

**KETELITIAN GEOMETRI PRODUK KOMPOSIT
MENGUNAKAN CETAKAN HASIL *3D PRINTING FUSED
DEPOSITION MODELING (FDM)* DIKOMBINASI CNC
*MILLING***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Amirul Arief Wibowo

No. Mahasiswa : 19525128

NIRM : 1907310029

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

2024

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**KETELITIAN GEOMETRI PRODUK KOMPOSIT
MENGUNAKAN CETAKAN HASIL *3D PRINTING FUSED
DEPOSITION MODELING (FDM) DIKOMBINASI CNC
MILLING***

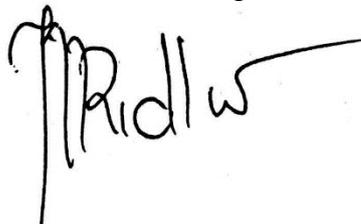
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Amirul Arief Wibowo
No. Mahasiswa : 19525128
NIRM : 1907310029

Yogyakarta, 10 Januari 2024

Pembimbing,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ridlwan', with a long horizontal stroke extending to the right.

Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

KETELITIAN GEOMETRI PRODUK KOMPOSIT
MENGUNAKAN CETAKAN HASIL *3D PRINTING FUSED
DEPOSITION MODELING (FDM) DIKOMBINASI CNC
MILLING*

TUGAS AKHIR

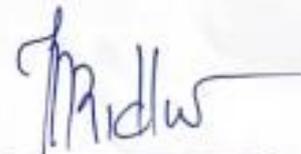
Disusun Oleh :

Nama : Amirul Arief Wibowo
No. Mahasiswa : 19525128
NIRM : 1907310029

Tim Penguji

Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP

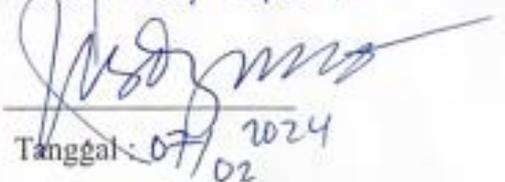
Ketua



Tanggal : 09/02/24

Dr. Eng. Ir. Risdivono, S.T., M.Eng., IPM

Anggota I



Tanggal : 07/02/24

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

Anggota II



Tanggal : 05/02/24

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Amirul Arief Wibowo
NIM : 19525128
Program Studi : S1, Teknik Mesin
Institusi : Universitas Islam Indonesia
Judul Laporan : Ketelitian Geometri Produk Komposit menggunakan
Cetakan Hasil *3D Printing Fused Deposition Modeling*
(FDM) dikombinasi *CNC Milling*

Dengan ini saya menyatakan, semua yang saya tulis pada Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan atau ringkasan yang saya ambil sebagai referensi dan telah saya cantumkan sumber-sumbernya. Apabila dikemudian hari pengakuan saya terbukti tidak benar, maka saya bersedia mengikuti hukuman atau sanksi yang diberikan sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 9 Februari 2024



Amirul Arief Wibowo

HALAMAN PERSEMBAHAN



Segala puji atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat kesehatan, keselamatan, dan kelancaran segala urusan, serta doa dan dukungan yang telah diberikan oleh orang-orang tercinta sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan segala kekurangannya. Terima kasih kepada Allah SWT yang memberikan nikmat ilmu, rahmat, dan hidayah-nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Persembahkan tugas akhir ini di persembahkan untuk :

1. Bapak Heryanto Prabowo dan Ibu Eki Widiyati selaku kedua orang tua tercinta yang selalu berkontribusi dalam setiap langkah kehidupan yang diberikan sejak lahir hingga saat ini dengan segala kelebihan dan kekurangan tetapi selalu mencoba dalam memberikan yang terbaik untuk anak-anaknya.
2. Kakak kandung Yuriska Sekar Rani, Bagas Bachtiar, Sufie Bhaskara, kakak ipar Muhammad Bachtiar Arief, Angger Puspitasari, Hyana Swargani yang telah mendukung penulis untuk mencapai cita-citanya.
3. Bapak Dosen pembimbing Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. yang selalu memberikan arahan serta saran dan motivasi dalam penelitian ini hingga dapat berjalan dengan lancar. Serta para dosen Teknik Mesin UII yang mendukung, membantu, dan berbagi ilmunya selama penulis menjalani perkuliahan diprodi Teknik Mesin FTI UII.

HALAMAN MOTTO

“Semua yang telah diberikan oleh-Nya pasti ada rencana yang indah dan tak perlu merasa gelisah, bersyukurlah dan berserah”

(Rumah Sakit)

“Esok dirimu kan terbang, memeluk mimpi yang akhirnya kesampaian”

(Morfem)

“Aku bisa dibuat menderita, aku bisa dibuat tak bernyawa tapi aku tak pernah mati dan tak akan berhenti”

(Efek Rumah Kaca)

“Bagaimanapun juga merawat cita-cita tak akan semudah berkata-kata, rencana berikutnya rajut lagi cerita merapal doa dan GAS sekencangkencangnya”

(Fstvlst)

“Berjalan tak seperti rencana adalah jalan yang sudah biasa dan jalan sebaik-baiknya adalah jalani sebaik kau bisa”

(Fstvlst)

“Pelajaran terbaik adalah pengalaman orang lain”

(Amirul Arief)

“Mati muda atau GAS!”

(Amirul Arief)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, dengan segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan pembuatan Tugas Akhir dengan judul *Ketelitian Geometri Produk Komposit Menggunakan Cetakan Hasil 3D Printing Fused Deposition Modelling (FDM) Dikombinasi CNC Milling*. Tugas akhir ini disusun untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 di Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan saran, dorongan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini dengan segala hati perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, Tuhan semesta alam yang telah memberikan segala nikmat kepada penulis dan Nabi Muhammad SAW atas segenap keluarga, para sahabat, serta para pengikutnya hingga akhir zaman.
2. Keluarga tercinta Bapak Heryanto Prabowo, Ibu Eki Widiyati, kakak kandung Yuriska Sekar Rani, Bagas Bachtiar, Sufie Bhaskara, kakak ipar Muhammad Bachtiar Arief, Angger Puspitasari, Hyana Swargani yang telah mendukung penulis untuk mencapai cita-citanya.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T. IPP., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin FTI UII.
4. Bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan dan masukan agar penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan baik.
5. Seluruh staf pengajar, staf administratif, dan karyawan di Program Studi Teknik Mesin UII.
6. Kawan-kawan santri Pondok Sawojajar Ahmad Suhada (Asu), Muhammad Yasykur Raif (Acho), Putra Bagas Veryanto (Domat), Husein Maulana Rokhman (Citax), Dymas Ari (Kentung), Irsyad Jannata (Iyak), Aria Pandu Firmansyah (Pandud), Faiq Hilmy Nabil (Oce), Raja Trisdan (Badut), Jembar

Penggalih (Atlit) yang telah bersama-sama dan saling mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir.

7. Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan banyak ilmu organisasi.
8. Kawan-kawan Jarene Pendaki yang telah mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir.
9. Seluruh keluarga mahasiswa Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Angkatan 2019.
10. Semua Pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Terima kasih, semoga amal kebaikan yang telah diberikan akan mendapat balasan dari Allah SWT. Akhir kata, penulis meminta maaf yang sedalam-dalamnya atas kekurangan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan orang yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakkatuh

Yogyakarta, 8 Januari 2024



Amirul Arief Wibowo

ABSTRAK

Pembuatan cetakan diperlukan kepresisian agar dapat meningkatkan kualitas dari cetakan dan produk yang dihasilkan karena perlu disesuaikan dengan bentuk dan dimensi dari desain yang dibuat. *Puzzle mold* merupakan sebuah cetakan yang terdiri dari beberapa bagian untuk membuat sebuah produk dengan bentuk dan dimensi yang diinginkan. Penggunaan *puzzle mold* bertujuan untuk mengetahui apakah sebuah cetakan jika dibuat dengan beberapa bagian dapat membuat sebuah produk dengan bentuk geometri yang presisi. Penggabungan *3D printing fused deposition modeling* (FDM) dan *polyester putty* dengan dilakukannya proses CNC dalam pembuatan *puzzle mold* sangat berpengaruh untuk meningkatkan bentuk geometri *puzzle mold*. *3D printing* memiliki kelebihan cepat dalam membuat produk akan tetapi kekurangannya yaitu masih terdapat penambahan dan pengurangan dimensi dari hasil produk *3D printing*, karena itu dilapisi *polyester putty* untuk meningkatkan bentuk geometri dari *puzzle mold* agar sesuai dari dimensi desain. Proses CNC dilakukan untuk membentuk *puzzle mold* yang sudah dilapisi dengan *polyester putty* agar sesuai dengan dimensi desain. Proses pembuatan produk komposit didapatkan dari hasil *vacuum bagging*. Pembuatan *puzzle mold* dengan kombinasi *3D printing fused deposition modeling* (FDM) dan *CNC milling* dapat menghasilkan produk komposit berbahan serat karbon dengan perbandingan geometri produk komposit yaitu -0,37 mm hingga 0,37 mm dengan penyimpangan maksimum pada perbandingan geometri produk komposit berkisar -0,19 mm hingga -0,37 mm dan perbandingan geometri *puzzle mold* yaitu -0,26 mm hingga 0,26 mm dengan penyimpangan maksimum pada perbandingan geometri *puzzle mold* berkisar 0,17 mm hingga 0,26 mm.

Kata Kunci : *Puzzle Mold*, *3D Printing*, CNC, Komposit, Geometri

ABSTRACT

Mold making requires precision in order to improve the quality of the mold and the resulting product because it needs to be adjusted to the shape and dimensions of the design being made. Puzzle mold is a mold consisting of several parts to make a product with the desired shape and dimensions. The use of puzzle molds aims to find out whether a mold if made with several parts can make a product with a precise geometric shape. The combination of 3D printing fused deposition modeling (FDM) and polyester putty with the CNC process in making puzzle molds is very influential to improve the geometry of the puzzle mold. 3D printing has the advantage of being fast in making products but the disadvantage is that there are still additions and subtractions of dimensions from the results of 3D printing products, therefore polyester putty is coated to improve the geometry of the puzzle mold to match the design dimensions. The CNC process is carried out to form a puzzle mold that has been coated with polyester putty to match the design dimensions. The process of making composite products is obtained from the results of vacuum bagging. Making a puzzle mold with a combination of 3D printing fused deposition modeling (FDM) and CNC milling can produce composite products made from carbon fiber with a composite product geometry comparison of -0.37 mm to 0.37 mm with maximum deviation in the composite product geometry comparison ranging from -0.19 mm to -0.37 mm and puzzle mold geometry comparison of -0.26 mm to 0.26 mm with maximum deviation in the puzzle mold geometry comparison ranging from 0.17 mm to 0.26 mm.

Keywords: Puzzle Mold, 3D Printing, CNC, Composite, Geometry

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji.....	iii
Pernyataan Keaslian.....	iv
Halaman Persembahan.....	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar	xv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Cetakan	6
2.2.2 <i>3D Printing</i>	6
2.2.3 <i>CNC Milling 3 Axis</i>	7
2.2.4 Komposit.....	8
2.2.5 <i>Hand Lay-Up</i>	9
2.2.6 <i>Vacuum Bagging</i>	10
2.2.7 <i>3D Scanning</i>	11

Bab 3 Metode Penelitian.....	12
3.1 Alur Penelitian	12
3.2 Peralatan dan Bahan.....	13
3.2.1 Peralatan	13
3.2.2 Bahan	21
3.3 Proses Pengerjaan	25
3.3.1 Pemilihan Produk.....	25
3.3.2 Desain <i>Puzzle Mold</i>	26
3.3.3 Desain Produk Komposit	27
3.3.4 Proses Pembuatan <i>Puzzle Mold</i> dengan Mesin <i>3D Printing</i>	28
3.3.5 Proses Pendempulan <i>Puzzle Mold</i> dengan <i>Polyester Putty</i>	29
3.3.6 Simulasi Pemesinan	30
3.3.7 Proses CNC.....	31
3.3.8 Pembuatan Produk.....	32
3.3.9 Proses <i>3D Scanning</i>	35
Bab 4 Hasil dan Pembahasan.....	37
4.1 Hasil <i>3D Printing Puzzle Mold</i>	37
4.2 Hasil Pendempulan <i>Polyester Putty</i> pada <i>Puzzle Mold</i>	38
4.3 Hasil CNC <i>Puzzle Mold</i>	39
4.4 Hasil Produk Komposit dari <i>Puzzle Mold</i>	40
4.5 Hasil <i>3D Scanning Puzzle Mold</i> dan Produk Komposit	41
4.6 Analisis dan Pembahasan.....	43
4.6.1 Proses Perbandingan Geometri	43
4.6.2 Hasil Perbandingan Geometri <i>Puzzle Mold</i>	44
4.6.3 Hasil Perbandingan Geometri Produk Komposit	45
4.6.4 Pembahasan	46
Bab 5 Penutup.....	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya	48
Daftar Pustaka.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 3- 1 Parameter Pencetakan <i>3D Print</i>	28
Tabel 3- 2 Parameter Pemesinan <i>Puzzle Mold</i>	30
Tabel 4- 1 Parameter Pemesinan <i>Roughing</i> dan <i>Finishing</i> pada <i>Puzzle Mold</i>	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 Mesin <i>3D Printer</i>	7
Gambar 2- 2 Mesin CNC <i>milling 3 axis</i>	8
Gambar 2- 3 Proses <i>Hand Lay-Up</i>	10
Gambar 2- 4 Proses <i>Vacuum bagging</i>	11
Gambar 3- 1 Alur Penelitian	12
Gambar 3- 2 Tampilan <i>Solidworks</i>	13
Gambar 3- 3 Tampilan <i>Ultimaker Cura</i>	14
Gambar 3- 4 Tampilan <i>Powermill</i>	14
Gambar 3- 5 Tampilan <i>Handy Scan</i>	15
Gambar 3- 6 Tampilan <i>Handy Studio</i>	15
Gambar 3- 7 <i>3D Printer Creality Ender 6</i>	16
Gambar 3- 8 Kape.....	16
Gambar 3- 9 CNC <i>Milling 3 Axis</i>	17
Gambar 3- 10 <i>End Mill 4 mm</i>	17
Gambar 3- 11 <i>Ball Nose 3 mm</i>	18
Gambar 3- 12 <i>3D Scan Sense Pro</i>	18
Gambar 3- 13 Alat Putar Otomatis	19
Gambar 3- 14 Pompa <i>Vacuum</i>	19
Gambar 3- 15 Plastik <i>Vacuum Bag</i>	19
Gambar 3- 16 <i>Seleant Tape</i>	20
Gambar 3- 17 Timbangan	20
Gambar 3- 18 Selang	21
Gambar 3- 19 Katup	21
Gambar 3- 20 <i>Filament PLA+</i>	22
Gambar 3- 21 Polyester Putty.....	22
Gambar 3- 22 <i>Hardener Polyester Putty</i>	23
Gambar 3- 23 Serat Karbon	23
Gambar 3- 24 <i>Epoxy Resin</i>	23
Gambar 3- 25 <i>Hardener Resin</i>	24
Gambar 3- 26 <i>Peel Ply</i>	24

