini berpengaruh pada sifat material komposit tersebut. Metode pembuatan komposit yang konvensional seperti *spray up* dan *hand lay-up* lebih mudah untuk dilakukan, akan tetapi hasil komposit dengan metode konvensional cenderung memiliki rongga dikarenakan udara yang terperangkap pada saat pembuatan komposit. Metode *Vacuum Infusion* merupakan salah satu metode modern pada proses pembuatan komposit yang dapat menggantikan metode konvensional. Metode *Vacuum Infusion* memiliki beberapa kelemahan, salah satunya ketika dilakukan proses vakum, resin dialirkan melalui selang menuju cetakan. Ketika proses resin dialirkan, durasi menjadi sangat penting. Apabila proses vakum terlalu lama maka resin akan mengeras sebelum seluruh bagian cetakan terlapisi resin (Saputra & Setyarso, 2016).



Gambar 2-3 Komponen dalam proses *vacuum infusion*

Sumber: (Abduruohman et al., 2018)



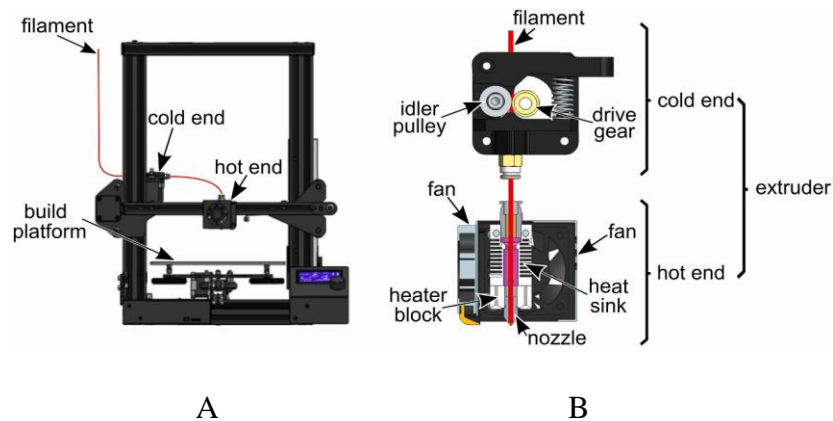
Gambar 2-4 Proses *vacuum infusion*

Sumber: (Abduruohman et al., 2018)

2.2.3 *Fused Filament Fabrication*

Proses *Fused Filament Fabrication* (FFF), yang juga disebut *Fused Deposition Modelling* (FDM), adalah salah satu metode *Additive manufacturing* (AM) yang paling populer. *Additive manufacturing* (AM) adalah proses membangun bagian melalui pengendapan beberapa lapisan. *Part* dirancang dengan alat desain berbantuan komputer (CAD) dan secara virtual diiris menjadi lapisan yang cocok untuk pemrosesan AM menggunakan perangkat lunak khusus. Umumnya, AM memiliki lebih banyak kebebasan untuk pola dan desain geometris tingkat lanjut jika dibandingkan dengan manufaktur subtraktif, seperti pemesinanc (Sudbury et al., 2017). Proses pencetakan AM biasanya menumpuk bahan lapis demi lapis untuk membangun produk tiga dimensi (3D). Karena

keuntungan dari *lead time* produksi yang rendah dan kemampuan untuk membuat geometri dan bentuk yang rumit, proses ini telah digunakan untuk berbagai aplikasi industri. Salah satu teknologi AM yang paling cepat berkembang dan banyak digunakan adalah *fused filament fabrication* (FFF) (Fu et al., 2021)

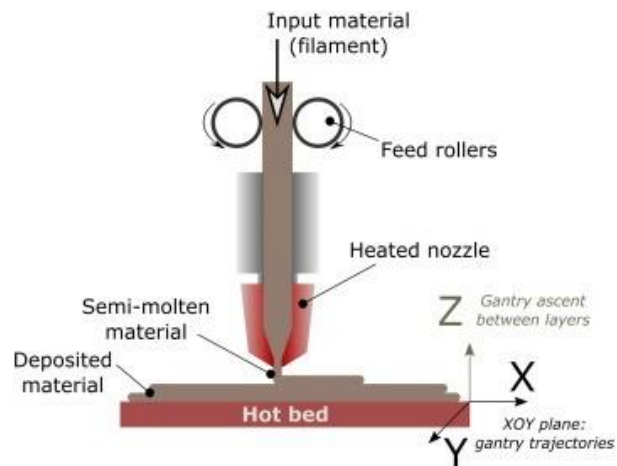


Gambar 2-5 Profil 3D printer kelas konsumen yang paling umum: (A) komponen utama 3D printer; dan (B) tata letak ujung dingin dan ujung panas ekstruder.

Sumber: (Fu et al., 2021)

Manufaktur aditif berbasis ekstrusi (AM) dikembangkan pada tahun 1988 oleh S. Scott Crump dan dikomersialkan oleh perusahaannya, Stratasys, dengan nama fused deposition modelling (FDM). Proses ini sering disebut sebagai *Fused Filament Fabrication* (FFF). Umumnya, printer berbasis FFF menggunakan *filament* termoplastik yang dibuka dari gulungan sedemikian rupa sehingga bahan didorong ke arah kepala ekstrusi (termasuk satu atau lebih nozel ekstrusi) dan menuju roda penggerak, yang diperlukan untuk mengontrol aliran. Nosel dipanaskan untuk *semi-cast* material, dan kepala dapat digerakkan baik secara horizontal maupun vertikal oleh mekanisme kontrol numerik, mengikuti jalur yang dilacak oleh perangkat lunak Gambar 2-6. Keuntungannya termasuk biaya pembelian dan pemeliharaan yang rendah, berbagai pilihan bahan yang tersedia secara komersial, bahan yang mudah diganti, bahan tidak beracun, platform kompak, dan operasi suhu rendah. Manfaat ini menjadikan FFF teknologi yang sangat populer, sangat cocok untuk rekayasa mikro, terus berkembang, dan mengatasi kemampuan terbatas untuk pembuatan suku cadang kecil yang menjadi ciri teknologi ini hanya beberapa tahun yang lalu. Namun, kelemahan utama mereka adalah kekasaran permukaan, penyegelan yang tidak sempurna antara lapisan dan jalur alat, kebutuhan akan bahan pendukung, penghapusan

dukungan, dan waktu bangunan yang lama untuk potongan besar (Pranzo et al., 2018).



Gambar 2-6 Proses *Fused Filament Fabrication* (FFF)

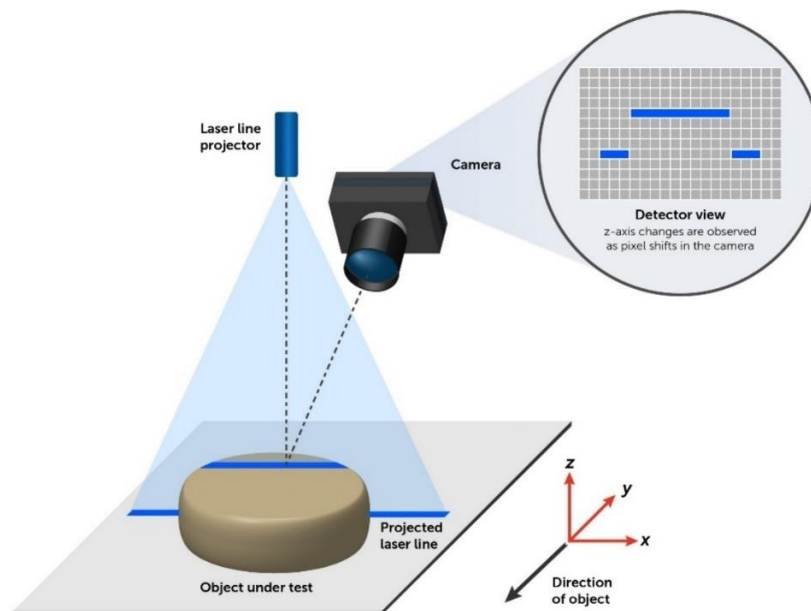
Sumber: (Pranzo et al., 2018)

Additive manufacturing (AM) benar-benar inovatif, ini membuka peluang baru dan cocok untuk banyak kemungkinan bagi perusahaan yang ingin meningkatkan manufaktur *efficiency*. AM signifikan merampingkan metode tradisional dan memiliki potensi untuk menjadi norma selama dekade yang akan datang. Menurut beberapa studi akademis, AM adalah alat yang ampuh untuk mengurangi kompleksitas dalam rantai pasokan dalam berbagai pendekatan, ada lima *key benefits* yang dimiliki AM dibandingkan manufaktur tradisional yaitu biaya, kecepatan, kualitas, inovasi/transformasi, dan dampak. AM tidak akan menggantikan metode produksi konvensional yang sudah ada. Namun, diharapkan dapat merevolusi banyak bidang khusus. Pertumbuhan eksponensial diperkirakan akan segera terjadi. Penghematan biaya dan kecepatan telah diprediksi dalam literatur (Attaran, 2017).