Gambar 3- 27 Kain <i>Strimmin</i>	25
Gambar 3- 28 <i>Silicone Mold Release</i>	25
Gambar 3- 29 Desain <i>Puzzle Mold</i>	26
Gambar 3- 30 Desain <i>Puzzle Mold</i> untuk Pendempulan	27
Gambar 3- 31 Desain Produk Komposit.....	27
Gambar 3- 32 Proses <i>Slicing</i> Pada Aplikasi <i>Ultimaker Cura</i>	28
Gambar 3- 33 Proses <i>3D Printing Puzzle Mold</i>	29
Gambar 3- 34 Proses Pendempulan <i>Puzzle Mold</i>	30
Gambar 3- 35 Proses <i>Roughing</i>	31
Gambar 3- 36 Proses <i>Finishing</i>	31
Gambar 3- 37 Proses CNC <i>Puzzle Mold</i>	32
Gambar 3- 38 Penyemprotan <i>Mold Release</i>	33
Gambar 3- 39 Pencampuran Resin dan <i>Hardener</i>	33
Gambar 3- 40 Pemberian Resin pada <i>Puzzle Mold</i>	34
Gambar 3- 41 Susunan Serat Karbon, <i>Peel Ply</i> dan Kain <i>Strimmin</i>	34
Gambar 3- 42 <i>Vacuum Bagging</i> Produk <i>Puzzle Mold</i>	35
Gambar 3- 43 Proses <i>3D Scanning</i>	36
Gambar 4- 1 Kegagalan <i>3D Printing Puzzle Mold</i>	37
Gambar 4- 2 Hasil <i>3D Printing Puzzle Mold</i>	38
Gambar 4- 3 Hasil Pendempulan <i>Polyester Putty</i> pada <i>Puzzle Mold</i>	39
Gambar 4- 4 Hasil Proses CNC <i>Puzzle Mold</i>	40
Gambar 4- 5 Hasil Produk Komposit dari <i>Puzzle Mold</i>	41
Gambar 4- 6 Hasil <i>3D Scanning Puzzle Mold</i>	42
Gambar 4- 7 Hasil <i>Scanning</i> Produk Komposit	42
Gambar 4- 8 Proses <i>Move/Copy Body</i>	43
Gambar 4- 9 Proses <i>Body Compare</i>	44
Gambar 4- 10 Hasil Perbandingan Geometri <i>Puzzle Mold</i>	45
Gambar 4- 11 Hasil Perbandingan Geometri Produk Komposit	46

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pada saat ini mengalami kemajuan pesat di Indonesia, salah satu teknologi yang mengalami perkembangan pesat adalah proses pembuatan produk. Perkembangan teknologi pada proses manufaktur telah membawa inovasi yang menjadikan proses menjadi lebih sederhana, cepat dan efisien. Salah satu terobosan proses pembuatan produk adalah dengan membuat *puzzle mold* kombinasi antara *3D Printing fused deposition modeling* (FDM) dan *polyester putty* dengan dilakukannya proses CNC.

Cetakan atau *molding* adalah alat yang digunakan untuk membuat produk sesuai dengan desain atau hasil yang diinginkan (Siregar & Rangkuti, 2018). Pembuatan cetakan diperlukan kepresisian agar dapat meningkatkan kualitas dari cetakan dan produk yang dihasilkan karena perlu disesuaikan dengan bentuk dan dimensi dari desain yang dibuat.

Komposit merupakan penggabungan antara dua material atau lebih yang dipilih berdasarkan kombinasi dari masing-masing sifat fisik maupun sifat kimia material penyusunnya untuk menghasilkan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya (Anugra Riyanto, 2022). Material komposit memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan material yang biasa digunakan seperti kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi dan berat yang ringan.

Proses pembuatan cetakan, *3D Printing fused deposition modeling* (FDM) adalah salah satu cara untuk membuat cetakan. *3D Printing fused deposition modeling* (FDM) adalah proses membuat objek pada tiga dimensi atau berbagai bentuk apapun dari model digital (Kumara, 2018). Proses pembuatan cetakan dengan menggunakan *3D Printing* masih belum optimal karena tinggi pada setiap *layer* kurang diketahui dan dapat terjadi kelebihan atau kekurangan pada ketinggian sebuah cetakan.

Puzzle merupakan benda yang telah dipecah dalam beberapa bagian. *Puzzle* digunakan untuk menyusun suatu bentuk untuk mendapatkan hasil dan dimensi

yang diinginkan dari beberapa bagian yang telah dipecah. *Puzzle mold* merupakan sebuah cetakan yang terdiri dari beberapa bagian untuk membuat sebuah produk dengan bentuk dan dimensi yang diinginkan. Penggunaan *puzzle mold* bertujuan untuk mengetahui apakah sebuah cetakan jika dibuat dengan beberapa bagian dapat membuat sebuah produk dengan bentuk geometri yang presisi.

Penggabungan *3D printing fused deposition modeling* (FDM) dengan *polyester putty* dalam satu produk sangat berpengaruh untuk meningkatkan bentuk geometri produk. *3D printing fused deposition modeling* (FDM) memiliki kelebihan cepat dalam membuat produk akan tetapi masih terdapat kelebihan dan kekurangan dimensi dari hasil produk *3D printing fused deposition modeling* (FDM), karena itu dilapisi *polyester putty* untuk meningkatkan bentuk geometri dari produk agar presisi.

Perlu dilakukannya penelitian terkait bentuk geometri dari kombinasi *3D printing fused deposition modeling* (FDM) dengan *polyester putty*. Pada penelitian, bentuk setengah bola dipilih untuk mewakili permukaan yang kompleks. Proses pembuatan cetakan menggunakan *3D printing fused deposition modeling* (FDM) bermaterial *polylactic acid* (PLA) yang dilapisi *polyester putty*. Untuk mengetahui bentuk geometri dari cetakan dan produk dilakukan *body compare* antara desain dengan hasil produk komposit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka diperoleh rumusan masalah yaitu :

1. Apakah *puzzle mold* kombinasi *3D printing fused deposition modeling* (FDM) bermaterial *polylactic acid* yang dilapisi *polyester putty* dapat digunakan untuk proses pembuatan produk komposit?
2. Bagaimana perbandingan bentuk geometri antara desain *puzzle mold* dengan hasil *puzzle mold* dan desain produk dengan hasil produk komposit?

1.3 Batasan Masalah

Setelah rumusan masalah ditentukan ada beberapa hal yang dijadikan batasan agar pembahasan tidak menyimpang dari permasalahan yang diteliti, yaitu:

1. Produk dari *puzzle mold* yang dibuat terbatas dengan bentuk setengah bola.
2. Penggunaan material komposit pada perancangan terbatas pada *carbon fiber*, resin *epoxy*, dan *hardener epoxy*.
3. Proses *3D scan* hanya berfokus untuk membantu dalam perbandingan geometri.
4. Hasil perbandingan geometri terbatas pada bagian setengah bola.
5. Tidak membahas sifat mekanik dari *puzzle mold* dan produk komposit

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat *puzzle mold* dengan *3D printing fused deposition modeling* (FDM) bermaterial *polylactic acid* yang dilapisi dengan *polyester putty*.
2. Membuat produk komposit menggunakan *puzzle mold 3D printing fused deposition modeling* (FDM) bermaterial *polylactic acid* yang dilapisi dengan *polyester putty*.
3. Mengetahui perbedaan bentuk geometri antara desain *puzzle mold* dengan hasil *puzzle mold* dan desain produk dengan hasil produk komposit.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan wawasan dan inovasi mengenai pembuatan *puzzle mold* dengan *3D printing fused deposition modeling* (FDM) bermaterial *polylactic acid* yang dilapisi dengan *polyester putty*.
2. Memberikan wawasan dan inovasi mengenai pembuatan produk komposit menggunakan *puzzle mold 3D printing fused deposition modeling* (FDM) bermaterial *polylactic acid* yang dilapisi dengan *polyester putty*.
3. Memberikan wawasan dan inovasi mengenai perbedaan bentuk geometri antara desain *puzzle mold* dengan hasil *puzzle mold* dan desain produk dengan hasil produk komposit.

1.6 Sistematika Penulisan

Bagian ini dituliskan urutan dan sistematika penulisan yang dilakukan dan sistematika penulisan laporan tugas akhir yang dilengkapi dengan ringkasan isi dari masing-masing.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tinjauan pustaka dan dasar teori yang mendukung pengerjaan tugas akhir.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisikan alur perancangan, peralatan dan bahan yang digunakan dan proses pengerjaan *puzzle mold* dan produk komposit.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan analisis dan pembahasan hasil penelitian *puzzle mold* dan produk komposit dari *puzzle mold*.

BAB V PENUTUP

Pada bagian ini berisikan kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya terkait *puzzle mold* dan produk komposit dari *puzzle mold*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka pertama yang dijadikan sebagai dasar penelitian berjudul “Optimalisasi Parameter Mesin *CNC Milling 3 Axis* terhadap Waktu Produksi dengan Menggunakan *Response Surface Methodology*” (Aziz & Saraswati, 2022). Penelitian yang dilakukan membahas mengenai penggunaan metode *respon surface* yang nantinya dapat melakukan variasi parameter permesinan untuk menghasilkan waktu proses yang optimal pada pemrograman *CNC milling 3 axis*. Dengan penerapan metode *respon surface* nantinya dapat dihasilkan kombinasi faktor optimal untuk proses *machining* menggunakan mesin *CNC milling 3 axis*.

Kajian pustaka kedua yang dijadikan sebagai dasar penelitian berjudul “Perancangan *Soft Mold* yang Dibuat Menggunakan *Fused Filament Fabrication* Bermaterial *Thermoplastic Polyurethane* sebagai Perbaikan Pada Proses *Vacuum Infusion*” (Ali, 2022). Penelitian yang dilakukan membahas mengenai rancang desain *soft mold* yang dapat digunakan pada proses *vacuum infusion* dan mengukur perbedaan bentuk geometri antara desain produk dengan hasil produk setelah dilakukannya proses *vacuum infusion*. Hasil perbandingan hasil komposit proses *vacuum infusion* menggunakan *soft mold* didapatkan hasil penyimpangan minimum dengan angka yang berkisar 1,11 mm hingga 1,67 mm. Hasil analisis perbandingan hasil komposit proses *vacuum infusion* tanpa menggunakan *soft mold* didapatkan hasil penyimpangan minimum 1,12 mm hingga 1,68 mm dan penyimpangan terbesar adalah 1,68 mm hingga 3,36 mm besar penyimpangan yang terjadi. Dari hasil analisis geometri tersebut, didapat bahwa menggunakan *soft mold* dapat mengurangi penyimpangan geometri pada hasil komposit yang dibuat, dan kelebihan hasil dari komposit dengan menggunakan *soft mold* dapat mengikuti atau mirip dengan bentuk desain yang diinginkan.

Kajian pustaka ketiga yang dijadikan sebagai dasar penelitian berjudul “Aplikasi Pembuatan Cetakan *Vacuum Infusion* Komposit Menggunakan *Additive Manufacturing Fused Filament Fabrication* (FFF) dengan Material *Polyactic Acid* (PLA)” (Susanto, 2022). Penelitian yang dilakukan membahas mengenai pembuatan cetakan menggunakan *master 3D printing Fused Filament Fabrication* (FFF) dan mengukur kemampuan pada cetakan setelah dilakukan proses *vacuum infusion* berdasarkan kriteria perancangan yang telah dilakukan dengan studi kasus spion pada sepeda motor. Hasil penelitian yang telah dilakukan telah berhasil membuat cetakan menggunakan *master 3D printing Fused Filament Fabrication* (FFF) dengan filamen *Polyactic Acid* (PLA). Kemampuan pada cetakan setelah proses *vacuum infusion* berdasarkan kriteria perancangan telah tercapai, dengan kelebihan mempersingkat tahapan proses pembuatan cetakan dan tidak menggunakan *vacuum block* pada saat proses *vacuum infusion*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Cetakan

Cetakan atau *molding* adalah alat yang digunakan untuk membuat produk sesuai dengan desain atau hasil yang diinginkan (Siregar & Rangkuti, 2018). Cetakan dapat diisi dengan material cair seperti plastik, gelas, logam atau cairan lain yang akan mengeras sesuai dengan bentuk rongga pada cetakan.

2.2.2 3D Printing

3D Printing Fused Deposition Modeling (FDM) adalah proses membuat objek 3 dimensi atau bentuk apa pun dari model digital. Mesin *3D printing fused deposition modeling* (FDM) memiliki cara kerja yang sama seperti printer laser dengan teknik membuat objek dari sejumlah layer atau lapisan yang masing-masing dicetak di atas setiap lapisan lainnya (Kumara, 2018). *3D printing fused deposition modeling* (FDM) bekerja dengan cara ekstrusi *thermoplastic* melalui *nozzle*. *Nozzle* dipanaskan pada suhu sesuai dengan titik leleh *thermoplastic* yang digunakan lalu digunakan untuk mencetak produk dengan cara *layer-by-layer*.

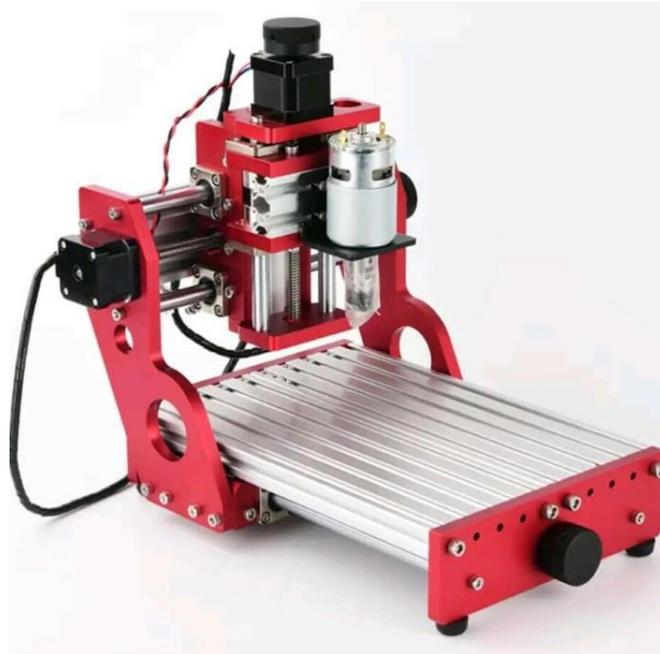
Material yang digunakan pada *3D printing* berupa filamen dan yang paling sering digunakan yaitu PLA dan ABS (Hasdiansah, 2018).



Gambar 2- 1 Mesin *3D Printer*

2.2.3 CNC Milling 3 Axis

Mesin milling CNC (*Computer Numerical Control*) adalah sebuah perangkat mesin perkakas dengan jenis *milling/frais* yang dikendalikan dengan kontrol gerak otomatis atau sistem komputer yang diprogram menggunakan bahasa *numeric*. Mesin *milling 3 axis* dapat menggerakkan *spindel* dalam tiga arah relatif terhadap benda kerja. Tiga pergerakan mesin *milling* pada umumnya yaitu *horizontal*, *vertical* dan menyilang. Mesin *milling* memiliki prinsip kerja yaitu tenaga untuk pemotongan berasal dari energi listrik yang diubah menjadi gerak utama oleh sebuah mesin listrik, selanjutnya gerakan utama tersebut diteruskan melalui suatu transmisi untuk menghasilkan gerakan putar pada *spindel* mesin *milling*. *Spindel* pada mesin *milling* adalah bagian utama dari sistem mesin *milling* yang bertugas untuk mencengkeram dan memutar mata pahat hingga menghasilkan putaran atau gerakan pemotongan (Aziz & Saraswati, 2022).



Gambar 2- 2 Mesin CNC *milling 3 axis*

2.2.4 Komposit

Komposit merupakan penggabungan antara dua material atau lebih yang dipilih berdasarkan kombinasi dari masing-masing sifat fisik maupun sifat kimia material penyusunnya untuk menghasilkan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya (Anugra Riyanto, 2022).

Komposit dapat dibedakan menjadi lima jenis kelompok berdasarkan penguat struktur yang digunakan, yaitu:

1. *Fiber composite*

Fiber composite atau komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai bahan penguatnya. Dalam pembuatan komposit serat, serat dapat diatur memanjang atau *unidirectional composite* dan dapat dipotong kemudian disusun secara acak atau *random fibers*.

2. *Laminar composite*

Laminar composite atau komposit laminar adalah komposit dengan dua atau lebih *layer*, di mana masing-masing *layer* dapat berbeda dalam hal material, bentuk, dan orientasi penguatnya.

3. *Flake composite*

Flake composite atau komposit serpih adalah komposit dengan penambahan material berupa serpih kedalam matriksnya. *Flake* dapat berupa serpihan mika dan metal.

4. *Particulate composite*

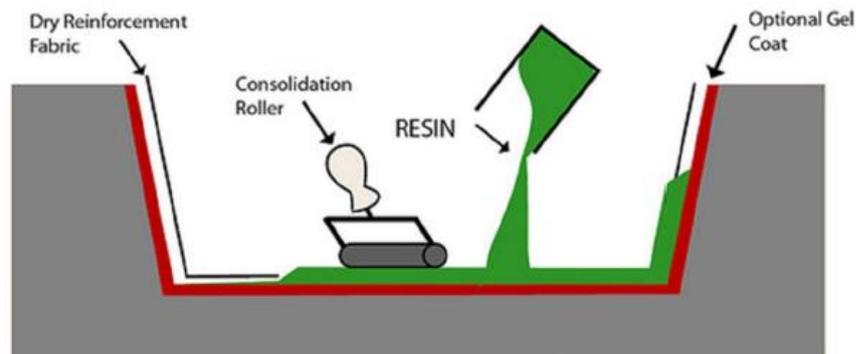
Particulate composite atau komposit partikel adalah salah satu jenis komposit di mana matriks ditambahkan material lain berupa serbuk atau butir. Perbedaan dengan *flake* dan *fiber composite*, material penambah terdistribusi secara acak atau kurang terkontrol dari pada *flake composite*.

5. *Filled (skeletal) composites*

Filled composite adalah komposit dengan penambahan material ke dalam matriks dengan struktur tiga dimensi dan biasanya *filler* juga dalam bentuk tiga dimensi (Gunandar, 2021).

2.2.5 *Hand Lay-Up*

Hand lay-up adalah metode paling sederhana dan paling terbuka dari proses manufaktur komposit. *Hand lay-up* merupakan metode manufaktur di mana resin di tuangkan ke dalam serat dan meratakannya dengan *roller* atau sikat (Arifadhillah, 2022). Metode *hand lay-up* lebih ditekankan untuk pembuatan produk sederhana dan hanya menuntut satu sisi saja yang memiliki permukaan halus. *Hand lay-up* merupakan metode paling sederhana dengan proses pembuatannya yaitu menuang resin kedalam serat, kemudian memberi tekanan sekaligus meratakannya menggunakan rol atau kuas seperti yang tertera pada gambar 2- 3.



Gambar 2- 3 Proses *Hand Lay-Up*

(Sumber : Gibson, 2007)

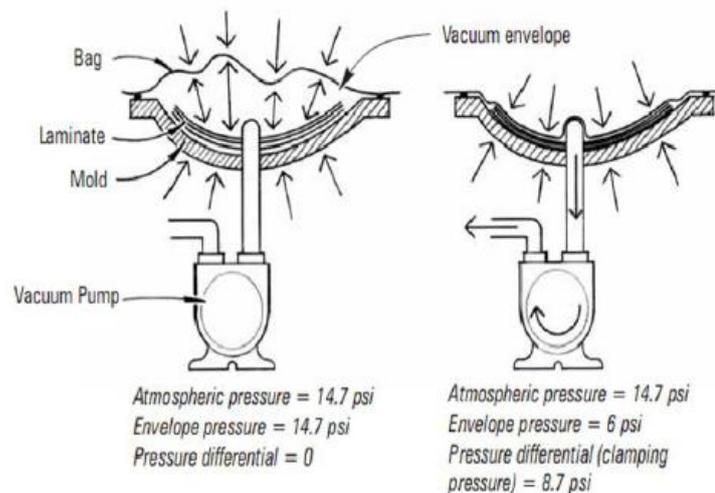
Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga bentuk dan ketebalan yang diinginkan tercapai (Gibson, 2007). Proses *hand lay-up* resin langsung berkontak dengan udara dan biasanya proses pencetakan dilakukan pada temperatur kamar. Resin yang paling banyak digunakan adalah *polyester* dan *epoxies*. Aplikasi pembuatan komposit menggunakan metode ini biasanya digunakan pada material atau komponen yang sangat besar, seperti pembuatan kapal, *body* kendaraan, bilah turbin angin, bak mandi, dan perahu (Lutfi, 2018).

2.2.6 *Vacuum Bagging*

Vacuum bagging adalah penyempurnaan dari proses *hand lay-up* menggunakan teknik untuk menciptakan tekanan mekanis pada laminasi selama siklus penyebaran resin. Penekanan laminasi komposit memiliki beberapa fungsi. Fungsi yang pertama dengan menghilangkan udara yang terjebak diantara lapisan. Fungsi yang kedua dengan memadatkan lapisan serat untuk transmisi gaya yang efisien diantara bundel serat dan mencegah pergeseran orientasi serat selama proses penyembuhan. Fungsi yang ketiga adalah dengan mengurangi kelembaban. Proses laminasi disegel kemudian tekanan udara di dalam cetakan dan di luar cetakan sama dengan tekanan atmosfer, sekitar 14,7 Psi. Pompa vakum dinyalakan yang menyebabkan tekanan di dalam cetakan berkurang sementara tekanan di luar tetap pada 14,7 Psi (Triyono, 2019).

Tekanan atmosfer menekan semua sisi cetakan secara bersamaan, bahkan di atas permukaan cetakan. Secara teoritis, tekanan maksimum kepada laminasi apabila vakum bekerja sempurna dan dapat menghilangkan udara di dalam cetakan

semua sisi cetakan bertekanan 14,7 Psi. Proses yang terjadi menyebabkan perbedaan tekan pada dalam cetakan sebesar 6-12,5 Psi seperti yang tertera pada gambar 2- 4(Rahadiyanto, 2018).



Gambar 2- 4 Proses *Vacuum bagging*

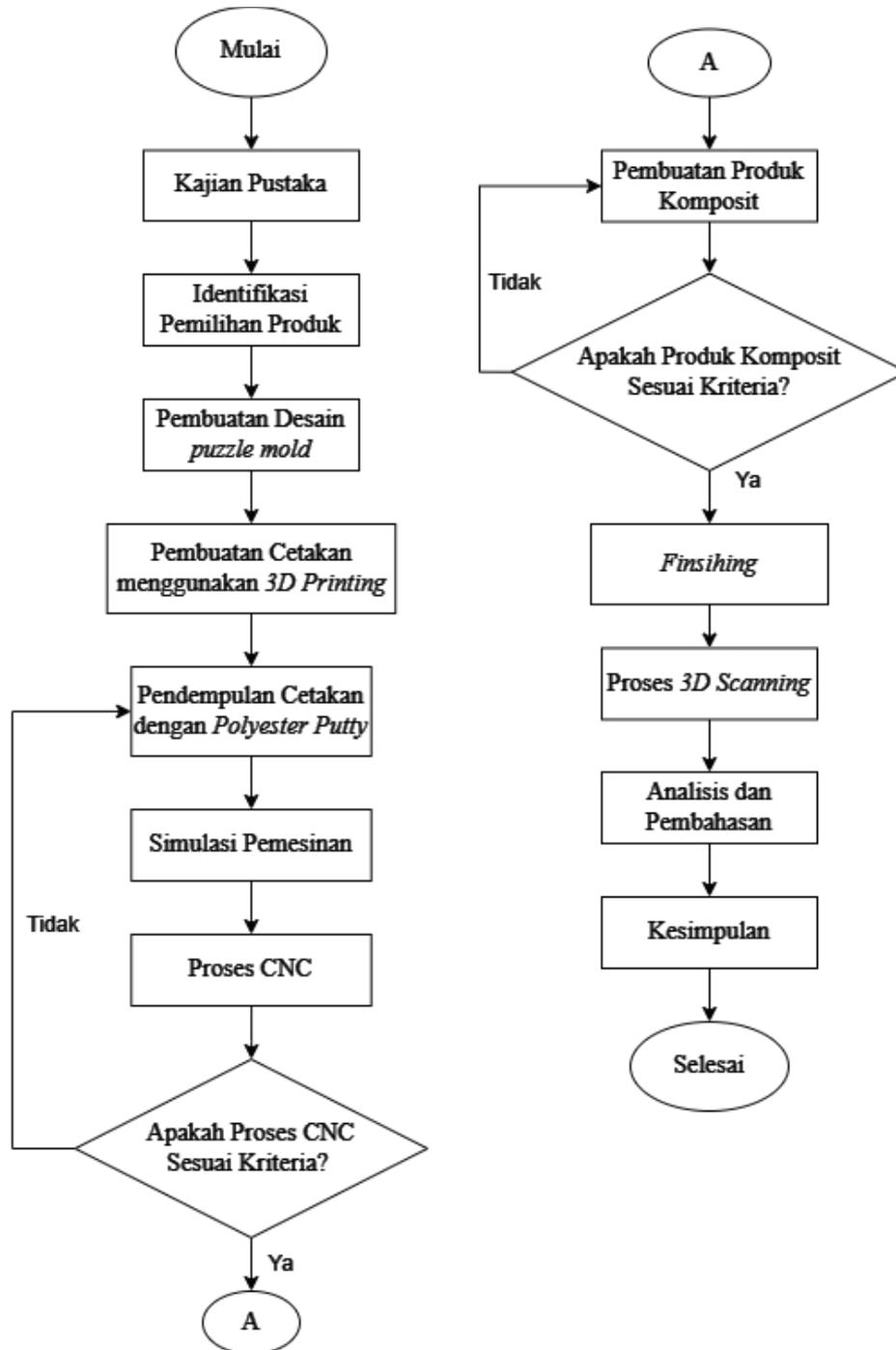
2.2.7 3D Scanning

3D Scanning adalah sistem pemindai tiga dimensi dengan melakukan pemindaian pada pemodelan 3 dimensi dari suatu objek nyata menggunakan alat *3D Scan* untuk mendapatkan data geometri, dimensi, dan data lainnya dalam bentuk yang akurat terhadap objek aslinya (Armansyah, 2018).

3D Scanning dapat diartikan sebagai alat yang dapat digunakan untuk memindai sebuah objek nyata yang dapat memodelkan bentuk, ukuran, dan data lainnya agar mendapatkan model yang akurat serta memberikan informasi yang akurat dari objek nyata yang ditampilkan pada layar komputer (Athira, 2016).

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3- 1 Alur Penelitian

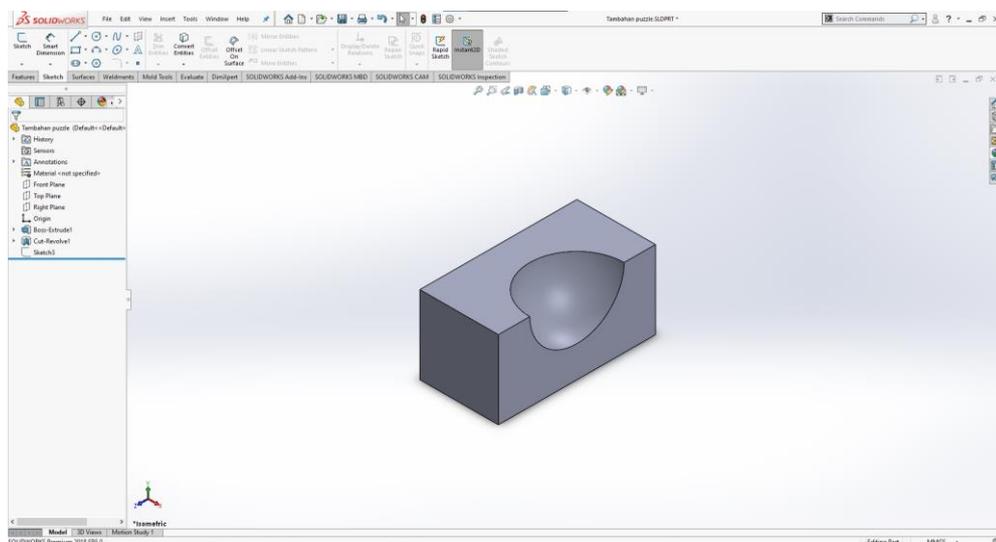
3.2 Peralatan dan Bahan

3.2.1 Peralatan

a. Perangkat Lunak

1. *Software CAD Solidworks*

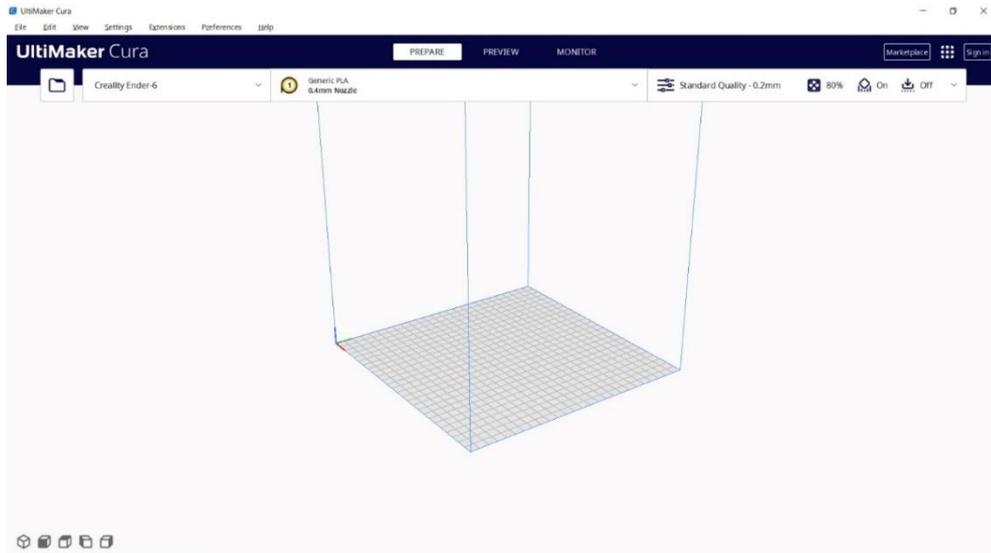
Solidworks berfungsi untuk mendesain *puzzle mold* dan produk *puzzle mold*. Proses perbandingan geometri *puzzle mold* dan produk *puzzle mold* juga menggunakan *Solidworks*. Tampilan *software Solidworks* dapat dilihat pada gambar 3- 2.