2.2.4 3D Scanning

Scanning 3D adalah proses menangkap informasi digital tentang bentuk objek dengan peralatan yang menggunakan laser atau cahaya untuk mengukur jarak antara *scanner* dan objek. *Scanning 3D* juga dikenal sebagai pencitraan 3D, *Laser Scanning*. *Scanning 3D* dapat menangkap data objek yang sangat kecil sampai pesawat ukuran penuh dan bangunan. Hal ini dapat digunakan untuk

kebutuhan modifikasi, manufaktur, monitoring yang dibantu komputer, atau hanya menyimpan informasi bentuk objek untuk kebutuhan di masa depan. Tujuan dari *scanner 3D* biasanya untuk membuat *point cloud* untuk sampel geometris pada permukaan objek. Titik-titik ini kemudian dapat digunakan untuk memperkirakan bentuk objek (proses yang disebut rekonstruksi). Jika informasi warna dikumpulkan pada setiap titik, maka warna pada permukaan objek juga dapat ditentukan. "Gambaran" yang diproduksi oleh *scanner 3D* menjelaskan jarak ke permukaan di setiap titik dalam gambar. Hal ini memungkinkan posisi tiga dimensi dari setiap titik dalam gambar untuk diidentifikasi. Untuk kebanyakan situasi, pemindai secara tunggal tidak akan menghasilkan model yang lengkap dari objek. Beberapa *scanning*, bahkan ratusan dari berbagai arah yang biasanya diperlukan untuk mendapatkan informasi tentang semua sisi objek. Secara umum, perangkat yang menangkap informasi 3D disebut sebagai *scanner 3D* (Komarayatna, 2016).

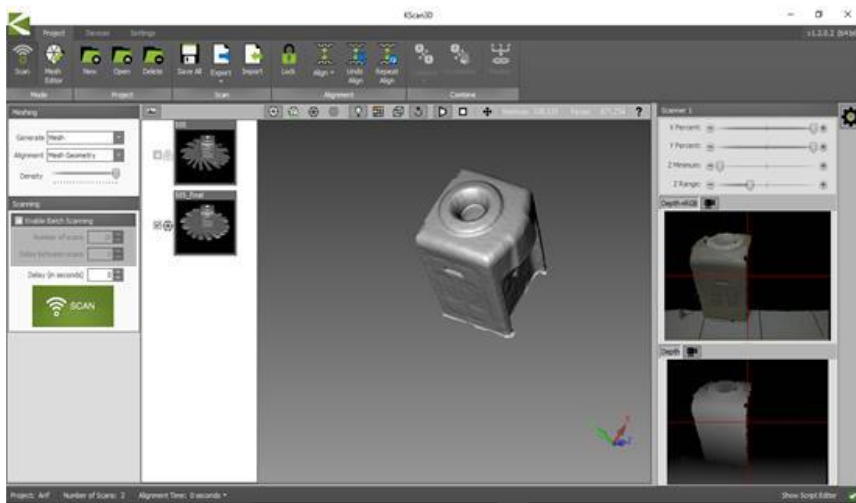


Gambar 2-7 Skema proses *3D scanning*

Sumber: <https://shop62004.mtzionriley.org>

Scanner 3D adalah teknologi yang digunakan untuk memindai objek nyata untuk mendapatkan bentuk, ukuran dan fitur lainnya agar menghasilkan gambar yang sangat akurat, serta memberikan informasi dari masing-masing objek pada layar computer. Semua dimensi dari objek nyata dapat diambil, seperti panjang, lebar, tinggi, volume, fitur ukuran, fitur lokasi, luas permukaan,

dan lainnya (Armansyah et al., 2018). Pemindai 3D menggunakan teknologi pengukuran Laser/cahaya putih/cahaya biru tiga dimensi yang nyaman dan lurus ke depan untuk memvisualisasikan objek berbentuk sederhana dan kompleks. Pemindaian 3D adalah alat yang sukses untuk teknik rekayasa balik. Pemindai 3D mengubah data objek fisik menjadi model CAD 3D digital. Penerapan teknologi ini cocok untuk bidang seperti rapid prototyping, inspeksi dan manajemen mutu, dokumentasi dan restorasi cagar budaya. Pemindai 3D dapat memberikan data yang sangat tepat dalam waktu yang lebih singkat dan dengan biaya rendah jika digunakan dalam volume besar. Di bidang teknik mesin, digunakan untuk inspeksi benda kerja, kontrol kualitas, rekayasa balik, analisis deformasi, rekayasa ulang cetakan dan cetakan (Haleem et al., 2022).



Gambar 2-8 Hasil *scan* benda nyata

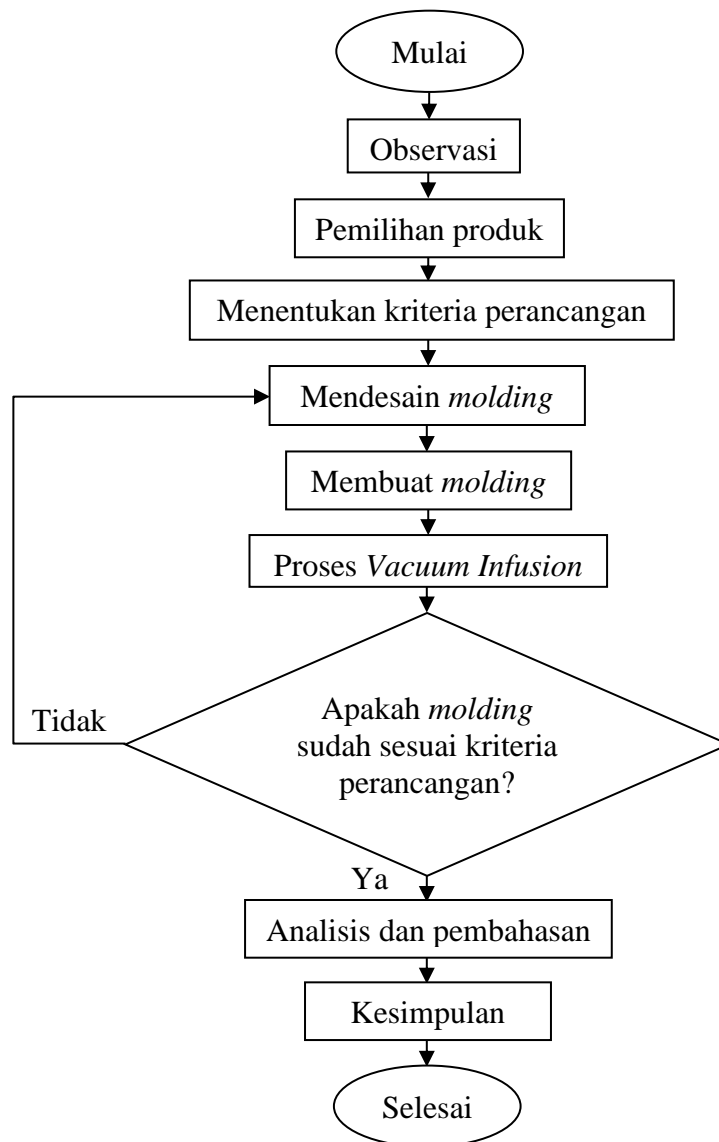
Sumber:(Armansyah et al., 2018)

Terdapat dua jenis pemindai, pemindai kontak dan pemindai non kontak. Pemindai kontak adalah pemindai yang mengambil informasi dengan menyentuh objeknya. Probe 3D menyentuh beberapa titik objek. Pemindai atau *scanner* menggunakan poin atau titik yang dikumpulkan mendigitalkan objek dan memodelkan 3d objek tersebut. Sedangkan pemindai non kontak adalah pemindai yang menggunakan cahaya terstruktur atau laser untuk melewati objek. Pemindai atau scanner mengukur waktu yang diperlukan cahaya atau laser untuk melewati sebuah objek dan memantul kembali ke pemindai. Kumpulan data ini sebagai poin atau titik dan hasilnya adalah pemodelan 3D dari permukaan objek yang dipindai (Mongeon, 2015).