Gambar 3- 2 Tampilan *Solidworks*

2. *Software Ultimaker Cura*

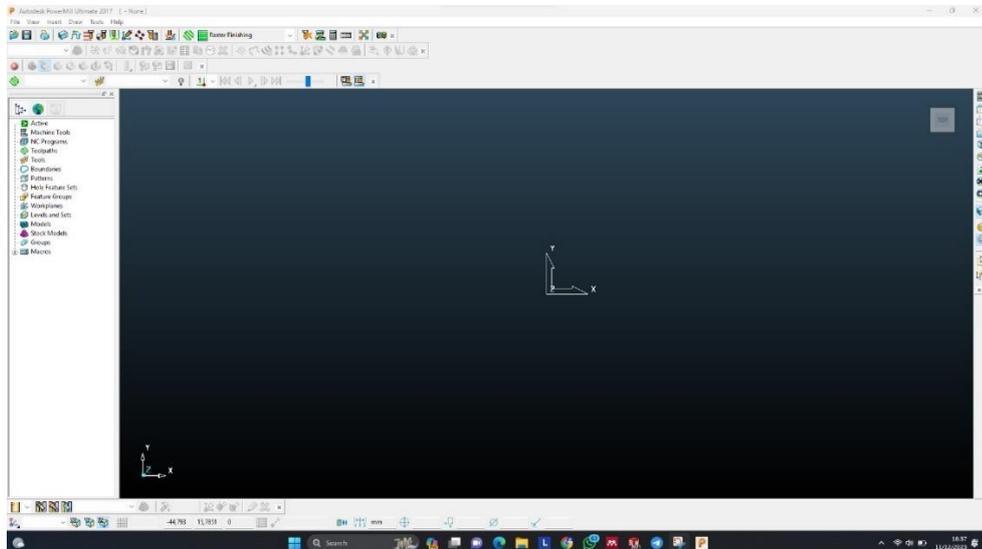
Ultimaker Cura berfungsi untuk mengatur dan mempersiapkan model *puzzle mold* dari desain dengan melakukan proses *slicing* (membuat desain menjadi lapisan per lapisan) dan menghasilkan *g-code* yang akan dicetak pada mesin *3D Printer*. Tampilan *software Ultimaker Cura* dapat dilihat pada gambar 3- 3.



Gambar 3- 3 Tampilan *Ultimaker Cura*

3. *Software CNC Powermill*

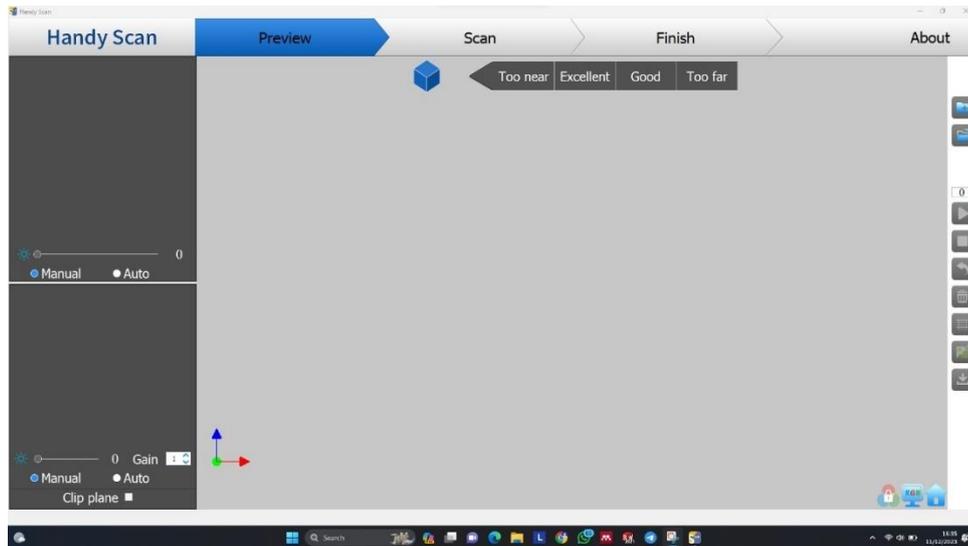
Powermill berfungsi untuk melakukan proses simulasi pemesinan *puzzle mold*. Simulasi pemesinan pada *Powermill* bertujuan untuk mengetahui cara pemakanan terhadap *puzzle mold* dan mendapatkan *g-code* untuk proses CNC *puzzle mold*. Tampilan *software Powermill* dapat dilihat pada gambar 3- 4.



Gambar 3- 4 Tampilan *Powermill*

4. *Software 3D Scan Handy Scan*

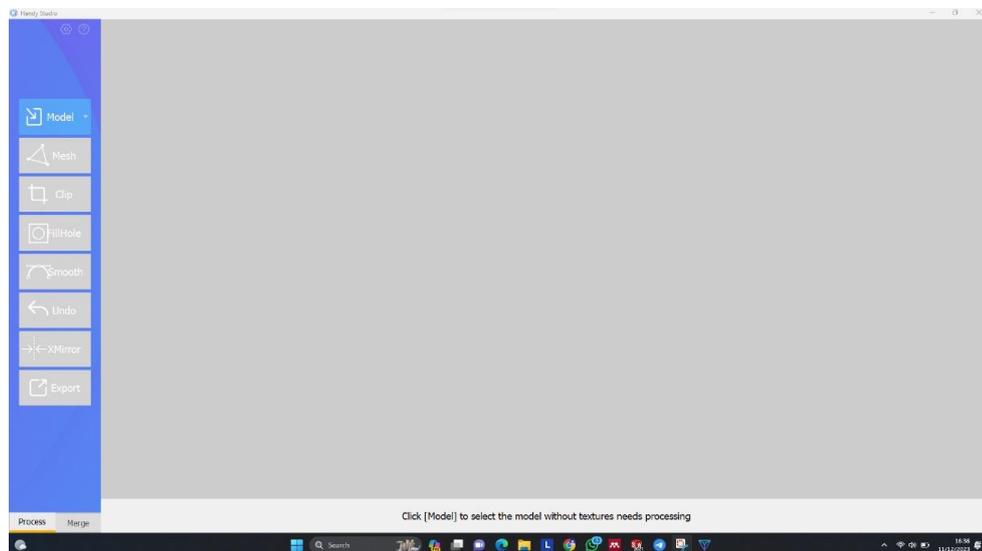
Handy Scan berfungsi untuk menampilkan pemindaian pada dari alat *3D Scan Sense Pro* dan hasilnya dapat dilihat langsung pada layar komputer dengan format *output file (fuse.)*. Tampilan *software Handy Scan* dapat dilihat pada gambar 3- 5.



Gambar 3- 5 Tampilan *Handy Scan*

5. *Software 3D Scan Handy Studio*

Handy Studio berfungsi untuk mengolah hasil dari pemindaian *puzzle mold* dan produk *puzzle mold* dengan hasil format *output file* (STL, PLY, OBJ). Tampilan *software Handy Studio* dapat dilihat pada gambar 3- 6.

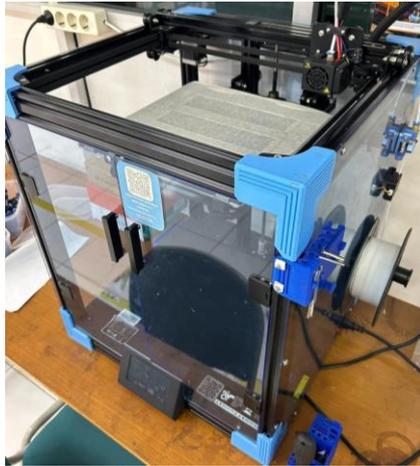


Gambar 3- 6 Tampilan *Handy Studio*

b. Perangkat Keras

1. Mesin *3D Printer*

3D Printer berfungsi untuk mencetak model *puzzle mold* dengan memasukan *g-code* yang telah dibuat pada *software Ultimaker Cura*. Mesin *3D Printer* yang digunakan adalah *Creality Ender 6*. Mesin *3D Printer Creality Ender 6* dapat dilihat pada gambar 3- 7.



Gambar 3-7 3D Printer Creality Ender 6

2. Kape

Kape berfungsi untuk mendempul *puzzle mold* sebelum dilakukanya proses CNC. Bentuk dari kape yang digunakan pada proses pendempulan dapat dilihat pada gambar 3- 8.



Gambar 3- 8 Kape

3. Mesin CNC

CNC berfungsi untuk merapikan *puzzle mold* setelah proses pendempulan dengan *polyester putty* dengan memasukan *g-code* yang telah dibuat pada *software Powermill*. Mesin CNC yang digunakan adalah mesin CNC *Milling 3 Axis*. Mesin CNC *Milling 3 Axis* dapat dilihat pada gambar 3- 9.



Gambar 3- 9 CNC Milling 3 Axis

4. Pahat *End Mill*

Pahat *end mill* berfungsi untuk pemakanan *puzzle mold* pada *roughing* (proses berulang ulang pemotongan dasar secara tepat). Tujuan dari *roughing* adalah membuat bentuk dasar *puzzle mold* secara kasaran. Pahat *end mill* yang digunakan berukuran 4 mm seperti pada gambar 3- 10.



Gambar 3- 10 End Mill 4 mm

5. Pahat *Ball Nose*

Pahat *ball nose* berfungsi untuk pemakanan *puzzle mold* pada *finishing* (proses pemotongan akhir) agar produk *puzzle mold* sesuai ukuran yang akurat dan sesuai toleransi. Pahat *ball nose* yang digunakan pada proses CNC *puzzle mold* berukuran 3 mm. Bentuk dari pahat *ball nose* dapat dilihat pada gambar 3- 11.



Gambar 3- 11 *Ball Nose* 3 mm

6. Alat *3D Scan*

3D Scan berfungsi untuk memindai *puzzle mold* produk *puzzle mold* untuk menghasilkan bentuk geometri yang ditampilkan datanya melalui *software Handy Scan*. Alat *3D Scan* yang digunakan adalah *3D Scan* dengan merek *Sense Pro* yang memiliki spesifikasi volume pemindaian minimal 200 mm x 200 mm x 200 mm dan maksimal 2000 x 2000 x 2000 mm dengan rentang operasi minimal 450 mm, maksimal 1600 mm dan bidang pandang horizontal 45°, vertikal 57,5° dan diagonal 69°. Alat *3D Scan Sense Pro* dapat dilihat pada gambar 3- 12.



Gambar 3- 12 *3D Scan Sense Pro*

7. Alat Putar Otomatis

Alat putar otomatis berfungsi untuk membantu memindai *puzzle mold* dan produk *puzzle mold* pada saat proses *scanning* dengan cara memutar *puzzle mold* dan produk *puzzle mold*. Bentuk dari alat putar otomatis dapat dilihat pada gambar 3- 13.



Gambar 3- 13 Alat Putar Otomatis

8. Pompa *Vacuum*

Pompa *vacuum* berfungsi untuk menghisap udara pada proses *vacuum bagging* pembuatan produk *puzzle mold*. Pompa *vacuum* yang digunakan adalah merek Krisbow dengan tenaga $\frac{1}{2}$ HP seperti pada gambar 3- 14.



Gambar 3- 14 Pompa *Vacuum*

9. Plastik *Vacuum Bag*

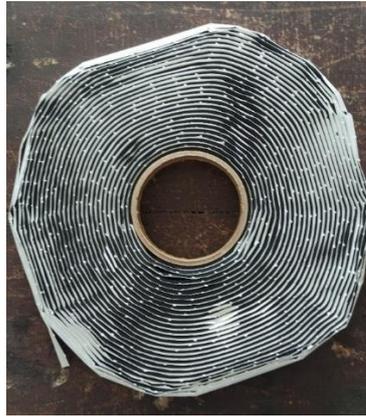
Plastik *vacuum bag* berfungsi untuk meletakkan *puzzle mold* pada proses pembuatan produk *puzzle mold* dan mencegah udara keluar masuk pada proses *vacuum bagging* agar dapat menjaga perbedaan tekanan yang berada di dalam atau diluar plastik *vacuum bag*. Bentuk dari plastik *vacuum bag* dapat dilihat pada gambar 3- 15.



Gambar 3- 15 Plastik *Vacuum Bag*

10. Sealant Tape

Sealant tape berfungsi untuk merekatkan plastik *vacuum bag* pada proses *vacuum bag* dan menghalangi udara keluar masuk pada proses *vacuum bagging*. Bentuk dari *sealant tape* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3- 16.



Gambar 3- 16 *Sealant Tape*

11. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk menakar campuran epoxy dan hardener pada proses pembuatan produk *puzzle mold*. Bentuk dari timbangan yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3- 17.



Gambar 3- 17 Timbangan

12. Selang

Selang berfungsi untuk membantu mengalirkan udara dari dalam plastik *vacuum bag* yang di tarik oleh pompa *vacuum*. Bentuk dari selang yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3- 18.



Gambar 3- 18 Selang

13. Katup

Katup berfungsi sebagai pembuka dan penutup pada saluran udara yang terpasang pada selang ketika proses *vacuum bagging*. Bentuk dari katup yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3- 19.



Gambar 3- 19 Katup

3.2.2 Bahan

1. *Filament* PLA+

Filament PLA+ berfungsi untuk bahan pembuatan *puzzle mold* sebelum proses pendempulan dengan merek yang digunakan SUNLU. Bentuk dari *filament* PLA+ dapat dilihat pada gambar 3- 20.



Gambar 3- 20 *Filament PLA+*

2. *Polyester Putty*

Polyester putty berfungsi untuk bahan pada proses pendempulan setelah *puzzle mold* dicetak menggunakan mesin *3D Printing*. Bentuk dari *polyester putty* dapat dilihat pada gambar 3- 21.



Gambar 3- 21 Polyester Putty

3. *Hardener Polyester Putty*

Hardener polyester putty berfungsi untuk bahan campuran yang dapat mempercepat proses reaksi pengeringan dari dempul *polyester putty*. Bentuk dari *hardener polyester putty* dapat dilihat pada gambar 3- 22.