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian diperlukan untuk menentukan berbagai tahapan proses yang diperlukan untuk mengimplementasikan desain yang telah dirancang, mulai dari observasi hingga hasil akhir berupa kesimpulan yang akan menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian, untuk melihat berbagai tahapan proses yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3-1 di bawah ini:



Gambar 3-1 Alur penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

Penelitian ini memiliki beberapa alat dan bahan yang dibutuhkan, termasuk juga perangkat keras serta perangkat lunaknya. Berikut alat dan bahan yang dibutuhkan sebagai berikut:

1. Laptop

Laptop merupakan salah satu alat yang paling penting dalam penelitian ini, karena laptop berfungsi untuk mendesain, melakukan cetak 3D dan melakukan *scanning* pada cover spion. Spesifikasi laptop yang digunakan adalah Acer Aspire E 14 dengan sistem operasi Windows 10 dan RAM 8 GB.



Gambar 3-2 Laptop Acer Aspire E 14

2. *Software* Perancangan (Autodesk Inventor 2022 dan Fusion 360)

Software Autodesk Inventor yang digunakan adalah Autodesk Inventor 2022. *Software* ini digunakan untuk mendesain dan mencocokkan hasil *scanning* dengan desain utamanya.



Gambar 3-3 Logo Autodesk Inventor



Gambar 3-4 Logo Fusion 360



Gambar 3-5 Logo Solidworks

3. Mesin 3D Print

Mesin 3D Print yang digunakan adalah mesin 3D *Print* Creality cr10s Pro. *Software* yang digunakan mengikuti kebutuhan mesin 3D *Print* Creality cr10 s Pro tersebut.



Gambar 3-6 Mesin 3D print Creality cr10 s Pro

4. *Filament* PLA

Pada gambar Gambar 3-7 menunjukkan *Polylactic Acid* (PLA) yang merupakan bahan dasar pembuatan 3D *printing*. *Filament* PLA ini digunakan untuk pencetakan *molding* untuk membuat produk komposit metode *vacuum infusion*.



Gambar 3-7 Filament PLA

5. 3D Scan Sense

Alat 3D Scanner yang digunakan adalah 3D Scanner dengan brand Sense. Alat Scan dengan seri SensePro ini spesifikasi volume pemindaian minimal 50 mm x 50 mm x 50 mm dengan rentang operasi 200 ± 800 mm. Keakuratan pemindai sekitar 0,5 m jarak, 3D scan SensePro memiliki resolusi kedalaman 1 mm. *Single capture accuracy max 0,1 mm.*



Gambar 3-8 3D scan SensePro

6. Meja Putar Otomatis

Meja putar otomatis digunakan dalam proses 3D scanning agar memudahkan dalam proses pengambilan gambar objek. Objek yang di scan akan stabil dan gerakan dalam proses scanning konsisten.



Gambar 3-9 Meja putar otomatis

7. Tabung Reservoir (*Catch Pot*)

Tabung Reservoir (*Catch Pot*) mempunyai 2 input. Input 1 berfungsi untuk menampung sisa resin saat resin mengisi cetakan yang sudah di vakum dan mencegah sisa resin masuk dan merusak pompa, sedangkan input 2 berfungsi untuk membaca tekanan saat melakukan proses vakum.



Gambar 3-10 Tabung reservoir

8. *Vacuum Pump*

Vacuum pump atau pompa vakum adalah pompa yang menghisap udara yang berfungsi untuk menghisap resin masuk kedalam cetakan dan menghisap udara pada plastik sehingga terjadi kevakuman atau kekedapan udara pada plastik. *Vacuum pump* yang digunakan bermerk Krisbow dengan daya $\frac{1}{2}$ hp.



Gambar 3-11 *Vacuum pump*

9. Resin dan Katalis

Resin merupakan polimer sintetik yang memiliki perekat, dan mengeras pada waktu yang ditentukan. Resin yang digunakan pada penelitian ini adalah resin SW 2668 WNC.

Katalis berfungsi untuk mempercepat proses pengeringan (*curing*) pada bahan matriks suatu komposit.



Gambar 3-12 Resin & katalis

10. Timbangan Digital

Timbangan adalah alat untuk mengukur berat resin dan katalis yang digunakan pada saat proses infus vakum.



Gambar 3-13 Timbangan digital

11. *Fiber Glass* (Serat Kaca)

Serat *fiberglass* digunakan untuk penguat dalam pembuatan cetakan dan produk komposit *sandwich*. Serat *fiberglass* yang digunakan adalah tipe acak seperti dapat dilihat pada Gambar 3-14.



Gambar 3-14 *Fiberglass*

12. *Vacuum Bagging Film*

Vacuum Bagging Film berfungsi sebagai wadah diletakkannya cetakan *3D print* komposit yang akan dilakukan proses *vacuum infusion*. Fungsi lainnya yaitu untuk mencegah udara keluar masuk pada saat proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-15 *Vacuum bag film*

13. *Sealant Tape*

Sealing tape pada penelitian ini berfungsi sebagai perekat untuk menutup

plastik *vacuum bagging film*. *Sealent tape* juga berfungsi untuk menambal plastik, selang dan filter resin apabila terdapat kebocoran angin.



Gambar 3-16 *Sealent tape*

14. Kain *Peel Ply*

Kain *peel ply* memiliki fungsi sebagai pembatas serat kaca atau *fiberglass* dengan apa yang ada di atasnya seperti kain jaring dan plastik sehingga ketika komposit telah kering, kain jaring dan plastik tidak menempel pada *fiberglass*.



Gambar 3-17 Kain *peel ply*

15. Strimin

Kain jaring atau strimin berfungsi sebagai media agar terdapat jarak antara *fiberglass* dan plastik sehingga memudahkan aliran resin kepada *fiberglass* tanpa adanya hambatan.



Gambar 3-18 Strimin

16. Selang Spiral, Selang 8 mm, Selang 10 mm

Beberapa ukuran dan jenis selang dibutuhkan untuk membuat selang aliran resin guna menggantikan peran *vacuum block* saat proses *vacuum infusion* agar resin menyebar secara merata.



Gambar 3-19 Selang 10 mm



Gambar 3-20 Selang spiral

17. Dempul Plastik

Dempul berfungsi untuk menghaluskan permukaan cetakan sehingga prototipe produk yang dihasilkan lebih halus dan lebih rapih. Fungsi lainnya yaitu untuk memperkuat cetakan sehingga tidak mudah rusak. Sedangkan *hardener* berfungsi untuk mempercepat proses reaksi pengeringan dempul.



Gambar 3-21 Dempul plastik



Gambar 3-22 Hardener

18. *Mold Release Agent*

Mold Release agent berfungsi sebagai bahan untuk mencegah hasil produk melekat di cetakan dengan cara dioleskan secara merata pada cetakan.



Gambar 3-23 *Mold release agent*

19. Kuas

Kuas pada penelitian ini digunakan untuk mengoleskan resin agar memudahkan pembentukan serat kaca ke cetakan sebelum masuk proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-24 Kuas

20. Isolasi Kertas

Isolasi kertas digunakan untuk menutupi bekas pemotongan strimin agar pinggiran yang tajam tidak membuat *vacuum bag* mengalami kebocoran serta digunakan dalam proses penguncian selang output setelah proses *vacuum infusion* telah selesai.



Gambar 3-25 Isolasi kertas

21. Gelas Plastik dan Tuas Pengaduk

Gelas plastik dan tuas pengaduk digunakan untuk mencampur resin dan katalis sebelum digunakan pada proses *vacuum infusion* seperti dapat dilihat pada gambar Gambar 3-26 & Gambar 3-27.



Gambar 3-26 Gelas plastik



Gambar 3-27 Tuas pengaduk

22. Amplas

Amplas berfungsi untuk menghaluskan dan merapikan hasil dempul dan 36 prototipe produk setelah kering. Jenis amplas yang digunakan untuk penelitian ini yaitu amplas bulat (80 & 120) dan amplas persegi tipe (400, 800, 1000, dan 2000). Bentuk dari amplas bulat dan amplas persegi dapat dilihat pada Gambar 3-28 & Gambar 3-29.



Gambar 3-28 Amplas bulat



Gambar 3-29 Amplas persegi

23. *Spray Cat* Putih

Spray Cat dengan warna putih digunakan untuk melapisi hasil produk cover spion motor, karena saat proses *scanning* akan menangkap objek berwarna putih.



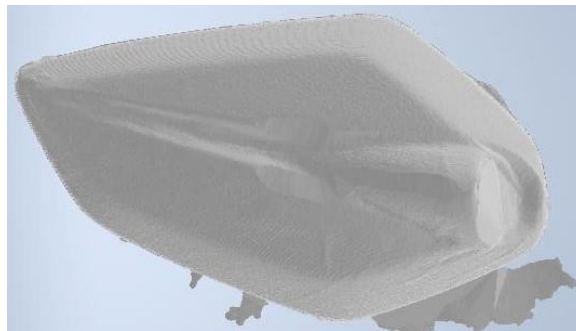
Gambar 3-30 Spray cat

3.3 Desain Produk dan *Molding*

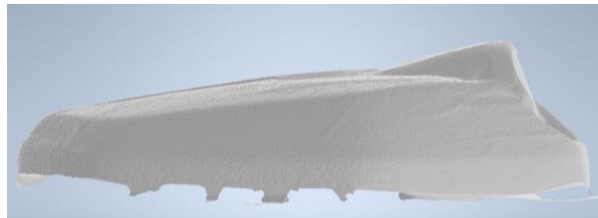
3.3.1 Desain Produk

Produk yang dipilih untuk dalam penelitian ini yaitu cover spion motor. Produk tersebut hanya sebagai prototipe. Pemilihan cover spion dalam penelitian ini karena produk yang yang dibuat menggunakan *molding* dalam penelitian ini bertujuan untuk produk-produk modifikasi. Selain itu bentuk geometri dari cover spion motor memiliki bentuk geometri yang cocok untuk diproduksi menggunakan *molding* dengan metode *vacuum infusion* yaitu sudut pada bentuk geometri cover spion memiliki sudut diatas 90° . Kemudian untuk membantu

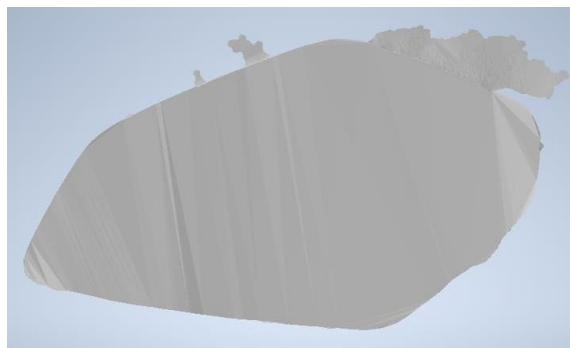
proses desain ulang cover spion motor dilakukan proses *3D scanning*. *3D scanning* produk merupakan proses memindai bagian luar spion pada sepeda motor untuk memperoleh bentuk geometri yang mirip dari spion tersebut dengan bentuk *file stl*. Hasil *scanning* tersebut diolah menggunakan *software* Fusion 360 untuk diatur skala dan posisi koordinatnya sesuai dengan kebutuhan untuk desain ulang. *File* yang sudah disesuaikan skala dan koordinatnya yang kemudian digunakan untuk bantuan pola saat proses desain produk dan dengan desain produk yang tersebut dapat dibuat cetakannya. Berikut merupakan hasil dari *scanning* spion sepeda motor.



Gambar 3-31 Tampak atas hasil *scan*



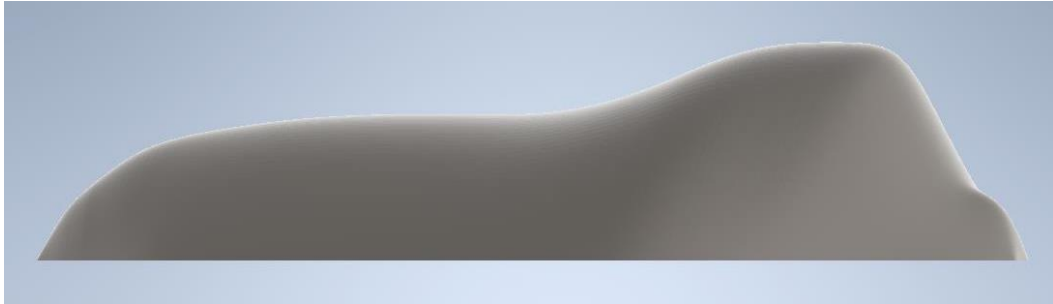
Gambar 3-32 Tampak samping hasil *scan*



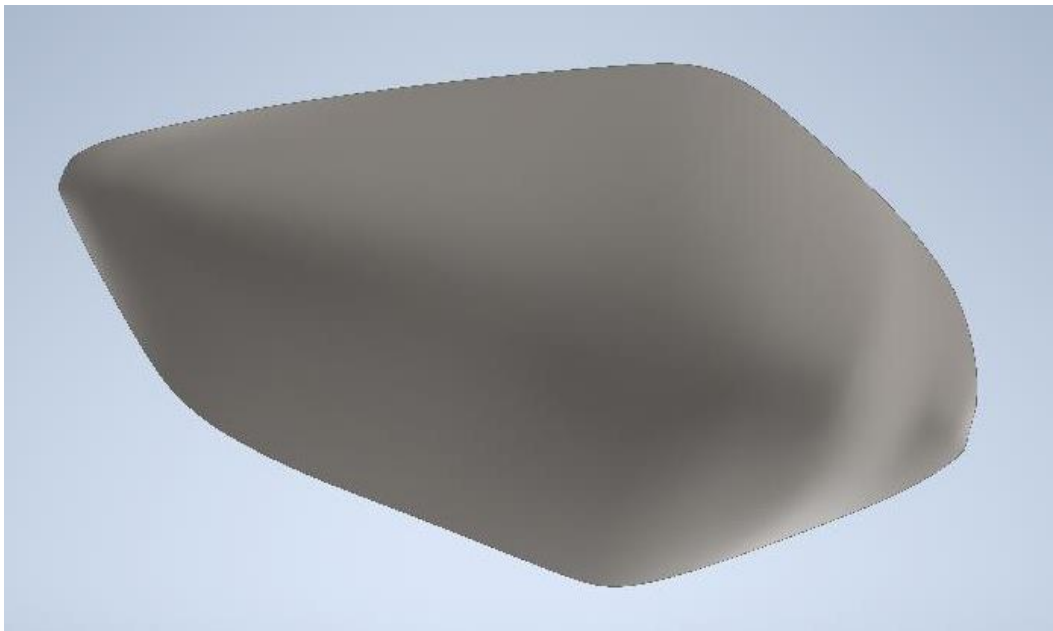
Gambar 3-33 Tampak bawah hasil *scan*

Desain ulang tersebut dilakukan menggunakan *software* Autodesk Inventor, yaitu dengan mengimpor *file stl* hasil *scanning* tersebut kedalam *software* Autodesk Inventor. Mendesain ulang produk tersebut diawali dengan membentuk *surface*

sesuai dengan pola geometri hasil *scanning*, kemudian *surface* tersebut dibuat *solid body* menggunakan fitur *thicken*.



Gambar 3-34 Tampak samping desain cover spion



Gambar 3-35 Tampak atas desain cover spion

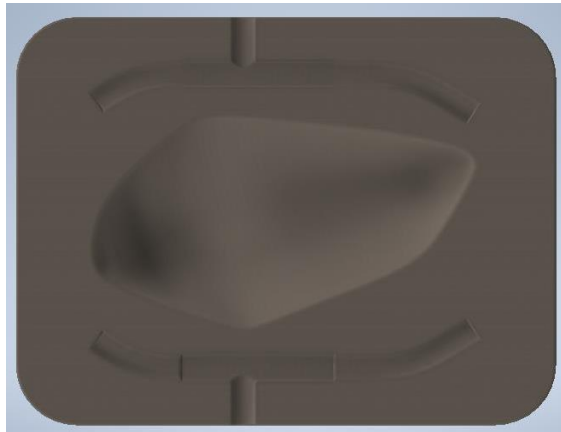
3.3.2 Desain *Molding*

Mendesain *molding* untuk produk cover spion perlu ditentukan adanya dikriteria perancangan. Kriteria perancangan merupakan suatu target yang ingin dicapai dalam penelitian ini. *Molding* tersebut akan digunakan untuk mencetak produk komposit dengan metode *vacuum infusion*, berikut merupakan kriteria perancangan dari cetakan yang akan dibuat:

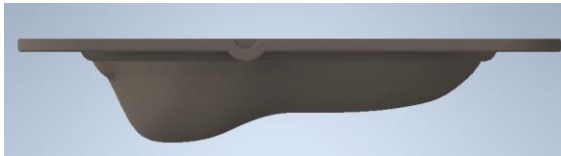
1. Cetakan dibuat menggunakan *3D printing* dengan material filament *Polyactic Acid* (PLA).
2. *Sealant tape* tidak mengotori cetakan.