Gambar 3- 22 Hardener Polyester Putty

4. Serat Karbon

Serat karbon berfungsi untuk bahan pada proses pembuatan produk *puzzle mold*. Bentuk dari serat karbon dapat dilihat pada gambar 3- 23.



Gambar 3- 23 Serat Karbon

5. Epoxy Resin

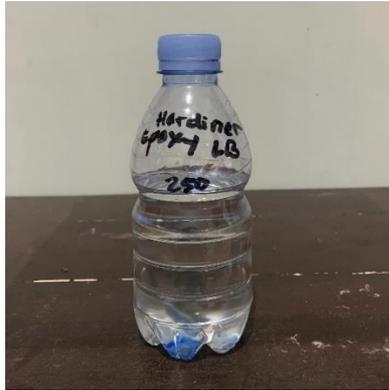
Epoxy resin berfungsi untuk bahan pengikat dari serat karbon agar menjadi kaku sesuai dengan bentuk dari produk *puzzle mold*. Bentuk dari *epoxy* resin dapat dilihat pada gambar 3- 24.



Gambar 3- 24 Epoxy Resin

6. *Hardener Resin*

Hardener resin berfungsi untuk bahan campuran *epoxy resin* agar mempercepat proses pengerasan resin. Bentuk dari *hardener resin* dapat dilihat pada gambar 3- 25.



Gambar 3- 25 *Hardener Resin*

7. *Peel Ply*

Peel ply berfungsi untuk pembatas antara kain *strimmin* dengan serat karbon agar memudahkan pelepasan produk dari *puzzle mold*. Bentuk dari *peel ply* dapat dilihat pada gambar 3- 26.



Gambar 3- 26 *Peel Ply*

8. Kain *Strimmin*

Kain *strimmin* berfungsi untuk meratakan resin agar tersebar secara keseluruhan pada *puzzle mold* di dalam *vacuum bag* dan diletakan pada bagian atas *peel ply*. Bentuk dari kain *strimmin* dapat dilihat pada gambar 3- 27.



Gambar 3-27 Kain *Strimmin*

9. *Silicone Mold Release*

Silicone mold release berfungsi untuk memudahkan pelepasan produk *puzzle mold* dengan alas atau cetakan setelah dilakukan proses pemvakuman. Bentuk dari *silicone mold release* dapat dilihat gambar 3- 28.



Gambar 3- 28 *Silicone Mold Release*

3.3 Proses Pengerjaan

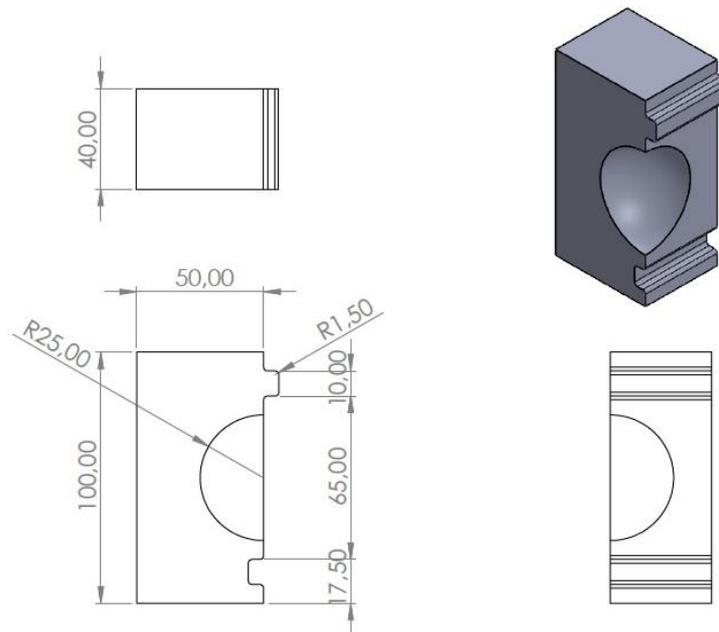
3.3.1 Pemilihan Produk

Proses pembuatan *puzzle mold* memiliki beberapa tahapan dalam proses pembuatannya yang diawali dengan pemilihan produk sebagai studi kasus untuk percobaan cetakan. Produk yang akan dibuat yaitu bentuk setengah bola. Pemilihan produk berbentuk setengah bola karena memiliki lengkungan dengan sudut 180° dan memiliki panjang yang sama dari pusat setengah bola untuk setiap sudutnya serta tidak ada patahan. Penelitian dilakukan untuk mengetahui nilai ketelitian dari

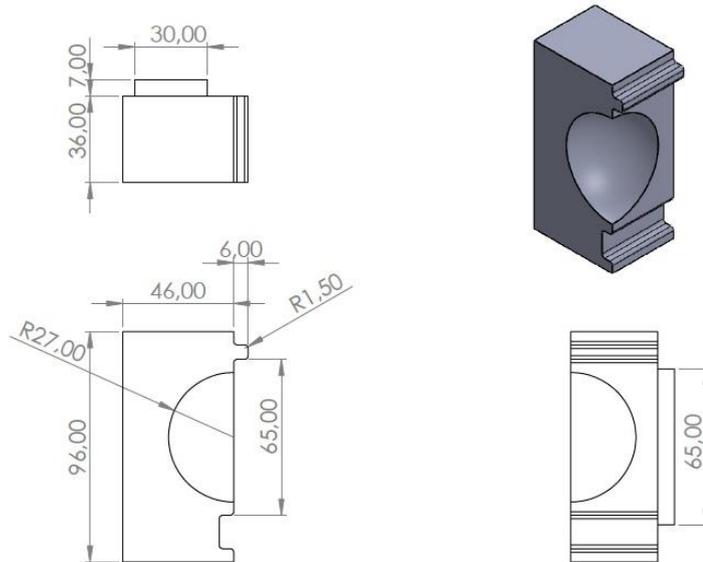
produk setengah bola dengan sudut 180° dan mengetahui bahwa *puzzle mold* dengan studi kasus setengah bola dapat digunakan untuk membuat produk komposit.

3.3.2 Desain *Puzzle Mold*

Desain *puzzle mold* yang dibuat menggunakan aplikasi *Solidworks* memiliki perbedaan ukuran. Gambar 3- 29 menunjukkan desain ukuran asli atau yang direncanakan dengan panjang 100 mm kemudian lebar 56 mm dan ketebalan 40 mm. Selain itu, untuk diameter dari setengah bola 50 mm dan untuk *puzzle* memiliki ukuran panjang 10 mm kemudian tebal 6 mm serta tambahan *fillet* dengan diameter 3 mm. Gambar 3- 30 menunjukkan desain untuk pendempulan di mana pada semua sisi dimensi asli dikurangi sebesar 2 mm dengan hasil panjang 96 mm kemudian lebar 46 mm dan tinggi 36 mm. Selain itu, untuk diameter dari setengah bola 54 mm kemudian untuk bagian *puzzle* memiliki panjang 6 mm dan lebar 6 mm serta tambahan *fillet* dengan diameter 3 mm. Gambar 3- 29 terdapat penambahan *support* pada bagian bawah dengan panjang 65 mm kemudian lebar 30 mm dan tebal 7 mm yang berfungsi untuk tempat mencengkeram pada proses CNC.



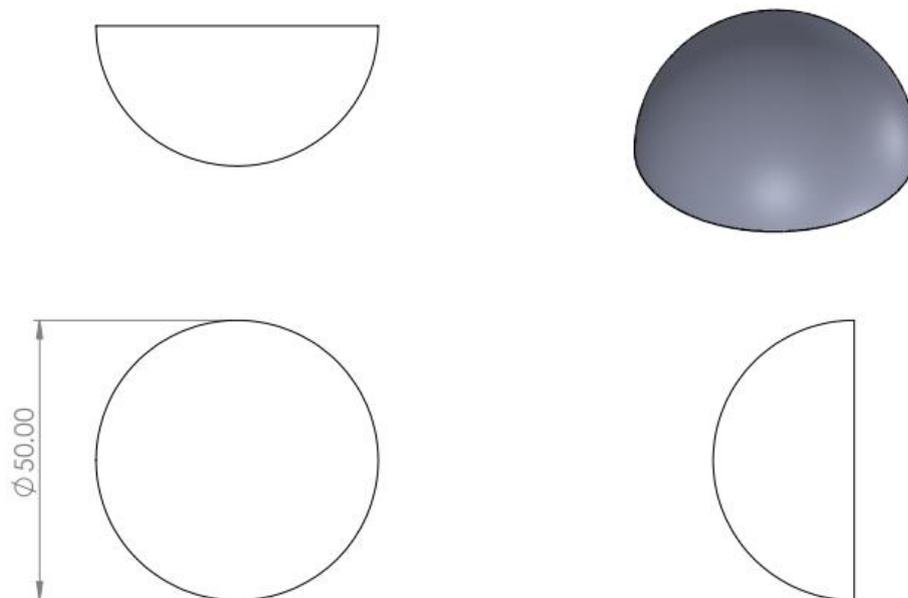
Gambar 3- 29 Desain *Puzzle Mold*



Gambar 3- 30 Desain *Puzzle Mold* untuk Pendempulan

3.3.3 Desain Produk Komposit

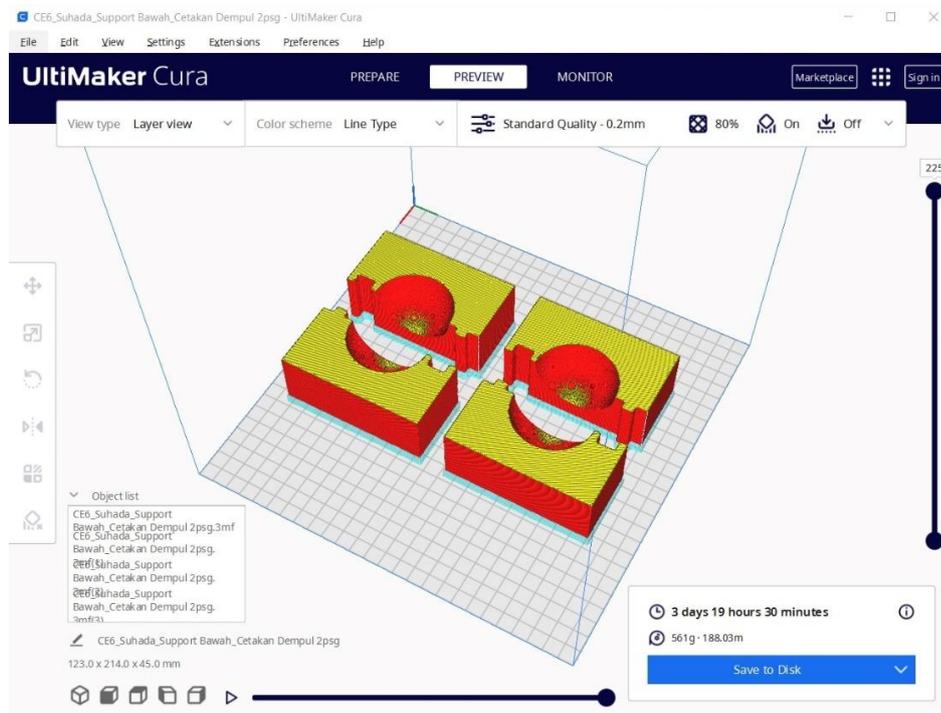
Desain produk komposit dibuat menggunakan aplikasi *Solidworks* yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan geometri dari produk komposit yang dibuat. Desain produk komposit memiliki diameter 50 mm sesuai dengan bentuk *puzzle mold* dan dapat dilihat pada gambar 3- 31.



Gambar 3- 31 Desain Produk Komposit

3.3.4 Proses Pembuatan *Puzzle Mold* dengan Mesin *3D Printing*

Proses *printing puzzle mold* diawali dengan mengatur dan mempersiapkan model *puzzle mold* dari desain dengan melakukan proses *slicing* (membuat desain menjadi lapisan per lapisan) dari aplikasi *Ultimaker Cura* seperti yang terlihat pada gambar 3- 32 agar menghasilkan *g-code* yang akan dicetak pada mesin *3D Printer*.



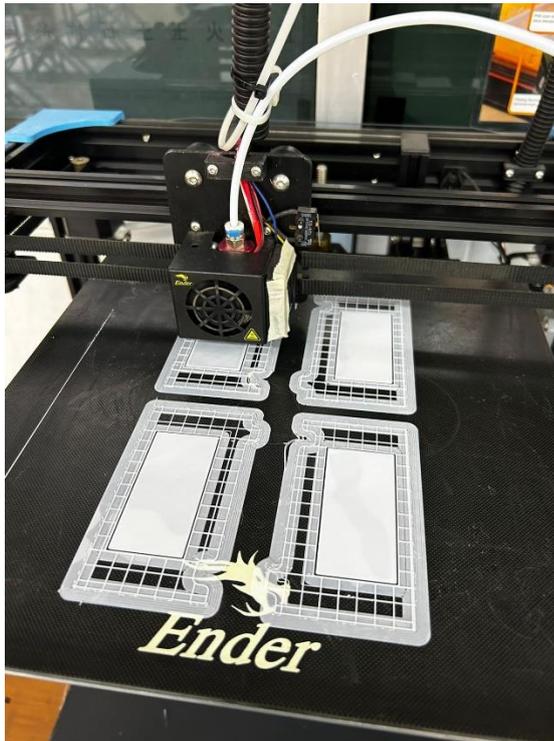
Gambar 3- 32 Proses *Slicing* Pada Aplikasi *Ultimaker Cura*

Parameter yang digunakan pada pencetakan *puzzle mold* dapat dilihat pada tabel 3- 1 di mana bahan yang digunakan menggunakan material PLA+ dengan persentase *infil* 80%, tinggi lapisan 0,2 mm dan lebar garis 0,4 kemudian untuk pengaturan suhu meja 55°C dan suhu *nozzle* 210°C dengan *print speed* 80 mm/s.

Tabel 3- 1 Parameter Pencetakan *3D Print*

Bahan	PLA+
Persentase <i>Infil</i>	80%
Tinggi Lapisan	0,2 mm
Lebar Garis	0,4 mm
Suhu Meja	55°C
Suhu <i>Nozzle</i>	210°
<i>Print Speed</i>	80 mm/s

Proses selanjutnya melakukan pencetakan dengan mesin *3D Printer* dengan memasukkan *g-code* yang didapat pada aplikasi *Ultimaker Cura* pada mesin *3D Printer Creality Ender 6* kemudian mesin akan mencetak sesuai pengaturan yang sudah diatur seperti pada gambar 3- 33.