3. Penyebaran resin secara merata tanpa *vacuum block*.
4. Cetakan dapat digunakan secara berulang (minimal 4 kali).

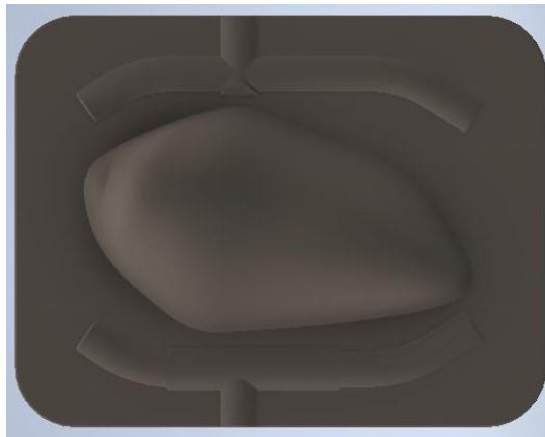
Pembuatan *molding* dibuat menggunakan *software* Autodesk Inventor 2022. Desain dibuat seefisien mungkin untuk mengurangi penggunaan *filament 3D print* dan mengurangi waktu pengerjaan pada *3D print*. Ukuran cetakan yaitu sebesar 220 x 170 x 39,96 mm dan tebal 5 mm.



Gambar 3-36 Tampak atas desain *molding*



Gambar 3-37 Tampak samping desain *molding*



Gambar 3-38 Tampak bawah desain *molding*

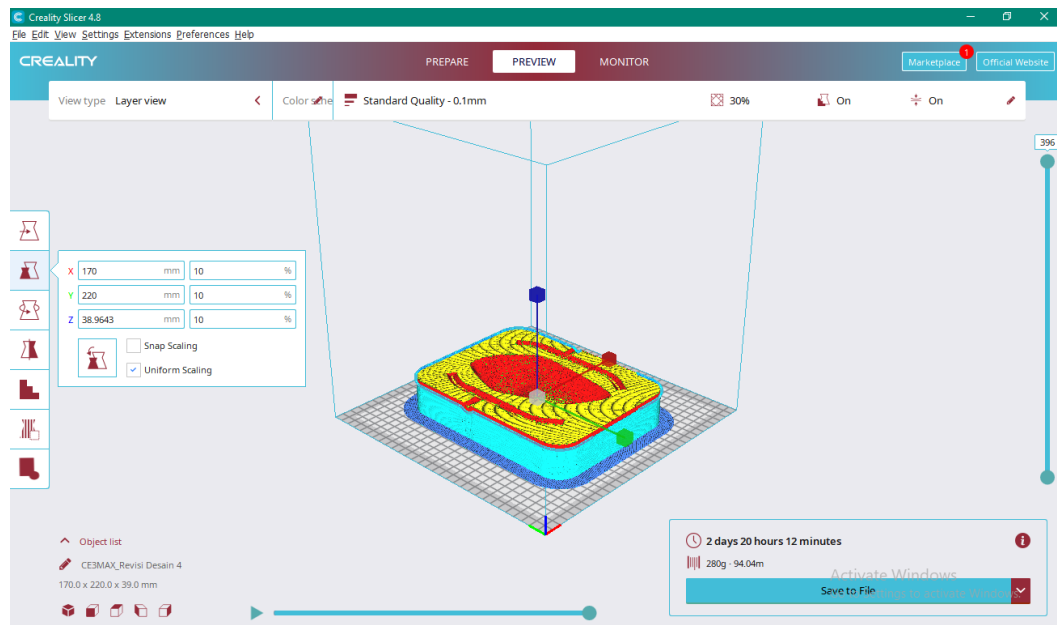
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan *Molding*

4.1.1 Proses *3D printing* cetakan

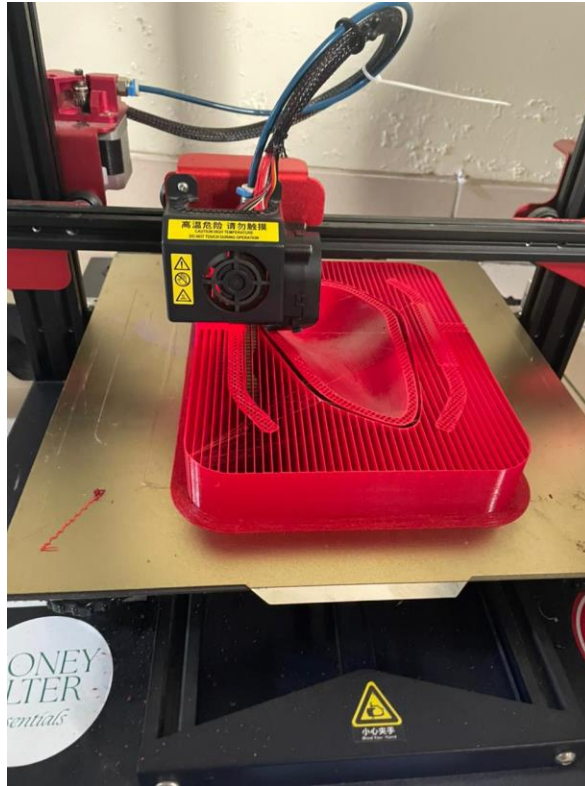
Cetakan yang digunakan dalam karya ini dibuat menggunakan *mesin 3D printing* FFF dengan *volume build* 170 mm X 220 mm X 38,96 mm. Proses percetakan membutuhkan waktu sekitar 2 hari 20 jam estimasi tersebut didapatkan setelah desain melalui proses *slicer*. Pada proses cetak *3D Print* ini, *filament* yang digunakan adalah PLA (*Polylactic Acid*), hal ini dikarenakan *filament* PLA (*Polylactic Acid*) tidak rentan mengalami *warping* saat proses *3D printing* dan memenuhi kriteria yaitu *filament* mulai berubah bentuk pada suhu sekitar 70° C.



Gambar 4-1 Proses *Slicing*

Langkah pertama yang dilakukan adalah meng-*import* desain *molding* dalam bentuk *file* STL kedalam *software 3D Print*, kemudian mengatur parameter *infill pattern grid* dengan kerapatan sebesar 30%, *infill support grid* dengan *support density* 10%, suhu *nozzle* 230° *celcius*, suhu bed 60° *celcius* dan mengatur kecepatan *nozzle* pada pengaturan standar serta mengatur posisi peletakan benda

yang akan dicetak seperti terlihat pada gambar Gambar 4-1. Posisi cetakan pada *build platform* seperti pada Gambar 4-1 untuk menghindari *support* menempel pada permukaan yang akan digunakan mencetak produk dengan proses *vacuum infusion*.



Gambar 4-2 Proses 3D printing molding



Gambar 4-3 Hasil *3D printing molding*

4.1.2 Proses *Finishing*

Proses *finishing* cetakan merupakan proses yang penting karena hasil permukaan *molding* dari proses *3D print* mempunyai permukaan yang kurang halus. Proses *finishing* dilakukan dengan memberi lapisan dempul dengan jenis dempul plastik. Proses dempul dilakukan sebanyak 3 kali lapisan, setelah dempul mengeras kemudian dilakukan proses amplas hingga permukaan dempul menjadi halus dan dapat digunakan untuk mencetak produk. Permukaan *molding* yang halus akan mempermudah pelepasan produk dari cetakannya dan membuat permukaan luar produk menjadi halus. Berikut merupakan Gambar 4-4 proses pendempulan cetakan.