Gambar 3- 33 Proses *3D Printing Puzzle Mold*

3.3.5 Proses Pendempulan *Puzzle Mold* dengan *Polyester Putty*

Proses pendempulan menggunakan dempul *polyester putty* dan *hardener* dengan merek *Sun Polac*. Langkah awal pada pendempulan *puzzle mold* dengan mencampurkan antara dempul *polyester putty* dan *hardener* dengan rasio 100 : 2 kemudian dicampurkan hingga berwarna kuning. Selanjutnya, mengaplikasikannya pada *puzzle mold* disetiap bagian sisinya dengan toleransi pendempulan lebih 4 mm dari desain aslinya. Proses selanjutnya setelah mengaplikasinya pada *puzzle mold* adalah menunggu hingga dempul kering dengan jangka waktu 12 jam supaya dempul mengeras secara optimal. Proses pendempulan dapat dilihat pada gambar 3- 34.



Gambar 3- 34 Proses Pendempulan *Puzzle Mold*

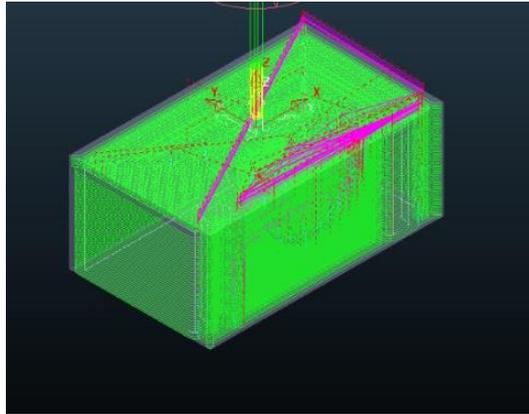
3.3.6 Simulasi Pemesinan

Simulasi pemesinan *puzzle mold* dilakukan menggunakan *software Powermill* dengan mengatur parameter pemesinan supaya mendapatkan *g-code*. Simulasi pemesinan memiliki dua proses yaitu proses *roughing* dan *finishing* dengan parameter yang berbeda. Proses *roughing* adalah proses berulang-ulang pemotongan dasar secara tepat dengan tujuan untuk membuat bentuk dasar *puzzle mold* secara kasaran sedangkan proses *finishing* adalah proses pemotongan akhir supaya produk *puzzle mold* sesuai ukuran yang akurat dan sesuai toleransi. Proses simulasi pemesinan *puzzle mold* diawali dengan pembuatan parameter pemesinan pada setiap proses *roughing* dan *finishing* seperti pada tabel 3- 2.

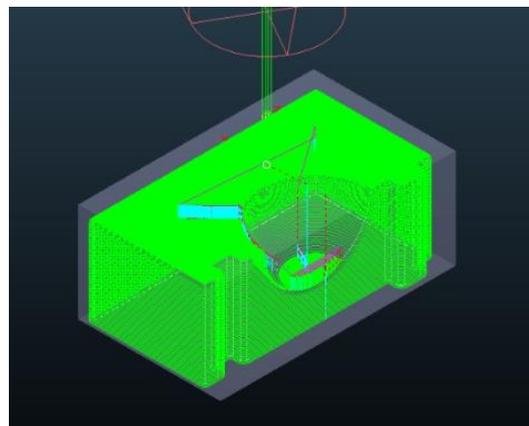
Tabel 3- 2 Parameter Pemesinan *Puzzle Mold*

Parameter	<i>Roughing</i>	<i>Finishing</i>
Diameter Pahat	<i>End mill 4 mm</i>	<i>Ballnose 3 mm</i>
<i>Strategy</i>	<i>Model area clearance</i>	<i>Steep and shallow finishing</i>
<i>Stepover</i>	1.5 mm	0.2 mm
<i>Stepdown</i>	1 mm	0.5 mm

Proses selanjutnya setelah membuat parameter pemesinan *puzzle mold* yaitu melakukan simulasi pemesinan *roughing* dan *finishing* seperti pada gambar 3- 35 dan 3- 36 di mana pada proses ini bertujuan untuk mendapatkan *g-code* yang akan digunakan pada proses pemesinan CNC.



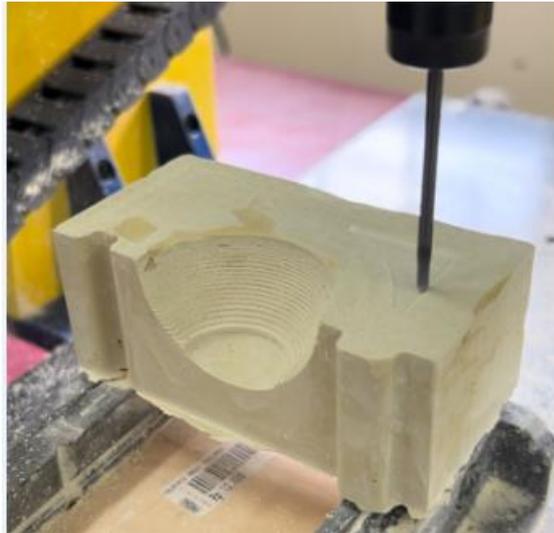
Gambar 3- 35 Proses *Roughing*



Gambar 3- 36 Proses *Finishing*

3.3.7 Proses CNC

Proses CNC *puzzle mold* merupakan proses untuk membuat bentuk dari *puzzle mold* secara akurat dan sesuai dengan toleransi. Proses CNC *puzzle mold* menggunakan mesin CNC *milling 3 axis* dengan dua proses yaitu *roughing* dan *finishing*. Proses yang pertama dilakukan yaitu proses *roughing* dengan menggunakan mata pahat *endmill 4 mm* dan proses yang kedua yaitu proses *finishing* dengan menggunakan mata pahat *ballnose 3 mm*. Langkah awal pada proses CNC yaitu mengatur posisi mata pahat agar berada pada posisi *center* dari sumbu *x*, *y*, dan *z* pada *puzzle mold*. Proses selanjutnya setelah mengatur mata pahat pada posisi *center* yaitu memasukkan *g-code* yang sudah didapatkan pada simulasi pemesinan kemudian mesin CNC akan bergerak memakan *puzzle mold* sesuai dengan *g-code* yang sudah di masukkan seperti pada gambar 3- 37.



Gambar 3- 37 Proses CNC *Puzzle Mold*

Proses CNC apabila kurang maksimal atau terdapat kesalahan pemakanan dan terdapat kerusakan pada *puzzle mold*, maka dilakukan pendempulan ulang pada bagian yang terdapat kerusakan serta melakukan pengulangan proses CNC dengan tujuan untuk mendapatkan hasil dari proses CNC *puzzle mold* lebih maksimal dan akurat sesuai dengan desain asli dari *puzzle mold*. Kriteria proses CNC dinyatakan berhasil sebagai berikut :

1. Tidak terdapat bolong atau ruang kosong dari hasil proses pendempulan ketika dilakukan proses CNC pada *puzzle mold*.
2. Tidak terdapat kesalahan pemakanan pada proses CNC.
3. Bentuk dari *puzzle mold* sesuai dengan desain.
4. Proses *roughing* dan *finishing puzzle mold* sesuai dengan proses simulasi pemesinan.

3.3.8 Pembuatan Produk

Proses pembuatan produk *puzzle mold* menggunakan metode *vacuum bagging* yang merupakan salah satu metode pengerjaan komposit dengan memanfaatkan kevakuman udara pada *plastic bag* yang direkatkan dengan *seleant tape* dan metode *hand lay-up* untuk proses penuangan resin pada *puzzle mold*. Bahan yang digunakan pada proses pembuatan produk *puzzle mold* adalah serat karbon, resin *epoxy* dan *hardener epoxy*.

Berikut tahapan yang diperlukan pada proses pembuatan produk *puzzle mold* adalah :

1. Menyemprotkan *Mold Release* pada *Puzzle Mold*

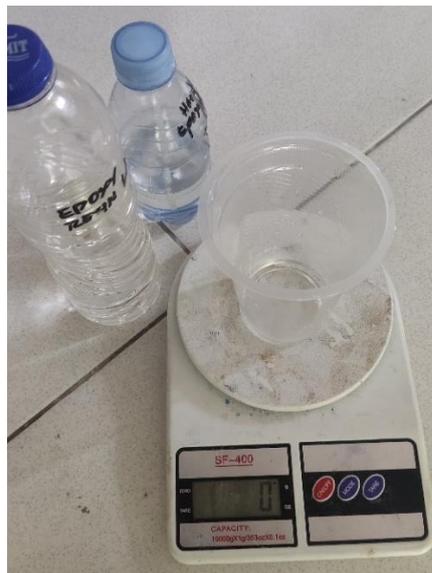
Proses penyemprotan *mold release* pada *puzzle mold* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3- 38 memiliki tujuan untuk memudahkan dalam pelepasan produk komposit pada *puzzle mold*.



Gambar 3- 38 Penyemprotan *Mold Release*

2. Mencampurkan Resin *Epoxy* dan *Hardener Epoxy*

Pencampuran resin *epoxy* dan *hardener epoxy* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3- 39 dengan perbandingan 2 : 1 kemudian diaduk hingga campuran resin *epoxy* dan *hardener epoxy* merata.



Gambar 3- 39 Pencampuran Resin dan *Hardener*

3. Melakukan Pemberian Resin *Epoxy* pada *Puzzle Mold*

Pemberian resin *epoxy* pada *puzzle mold* dengan metode *hand lay-up* secara merata menggunakan kuas pada bagian *puzzle mold* seperti pada gambar 3- 40 bertujuan agar serat karbon yang disusun pada *puzzle mold* dapat terkena resin secara merata.



Gambar 3- 40 Pemberian Resin pada *Puzzle Mold*

4. Menyusun Serat Karbon, *Peel Ply*, dan Kain *Strimmin* pada *Puzzle Mold*

Susunan pertama adalah serat karbon kemudian susunan kedua *peel ply* yang digunakan untuk memudahkan proses pencabutan produk komposit dari *puzzle mold* dan susunan ketiga kain *strimmin* yang berfungsi untuk proses pemerataan resin. *Peel ply* diletakkan pada susunan ketiga karena berfungsi juga sebagai pemisah antara kain *strimmin* dan serat karbon sehingga kain *strimmin* tidak menyatu dengan serat karbon. Gambar 3- 41 menunjukkan peletakan serat karbon, *peel ply*, dan kain *strimmin* pada *puzzle mold*.



Gambar 3- 41 Susunan Serat Karbon, *Peel Ply* dan Kain *Strimmin*

5. Melakukan *Vacuum Bagging*

Vacuum bagging dilakukan dengan menyalakan pompa vakum hingga tekanan udara di dalam *vacuum bag* mencapai 8 psi lalu menutup katup pada saluran kemudian mematikan pompa vakum dan membiarkan resin hingga mengeras sempurna selama 24 jam. Gambar 3- 42 menunjukkan *vacuum bagging* produk *puzzle mold*.



Gambar 3- 42 *Vacuum Bagging* Produk *Puzzle Mold*

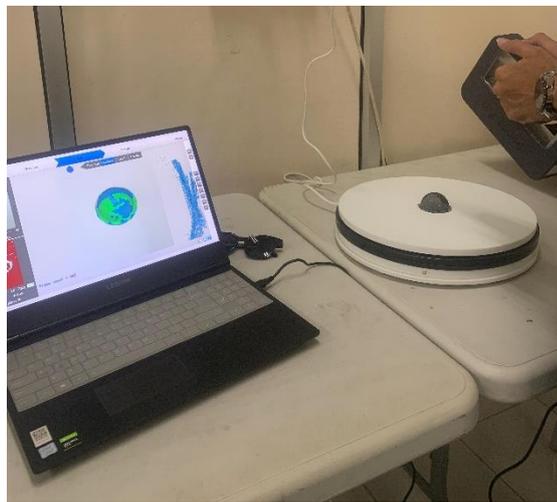
Pembuatan produk komposit diperlukan kriteria supaya produk komposit mencapai suatu target dari yang diinginkan. Proses pembuatan produk apabila tidak sesuai dengan kriteria maka akan dilakukan pengulangan pembuatan produk dengan tujuan agar mencapai dari kriteria produk komposit yang diinginkan. Kriteria produk komposit yang diinginkan sebagai berikut :

1. Serat karbon dan resin tercampur merata dan dapat membentuk setengah bola dari hasil *puzzle mold*.
2. Produk komposit tidak menempel pada *puzzle mold* atau dapat dilepas dari *puzzle mold*.
3. Produk komposit dapat membentuk setengah setelah dilepas dari *puzzle mold*.

3.3.9 Proses 3D Scanning

Proses *3D scanning* digunakan untuk memindai *puzzle mold* dengan produk komposit dari *puzzle mold* yang telah dibuat untuk menganalisis perbandingan geometri antara desain *puzzle mold* dengan *puzzle mold* dan desain produk *puzzle*

mold dengan produk komposit *puzzle mold*. Proses *3D scanning* dilakukan dengan menggunakan alat *3D scanner SensePro* dengan spesifikasi akurasi pemindaian tunggal 0,3 mm dengan rentang 210 mm x 130 mm, akurasi volume 0,5 mm/m dengan rentang *minimum scan* 50 mm x 50 mm x 50 mm, dan jarak kerja pemindaian 200-800 mm. Proses pemindaian pada *puzzle mold* dan produk komposit *puzzle mold* menggunakan metode pemindaian tetap di mana alat *3D scan* tidak bergerak, namun *puzzle mold* dan produk komposit *puzzle mold* yang bergerak dengan bantuan alat putar otomatis seperti yang terlihat pada gambar 3-43.



Gambar 3- 43 Proses *3D Scanning*

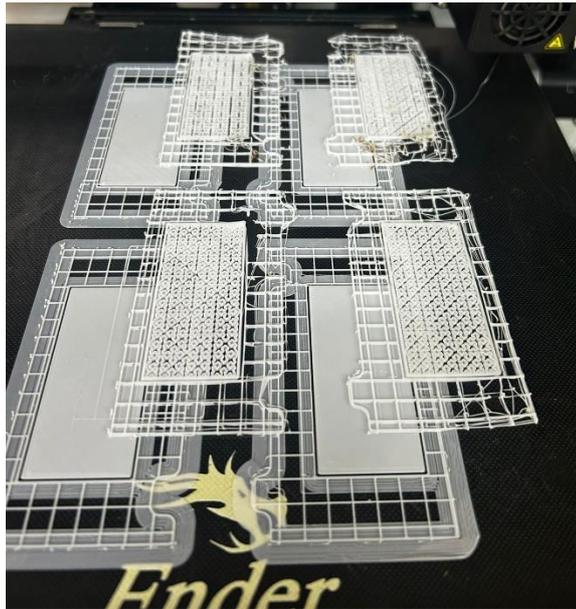
Proses *3D scanning puzzle mold* dan produk komposit *puzzle mold* menggunakan bantuan aplikasi *Handy Scan* di mana aplikasi tersebut berfungsi untuk mengatur pemindaian *puzzle mold* dan produk komposit *puzzle mold* dan menampilkan pemindaian dari alat *3D Scan Sense Pro* kemudian hasilnya dapat dilihat langsung pada layar komputer dengan format *output file* (fuse.). Langkah awal pada proses *3D scanning* yaitu meletakkan *puzzle mold* atau produk komposit di atas alat putar otomatis kemudian melakukan pemindaian dengan bantuan aplikasi *Handy Scan* untuk menampilkan pemindaian dari aplikasi *3D Scan Sense Pro*. Hasil *scanning* apabila kurang maksimal, maka dilakukan pengulangan pemindaian pada *puzzle mold* atau produk komposit *puzzle mold* supaya mendapatkan hasil pemindaian lebih maksimal.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil 3D Printing Puzzle Mold

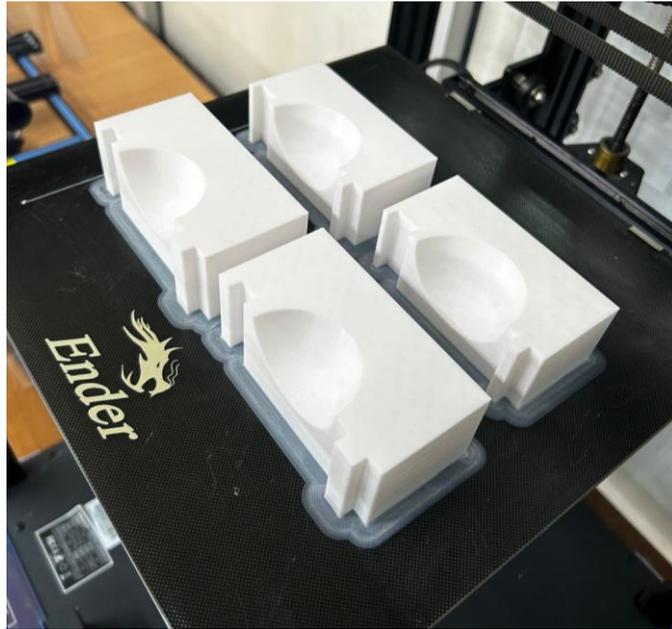
Proses *3D printing puzzle mold* terdapat hasil yang belum sesuai diinginkan atau mengalami kegagalan. Kegagalan yang terjadi pada proses *3D printing puzzle mold* terdapat kesalahan atau *error* pada mesin *3D Printing Creality Ender 6* yang menyebabkan pergeseran sumbu x, y dan z ketika proses pencetakan *puzzle mold* seperti yang terlihat pada gambar 4- 1. Proses *3D printing puzzle mold* apabila terjadi kegagalan maka akan dilakukan pencetakan ulang dengan memperhatikan apakah parameter sudah sesuai yang diinginkan.



Gambar 4- 1 Kegagalan 3D Printing Puzzle Mold

Hasil pembuatan *3D printing puzzle mold* dapat dilihat pada gambar 4- 2 dengan persentase *infil* 80%, tinggi lapisan 0,2 mm dan lebar garis 0,4 kemudian untuk pengaturan suhu meja 55°C dan suhu *nozzle* 210°C dengan *print speed* 80 mm/s. Hasil pembuatan *3D printing puzzle mold* sesuai dengan dimensi desain untuk pendempulan di mana didapatkan hasil panjang 96 mm kemudian lebar 46 mm dan tinggi 36 mm. Selain itu, untuk diameter dari setengah bola 54 mm kemudian untuk bagian *puzzle* memiliki panjang 6 mm dan lebar 6 mm serta tambahan *fillet* dengan diameter 3 mm. Terdapat penambahan *support* pada bagian

bawah dengan panjang 65 mm kemudian lebar 30 mm dan tebal 7 mm yang berfungsi untuk tempat mencengkeram pada proses CNC.



Gambar 4- 2 Hasil 3D Printing Puzzle Mold

4.2 Hasil Pendempulan *Polyester Putty* pada *Puzzle Mold*

Proses pendempulan menggunakan bahan *polyester putty* dan *hardener* pada *puzzle mold* dilakukan secara berlapis-lapis dengan tujuan dempul yang di aplikasikan pada *puzzle mold* secara merata dan tidak ada bolong. Proses pendempulan *puzzle mold* diaplikasikan pada semua bagian kecuali pada bagian bawah karena pada bagian bawah terdapat *support* yang berfungsi untuk mencengkeram ragam pada saat proses CNC. Tebal pendempulan pada *puzzle mold* sebesar 4 mm dari desain aslinya karena nantinya akan dilakukan proses CNC pada *puzzle mold* untuk mengetahui nilai kepresisian pada *puzzle mold*. Hasil dari pendempulan *polyester putty* pada *puzzle mold* dapat dilihat pada gambar 4- 3.



Gambar 4- 3 Hasil Pendempulan *Polyester Putty* pada *Puzzle Mold*

4.3 Hasil CNC *Puzzle Mold*

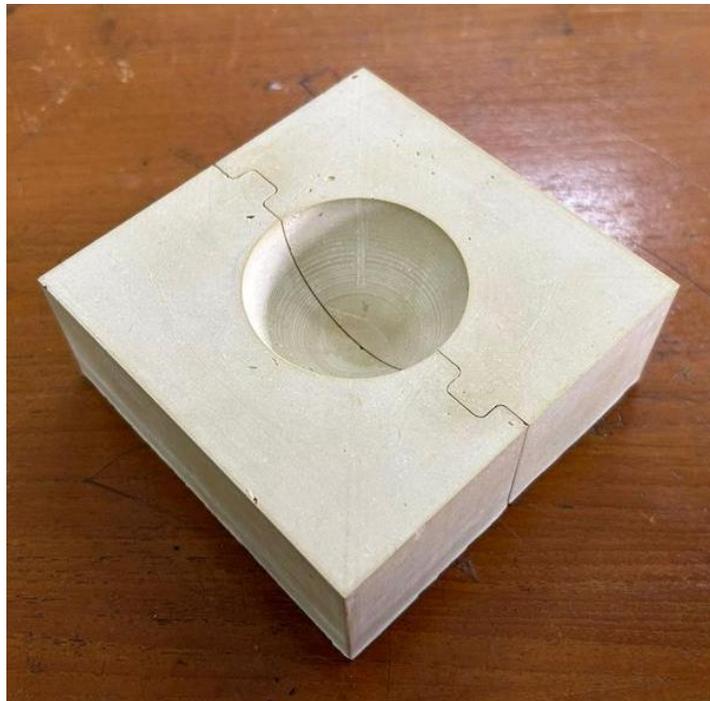
Proses CNC *puzzle mold* dilakukan dengan dua proses sesuai dengan hasil dari simulasi pemesinan yaitu *roughing* dan *finishing*. Parameter yang digunakan pada setiap prosesnya juga berbeda seperti yang terlihat pada tabel 4- 1.

Tabel 4- 1 Parameter Pemesinan *Roughing* dan *Finishing* pada *Puzzle Mold*

Parameter	<i>Roughing</i>	<i>Finishing</i>
Diameter Pahat	<i>End mill</i> 4 mm	<i>Ballnose</i> 3 mm
<i>Strategy</i>	<i>Model area clearance</i>	<i>Steep and shallow finishing</i>
<i>Stepover</i>	1.5 mm	0.2 mm
<i>Stepdown</i>	1 mm	0.5 mm
<i>Cutting feed rate</i>	1000 mm/min	1000 mm/min
<i>Planging feed rate</i>	500 mm/min	500 mm/min
<i>Spindel speed</i>	1500 rpm	1500 rpm
<i>Tolerance</i>	0.01 mm	0.01
<i>Time</i>	1 jam 11 menit	53 menit

Parameter pemesinan *puzzle mold* yang digunakan sudah sesuai dengan hasil yang ingin didapatkan, akan tetapi terdapat kegagalan pada saat proses *roughing* yaitu ada sisi pada *puzzle mold* tidak terkena pemakanan dari mata pahat

karena dalam pengaturan titik *zero* mata pahat terdapat koordinat sumbu yang berlebih dan berkurang. Penyebab kedua kegagalan sisi pada *puzzle mold* tidak terkena pemakanan dari mata pahat yaitu pada saat proses pendempulan menggunakan *polyester putty* tidak tersebar merata dan ada bagian yang berlebih dan berkurang. Proses CNC *puzzle mold* apabila mengalami kegagalan akan dilakukan proses pendempulan pada bagian yang tidak terkena pemakanan mata pahat. Hasil dari proses CNC *puzzle mold* dapat dilihat pada gambar 4- 4.



Gambar 4- 4 Hasil Proses CNC *Puzzle Mold*

4.4 Hasil Produk Komposit dari *Puzzle Mold*

Proses pembuatan produk komposit dari *puzzle mold* dilakukan menggunakan metode *vacuum bagging* yang merupakan salah satu metode pengerjaan komposit dengan memanfaatkan kevakuman udara pada *plastic bag* yang direkatkan dengan *seleant tape*. Proses penuangan resin menggunakan metode *hand lay-up* dengan bantuan kuas. Kuas dioleskan pada bagian *puzzle mold* dan serat karbon dengan tujuan resin dapat tersebar merata pada serat karbon sesuai dengan hasil *puzzle mold*. Serat karbon yang digunakan pada pembuatan produk *puzzle mold* hanya satu lapisan karena produk yang dibuat digunakan untuk menganalisis perbandingan geometri antara produk komposit *puzzle mold* dengan

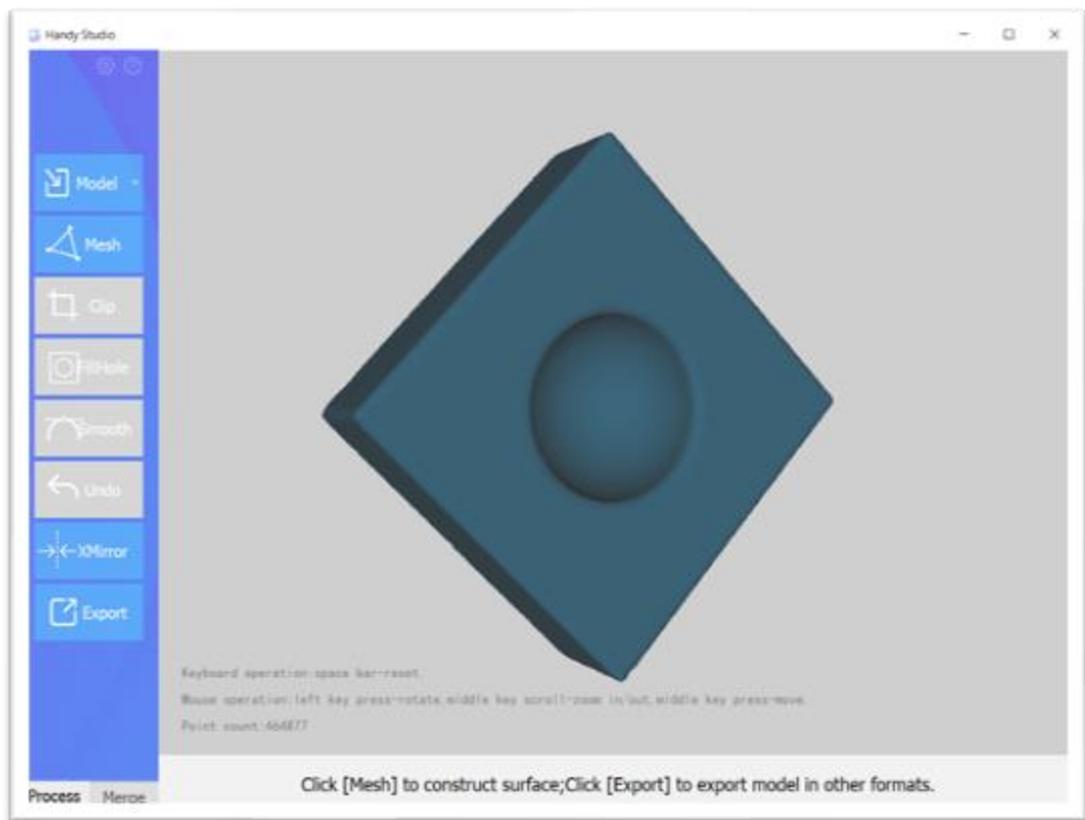
desain asli. Hasil produk komposit dari *puzzle mold* dapat dilihat pada gambar 4-5.



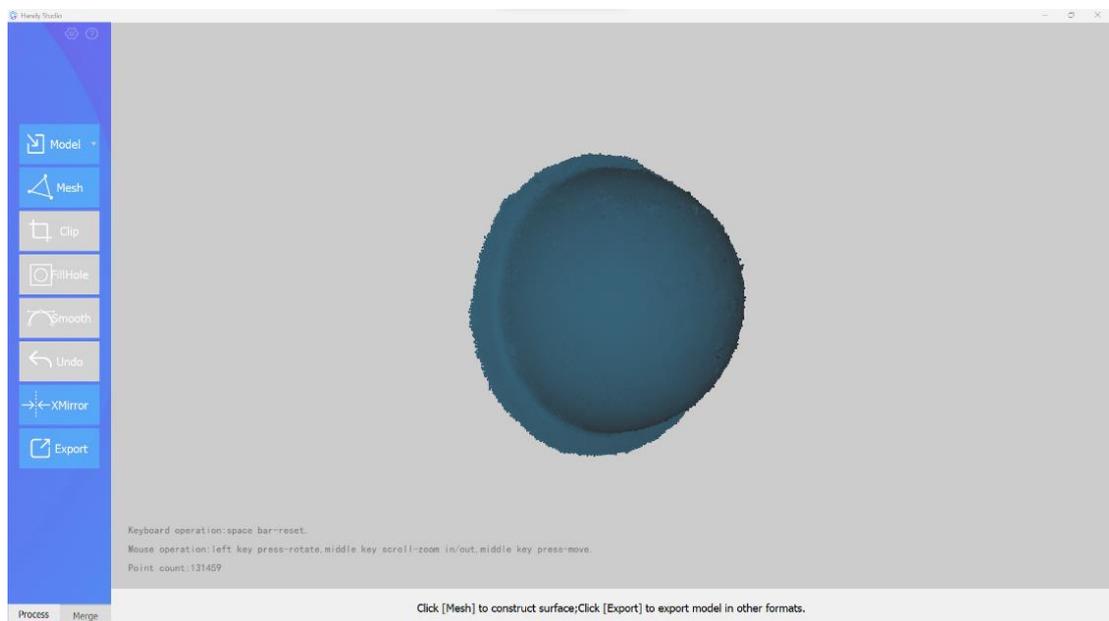
Gambar 4- 5 Hasil Produk Komposit dari *Puzzle Mold*

4.5 Hasil 3D Scanning *Puzzle Mold* dan Produk Komposit

Proses *3D scanning puzzle mold* dan produk komposit *puzzle mold* menggunakan metode pemindaian tetap di mana alat *3D scan* tidak bergerak, namun *puzzle mold* dan produk komposit *puzzle mold* yang bergerak dengan bantuan alat putar otomatis. Hasil *scanning* apabila kurang maksimal, maka dilakukan pengulangan pemindaian pada *puzzle mold* atau produk komposit *puzzle mold* supaya mendapatkan hasil pemindaian lebih maksimal. Proses *3D scanning* menggunakan alat *3D Sense Pro* dengan bantuan dua *software* yaitu *Handy Scan* dan *Handy Studio* dimana dari kedua *software* tersebut memiliki fungsi yang berbeda. *Handy Scan* berfungsi untuk menampilkan proses hasil *scanning puzzle mold* atau produk komposit dari *puzzle mold* dengan format *output file* (fuse.). *Handy Studio* berfungsi untuk mengolah hasil dari pemindaian *puzzle mold* dan produk *puzzle mold* yang didapatkan dari *software Handy Scan* dengan hasil format *output file* (stl.). *Output file* (stl.) digunakan untuk perbandingan geometri dari *puzzle mold* dan produk komposit *puzzle mold*. Hasil *3D scanning puzzle mold* dan produk komposit *puzzle mold* dapat dilihat pada gambar 4- 6 dan gambar 4- 7.