Gambar 4-4 Proses *finishing* menggunakan dempul

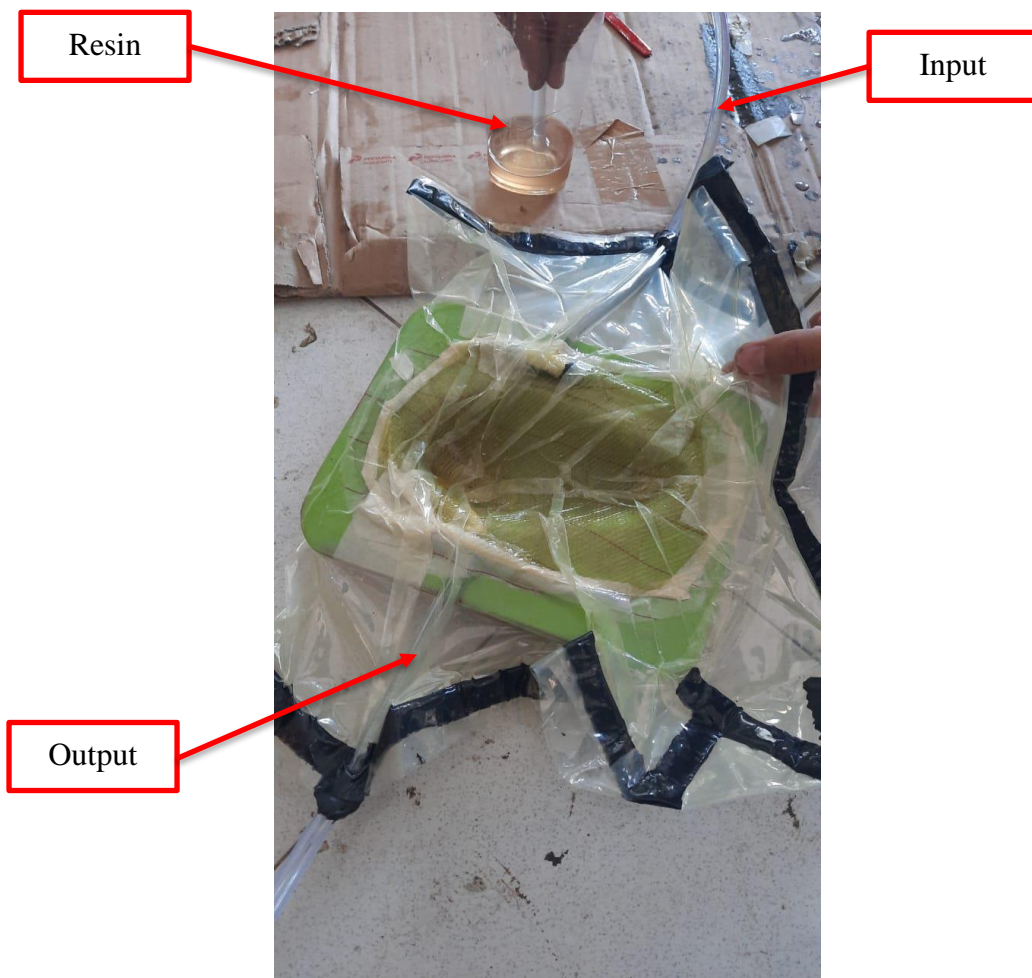


Gambar 4-5 Hasil *finishing*

4.2 Proses *Vacuum Infusion*

Proses *Vacuum Infusion* merupakan salah satu metode pengerjaan komposit dengan memanfaatkan tahanan hisap udara pada *plastic bag* yang direkatkan dengan *sealant tape* untuk mencegah kebocoran dan mencetak komposit dengan mengalirkan resin dan katalis dari selang *input* menuju selang *output*. Dalam penelitian ini proses *vacuum infusion* dilakukan sebanyak empat kali untuk mengetahui ketahanan cetakan dan kualitas produk yang dihasilkan dari proses *vacuum infusion* tersebut. Proses *vacuum infusion* untuk pembuatan produk cover spion diawali dengan menyiapkan bahan seperti *fiberglass* sebanyak 4 lapis, *kain peelply* dan kain strimin masing masing 1 lapis, yang pemotongannya disesuaikan dengan bentuk cetakan. Langkah selanjutnya yaitu pemotongan selang sesuai dengan pola aliran resin pada cetakan yang nantinya

digunakan pada saat proses infus resin. Langkah selanjutnya adalah proses penyatuan komposisi *fiberglass*, *peel ply* dan *strimin* menjadi satu di dalam *vacuum bagging film*. Proses ini dilakukan dengan cara meningkatkan tekanan *vacuum* secara perlahan untuk disesuaikan dengan bentuk pola cetakan. Setelah penyatuan komposisi dilakukan perlu dilakukan pengujian kebocoran yang dilakukan dengan pengecekan secara berkala nilai tekanan hisap. Proses terakhir yaitu mengalirkan resin dari selang input menuju selang output. Proses infus resin selesai dilakukan jika resin dipastikan sudah menyebar secara merata. Setelah proses infus resin selesai, kemudian melakukan penguncian pada selang output untuk menjaga tekanan hisap pada angka -14 psi.



Gambar 4-6 Proses *vacuum infusion*



Gambar 4-7 Kondisi *molding* saat proses *vacuum*

4.3 Produk Hasil *Vacuum Infusion*

Produk yang dihasilkan *molding* (FFF) dengan metode *vacuum infusion* sesuai yang diharapkan. Masing-masing produk memiliki bentuk yang mirip, hanya tebal masing-masing produk terdapat perbedaan di beberapa bagian. Perbedaan ini disebabkan oleh resin yang terkandung dalam kantong *vacuum*. Hal lain dapat disebabkan karena tekanan hisap berkurang saat proses resin mengering. Tekanan hisap yang berkurang disebabkan karena ada udara yang masuk melalui sela-sela selang output yang kurang tertutup saat proses penguncian selang. Hal tersebut yang membuat perbedaan pada tebal dari masing-masing produk.



Gambar 4-8 Produk 1



Gambar 4-9 Produk 2



Gambar 4-10 Produk 3



Gambar 4-11 Produk 4

4.4 Analisis dan Pembahasan

4.4.1 Pengujian *Molding*

Proses pengujian *molding* (FFF) dilakukan dengan empat kali proses pembuatan produk. Dalam pengujian tersebut parameter yang digunakan konsisten yaitu dengan menggunakan 4 lapis *fiberglass*, perbandingan resin dan katalis 100:1 gram, dan tekanan hisap -14 psi. Penelitian tentang proses pembuatan cetakan komposit dengan metode *vacuum infusion* ini telah mencapai target dan kriteria yang diinginkan seperti ditunjukkan pada Tabel 4-1. Pada proses pencapaian target dan kriteria perancangan tersebut sedikit menemui masalah yaitu pengelupasan lapisan dempul di beberapa bagian cetakan. Saat masalah diselesaikan maka kriteria penelitian juga ikut tercapai.

Tabel 4-1 Hasil pencapaian kriteria perancangan

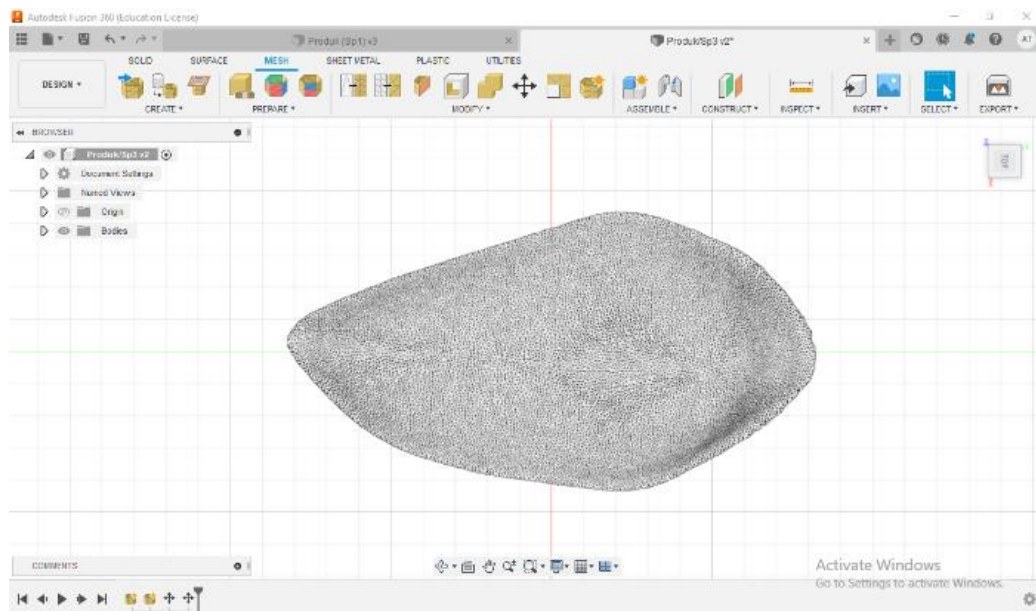
| No | Kriteria Perancangan | Hasil |
|----|--|----------|
| 1 | Cetakan dibuat menggunakan 3D <i>printing</i> berbahan <i>filament</i> PLA (<i>Polyactic Acid</i>) | Tercapai |
| 2 | <i>Sealant tape</i> tidak mengotori cetakan | Tercapai |
| 3 | Penyebaran resin secara merata tanpa <i>vacuum block</i> | Tercapai |
| 4 | Cetakan dapat digunakan secara berulang (minimal 4 kali) | Tercapai |

4.4.2 Kualitas Geometri Produk

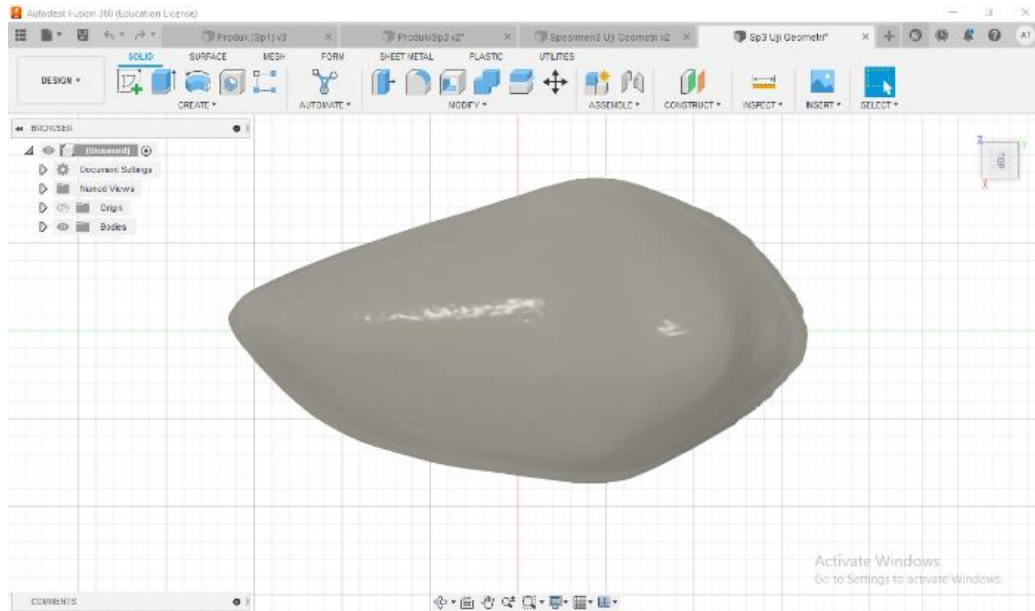
4.4.2.1 Proses Perbandingan Geometri

Pengukuran produk hasil *vacuum infusion* dilakukan menggunakan alat 3D scanner SensePro. Pemindaian dilakukan pada dua produk yaitu produk pengujian hasil pengujian pertama dan ketiga. Pemindaian yang dihasilkan dianalisis dan dibandingkan menggunakan *software* Solidworks, hasil analisis menunjukkan bagaimana kualitas geometri produk yang dihasilkan saat pengujian *molding*. Hasil dari *scanning* didapatkan dalam bentuk *mesh*, dan

disimpan dalam bentuk *file* STL. *File* dalam bentuk STL tersebut perlu diubah menjadi STEP agar dapat dibandingkan dengan desain aslinya menggunakan *software* Solidwork. Proses perubahan *file* STL menjadi STEP disebut proses *modelling*. Proses *modelling* dilakukan dengan mengimpor *file* hasil *scanning* yang berbentuk STL kedalam *software* Autodesk Fusion 360. Proses yang dilakukan adalah dengan mengolah *mesh* hasil *scanning* yang akan dibuat menjadi bentuk *surface*. Setelah terbentuk *surface*, hasil tersebut disimpan dalam format STEP, kemudian baru dapat dibandingkan dengan desain aslinya.

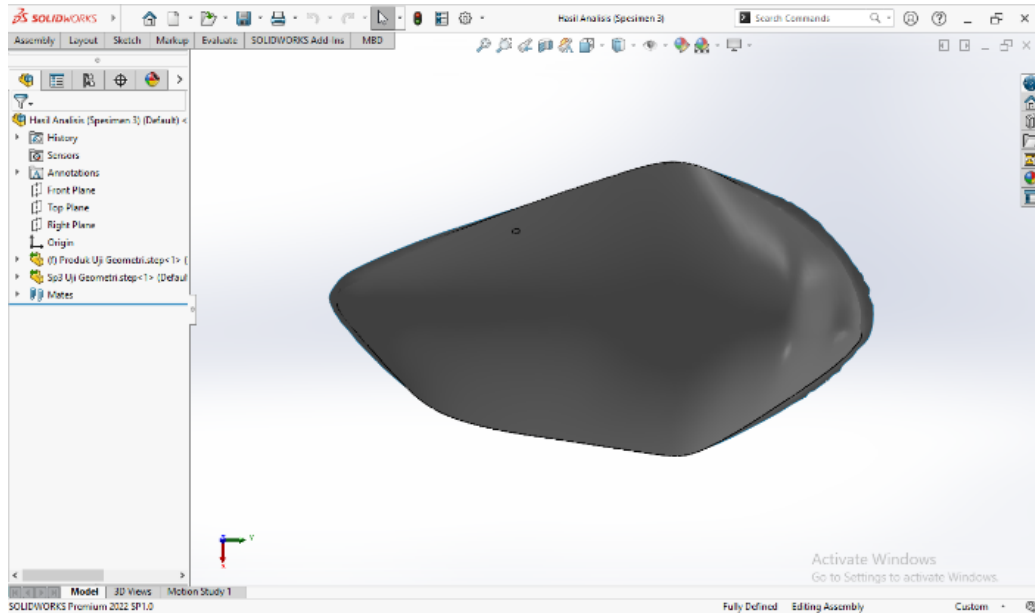


Gambar 4-12 Pengolahan *mesh* hasil *scanning*



Gambar 4-13 Hasil perubahan dari *mesh* menjadi *surface*

Setelah didapat *file* dengan format STEP, perbandingan produk cover spion dengan desain aslinya dapat dilakukan. Perbandingan produk cover spion dilakukan hanya pada geometri bagian luar cover spion untuk melihat apakah ada perubahan dimensi pada produk cover spion yang dihasilkan oleh *molding* (FFF) menggunakan proses komposit metode *vacuum infusion*. Cara membandingkan produk dengan desainnya yaitu dengan mensejajarkan hasil *scanning* (*file* STEP) ke desain aslinya. Mensejajarkan *file* tersebut dilakukan menggunakan fitur *assembly* tiga *plane* (*front, top, & right*).

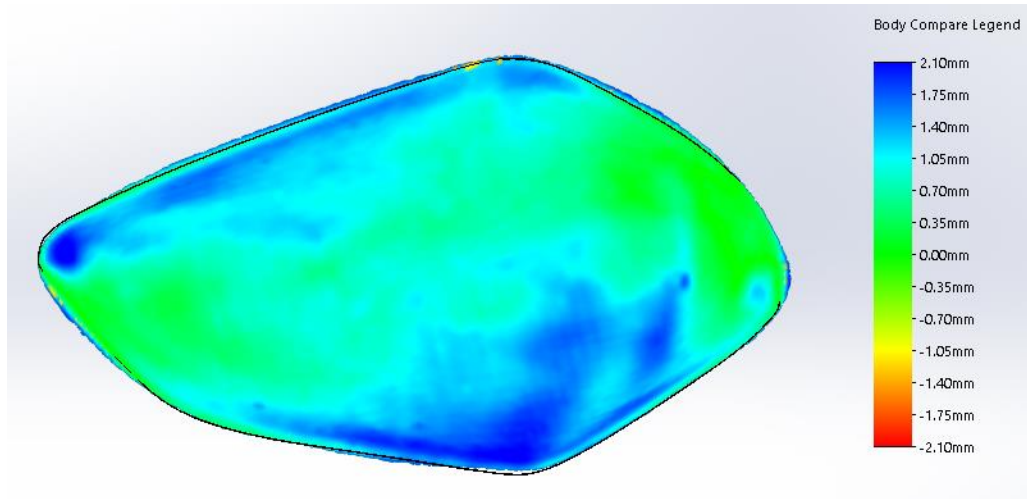


Gambar 4-14 Hasil penggabungan hasil *scanning* produk dan desain aslinya

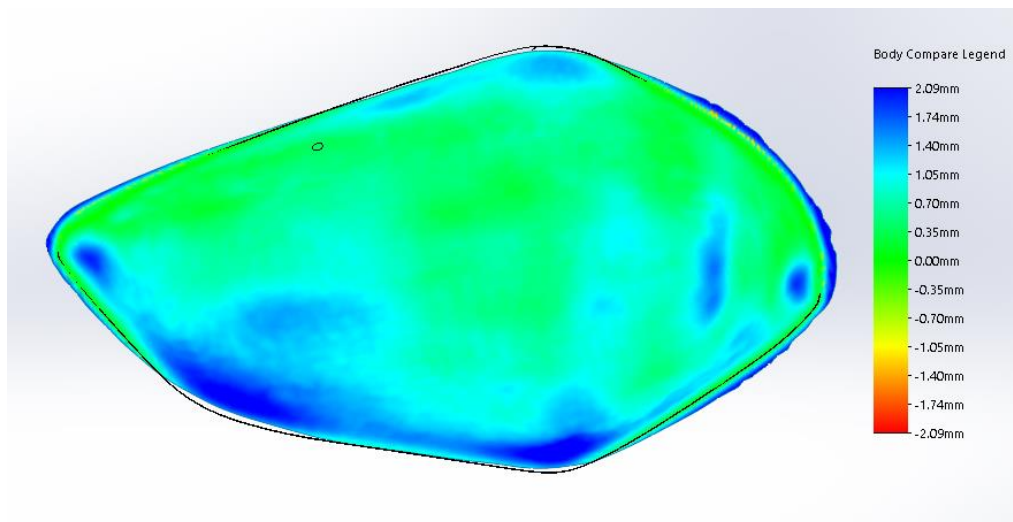
4.4.2.2 Hasil Perbandingan Geometri

Gambar 4-15 dan Gambar 4-16 menunjukkan hasil analisis kualitas geometri produk. Rentang angka 0-2,10 mm pada gambar Gambar **4-15** dan Gambar **4-16** menunjukkan jarak geometri produk yang lebih kecil dari geometri desain, dengan hasil tersebut menunjukkan bahwa produk memiliki dimensi yang lebih kecil dari desain. Kemudian pada rentang angka 0-(-2,10) mm merupakan jarak geometri produk yang melebihi geometri dari desain. Diamati bahwa terdapat penyimpangan sebagian besar pada garis warna biru muda yaitu pada rentang angka 0,70-1,05 mm. Area penyimpangan yang lebih tinggi berada di rentang angka 1,40-2,10 mm diamati di beberapa lokasi produk, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4-15 & Gambar 4-16. Penyimpangan geometri tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti dari hasil *3D printing*, proses *finishing*, maupun keakuratan dari alat *3D scan*. Parameter *3D printing* yang dipakai dalam penelitian ini memiliki tujuan agar penyimpangan geometri dalam hasil *3D printing* dapat dikendalikan dalam rentang angka 0-0,1 atau 0-(-0,14). Kemudian faktor lain yaitu proses *finishing* yang menggunakan dempul mengakibatkan ukuran permukaan *molding* tersebut menjadi sedikit mengecil dari desain aslinya. Hal tersebut mempunyai pengaruh yang besar terhadap adanya penyimpangan geometri tersebut. Selain itu faktor dari alat *3D scan* juga

mempengaruhi hasil analisis geometri, alat *3D scan* yang digunakan mempunyai spesifikasi keakuratan yaitu dapat memindai dalam jarak sekitar 0,5 m, *3D scan SensePro* memiliki resolusi kedalaman 1 mm, *single capture accuracy max* 0,1 mm. Pada proses *scanning* produk cover spion telah dilakukan dengan semaksimal mungkin sehingga menghasilkan hasil *scan* yang terbaik.



Gambar 4-15 Hasil analisis geometri produk 1



Gambar 4-16 Hasil analisis geometri produk 3

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Membuat produk komposit dengan memanfaatkan hasil cetak *3D Printing* (FFF) sebagai *molding* dengan metode *vacuum infusion* dapat dilakukan.
2. Setelah dilakukan analisis geometri pada produk terdapat penyimpangan dengan desain aslinya pada rentang angka 0,70-2,10 mm, penyimpangan geometri terjadi karena proses *finishing* yang menyebabkan geometri permukaan *molding* tidak sesuai dengan geometri desain *molding*.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan, maka saran untuk penelitian berikutnya adalah:

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan *molding* untuk produk komposit dengan ukuran besar yang memanfaatkan *additive manufacturing* (FFF).
2. Melakukan pembuatan *molding* komposit dengan *additive manufacturing* (FFF) yang mempunyai hasil permukaan presisi, hal tersebut dapat dilakukan dengan memberi memberi *offset* pada desain permukaan *molding* sebesar 2 mm dan mengubah strategi dalam *finishing* permukaan *molding*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurohman, K, Satrio, T, Muzayadah, L, Nurul, & Teten. (2018). A *Comparison Process Between Hand Lay-up, Vacuum Infusion and Vacuum Bagging Method Toward E-Glass EW 185/Lycal Composites*. Journal of Physics Conference. Series 1130 (1), 012018.
- Adi, M, I, Muhammad, Ismail, R, & Budi, S. (2022). Pengaruh Variasi Jenis Resin dan Waktu *Curing* Pada Hasil Cetakan *3D Printing* Terhadap Nilai *Material Properties*. Jurnal Teknik Mesin. 139–144.
- Armansyah, A, Hidayatulloh, S, & Herliana, A. (2018). Perancangan dan Pembuatan Alat *Scanner 3D* Menggunakan Sensor *Kinect Xbox 360*. Jurnal Informatika. 128–136.
- Attaran, M. (2017). *The Rise of 3D Printing: The Advantages of Additive Manufacturing Over Traditional Manufacturing*. Business Horizons. 677–688.
- Baraja, A, Dja'far. (2021). Pengaruh Proses Komposit *Sandwich* Metode *Vacuum Infusion* Terhadap *3D Printed Core* Geometri Kompleks (Studi Kasus Helm Sepeda). Mechanical Engineering. 1-41.
- Brenken B, et al. (2018). *Fused Filament Fabrication of Fiber-Reinforced Polymers: A Review*. Additive Manufacturing. 1–16.
- Chen, J & Smith, D, E. (2021). *Filament Rheological Characterization For Fused Filament Fabrication Additive Manufacturing: A Low-Cost Approach*. Additive Manufacturing. Vol 47, 102208.

- Diharjo, K. (2011). Kekuatan *Bending* Komposit *Sandwich* Serat Gelas Dengan *Core Divinycell-PVC H-60* (Pengaruh Orientasi Serat, Jumlah Laminat Dan Tebal Core Terhadap Kekuatan *Bending*). *Mekanika*, 313-319.
- Ferretti, P, Santi, G, Maria., 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.
- Fu, Y, Downey, A, Yuan, L, Pratt, A, & Balogun, Y. (2021). *In Situ Monitoring For Fused Filament Fabrication Process: A Review*. *Additive Manufacturing*. 38, 101749.
- Haleem, A, Javaid, M, Goyal, A, & Khanam, T. (2022). *Redesign of Car Body By Reverse Engineering Technique Using Steinbichler 3D Scanner and Project 3D Printer*. *Journal of Industrial Integration and Management*. 171–182.
- Hassen, A, Ahmed, Springfield, R, Lindahl, J, & Post, B. (2016). *The Durability of Large-Scale Additive Manufacturing Composite Molds*, CAMX 2016, 26–29.
- Komarayatna, A & Adler, J. (2016). *Pemodelan Objek Menggunakan 3D Scanning*, Perpustakaan UNIKOM, 1-7.
- Mangeon, B. (2015). *3D Technology In Fine Art and Craft: Exploring 3D Printing, Scanning, and Milling*. Routledge. 328.
- Olivianides, F. (2022). Analisis Pengaruh Jumlah Lapisan *Skin* Pada Komposit *Sandwich* Terhadap Uji *Bending* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion*. *Mechanical Engineering*. 1-49.

- Pranzo, D, Larizza, P, Filippini, D, & Percoco, G. (2018). *Extrusion-Based 3D Printing of Microfluidic Devices For Chemical and Biomedical Applications: A Topical Review*. *Micromachines*. Vol 9(8), 374.
- Priambodo, I., & Chriswadyanto, A. P. (2019). *Metode Manufaktur Vacuum Assisted Resin Infusion Untuk Optimasi Sifat Mekanik Komposit Penyusun Propeller Dome*. *SENASTINDO*. Vol 1, 69–76.
- Ridlwan, M & Triyono. (2019). *Perancangan dan Pembuatan Cetakan Komposit Untuk Metode Vacuum Infusion Menggunakan Penekan Elastomer Bag*. *Mechanical Engineering*. 1-42.
- Saputra, A & 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*. Vol 162(1), 012015.
- Stavropoulos, P & Foteinopoulos, P. (2018). *Modelling of Additive Manufacturing Processes: A Review and Classification*. *Manufacturing Review*. Vol 5, 2.
- Sudbury, T, Zeke, Springfield, R, Kunc, V, & Duty, C. (2017). *An Assessment of Additive Manufactured Molds For Hand-Laid Fiber Reinforced Composites*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol 90(5), 1659–1664.
- Wang, P, Hao, Kim, G, & Sterkenburg, R. (2019). *Investigating The Effectiveness of A 3D Printed Composite Mold*. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*. Vol 13(11), 684–688.

- Widodo, B. (2008). Analisa Sifat Mekanik Komposit Epoksi Dengan Penguat Serat Pohon Aren (Ijuk) Model Lamina Berorientasi Sudut Acak (Random). *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 1–5.
- Wiyono, T & Kustianto, D. (2017). Rekayasa Mesin *Resin Transfer Molding* (RTM) sebagai Mesin Mencetak Spesimen Komposit. *Politeknosains*, Vol 16(2), 73–78.

LAMPIRAN