Gambar 4- 6 Hasil 3D Scanning Puzzle Mold

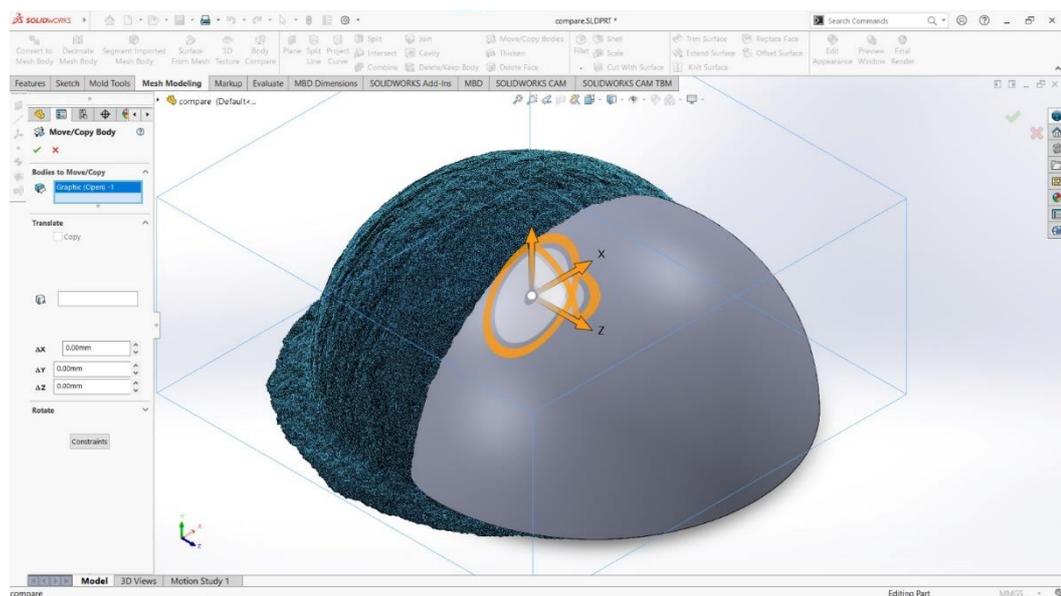


Gambar 4- 7 Hasil Scanning Produk Komposit

4.6 Analisis dan Pembahasan

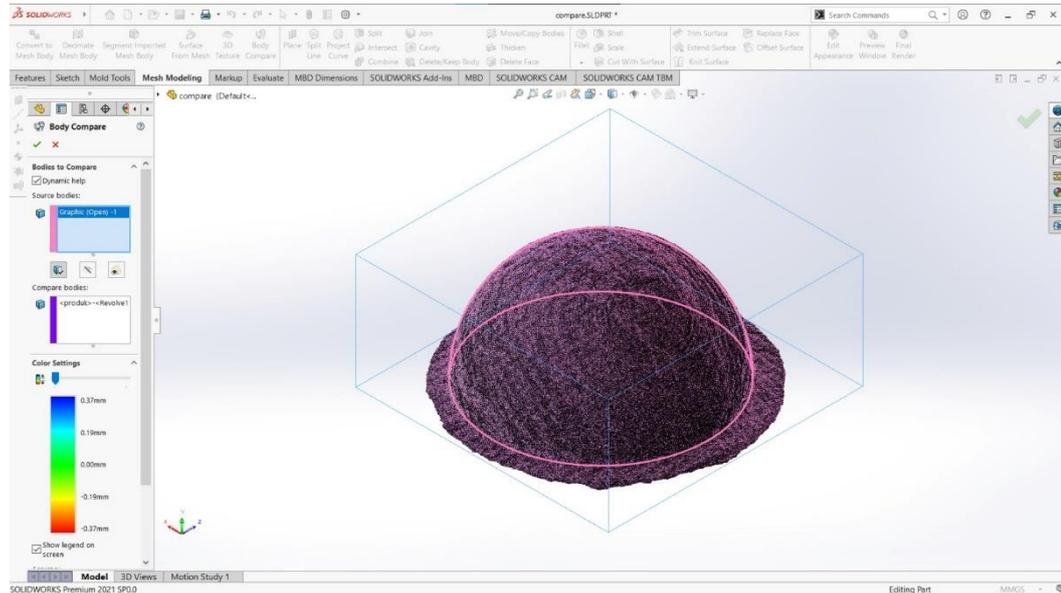
4.6.1 Proses Perbandingan Geometri

Proses perbandingan geometri produk komposit yaitu dengan membandingkan produk komposit dengan desain yang dijadikan studi kasus. Proses perbandingan geometri produk komposit dengan mengolah hasil *scanning* atau pemindaian objek 3 dimensi menjadi bentuk *mesh* menggunakan aplikasi *Handy Studio* dengan format file (stl.). Hasil *scanning* produk komposit dengan format (stl.) kemudian dimasukkan pada aplikasi *Solidworks* untuk dilakukan perbandingan geometri dengan desain produk komposit. Perbandingan geometri pada *Solidworks* diawali dengan perintah *move/copy body* untuk memindahkan hasil *scanning* produk komposit agar dapat dibandingkan dengan desain produk komposit seperti yang terlihat pada gambar 4- 8.



Gambar 4- 8 Proses *Move/Copy Body*

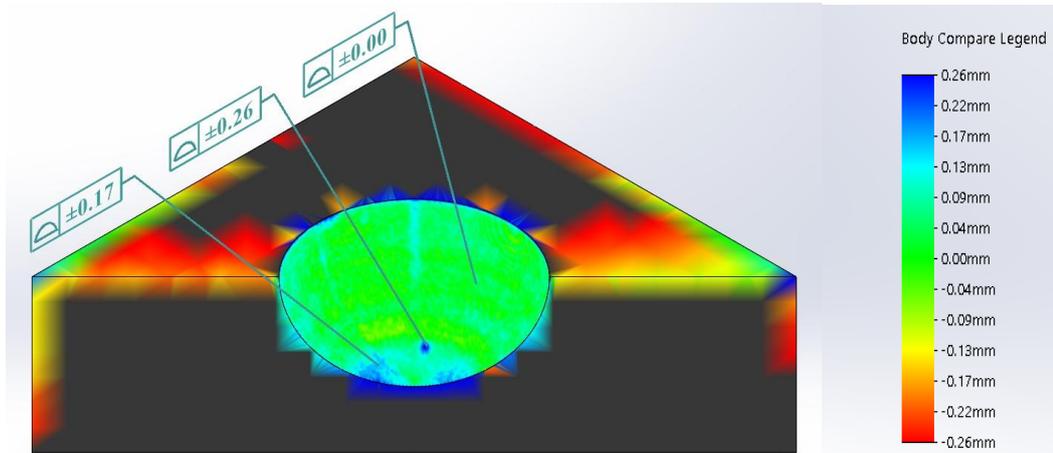
Proses selanjutnya setelah menggabungkan antara hasil *scanning* produk komposit dengan desain produk komposit yaitu dilakukan analisis perbandingan geometri dengan menggunakan perintah *body compare*. Proses *body compare* produk komposit menggunakan *source bodies* dari hasil *scanning* produk komposit dan di *compare bodies* dengan desain dari produk komposit seperti yang ditunjukkan pada gambar 3-9.



Gambar 4- 9 Proses *Body Compare*

4.6.2 Hasil Perbandingan Geometri *Puzzle Mold*

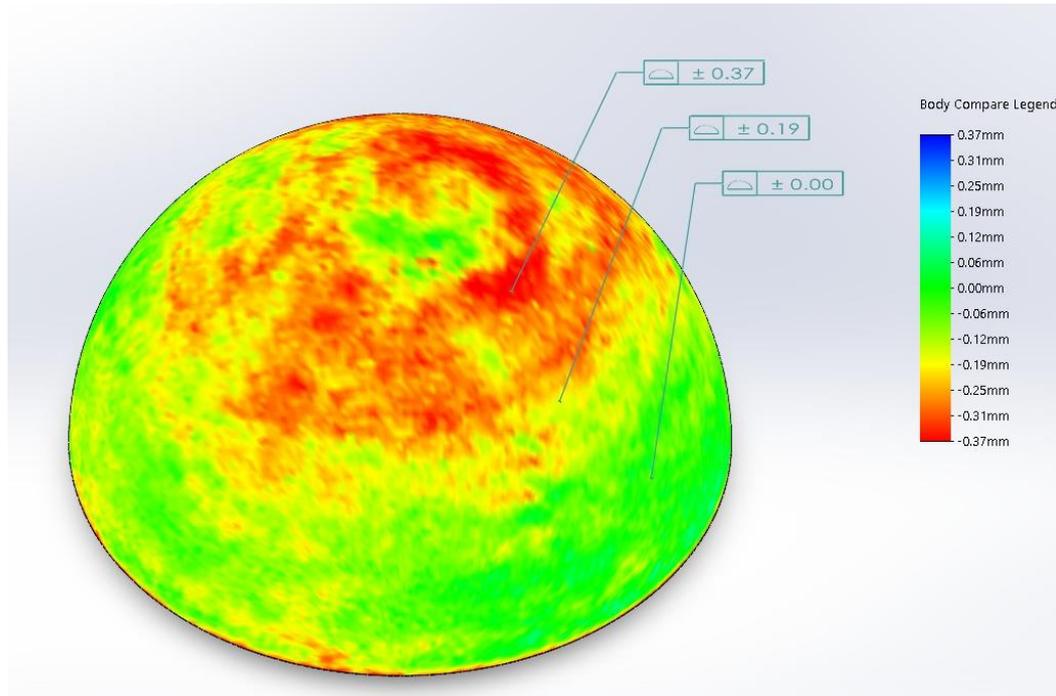
Hasil perbandingan geometri yang dilakukan menggunakan *software Solidwork* dengan cara *body compare* antara hasil *scanning* yang sudah diubah dengan format (stl.) dengan desain dari *puzzle mold*. Hasil perbandingan geometri *puzzle mold* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4- 10 difokuskan untuk menganalisis pada bagian setengah bola dengan membelah menjadi dua supaya dapat melihat hasil perbandingan pada bagian dalam, terlihat hasil *puzzle mold* sudah sesuai dengan bentuk dari desain yang diinginkan. Rentang pada perbandingan geometri *puzzle mold* yaitu -0,26 mm hingga 0,26 mm dengan penyimpangan maksimum pada perbandingan geometri *puzzle mold* berkisar 0,17 mm hingga 0,26 mm yang ditunjukkan dengan warna biru. Hasil perbandingan geometri *puzzle mold* dapat menjelaskan bahwa pembuatan *puzzle mold* kombinasi antara *3D printing fused deposition modelling (FDM)* bermaterial *polylactic acid* dengan *polyester putty* dapat akurat dengan desain *puzzle mold* dan sedikit terjadi penyimpangan geometri.



Gambar 4- 10 Hasil Perbandingan Geometri *Puzzle Mold*

4.6.3 Hasil Perbandingan Geometri Produk Komposit

Hasil perbandingan geometri yang dilakukan menggunakan *software Solidwork* dengan cara *body compare* antara hasil *scanning* produk komposit yang sudah diubah dengan format (stl.) dengan desain dari produk komposit. Hasil perbandingan geometri produk komposit yang ditunjukkan pada gambar 4- 11 difokuskan pada hasil bagian setengah bola dari *puzzle mold* untuk melihat perbandingan geometri dari produk komposit. Rentang pada perbandingan geometri produk komposit yaitu -0,37 mm hingga 0,37 mm dengan penyimpangan maksimum -0,19 mm hingga -0,37 mm yang ditunjukkan dengan warna merah. Penyimpangan maksimum disebabkan adanya penyimpangan *puzzle mold* dan dalam hasil perbandingan geometri dari produk komposit juga terdapat penyimpangan seperti kurang menekannya plastik vakum pada proses *vacuum bagging*. Hasil perbandingan geometri dari produk komposit dapat menjelaskan bahwa penyimpangan yang terjadi pada *puzzle mold* terjadi juga pada produk komposit akan tetapi nilai penyimpangan dari produk komposit lebih tinggi dengan nilai $\pm 0,37$ mm.



Gambar 4- 11 Hasil Perbandingan Geometri Produk Komposit

4.6.4 Pembahasan

Penelitian tentang ketelitian geometri produk komposit menggunakan cetakan hasil *3D printing fused deposition modelling* (FDM) dikombinasi *CNC milling* diawali dengan pembuatan *puzzle mold* bermaterial *polylactic acid* dan dilapisi *polyester putty* melalui proses *3D printing fused deposition modelling* (FDM) dan proses *CNC milling*. Proses selanjutnya setelah membuat *puzzle mold* adalah dengan membuat produk komposit melalui *puzzle mold* yang dilakukan menggunakan metode *hand lay-up* dan proses *vacuum bagging*.

Hasil dari kombinasi proses *3D printing fused deposition modelling* (FDM) dan proses *CNC milling* didapatkan untuk membuat *puzzle mold* dengan material *polylactic acid* yang dilapisi dengan *polyester putty*. Proses *CNC milling* dilakukan untuk mendapatkan nilai akurasi dari *puzzle mold* dan dibandingkan dengan desain dari *puzzle mold* kemudian dilakukan proses *scanning* untuk mendapatkan hasil hasil 3 dimensi dari *puzzle mold* untuk dilakukan perbandingan geometri menggunakan aplikasi *Solidworks*. Proses *CNC milling* didapatkan hasil

penyimpangan maksimum dari *puzzle mold mold* berkisar 0,17 mm hingga 0,26 mm.

Hasil dari *puzzle mold* dengan material *polylactic acid* yang dilapisi dengan *polyester putty* dapat digunakan untuk membuat produk komposit. Produk komposit yang dibuat digunakan untuk mengetahui nilai akurasi dan mengetahui nilai penyimpangan yang terjadi. Penyimpangan maksimum yang terjadi pada produk komposit berkisar -0,19 mm hingga -0,37 mm yang disebabkan adanya penyimpangan *puzzle mold* dan dalam hasil perbandingan geometri dari produk komposit juga terdapat penyimpangan seperti kurang menekannya plastik vakum pada proses *vacuum bagging*.

Puzzle mold dan produk komposit yang telah di *scanning* dan dilakukan *body compare* didapatkan hasil dari nilai penyimpangan geometri. Penyimpangan geometri yang terjadi pada *puzzle mold* menyebabkan penyimpangan geometri pada produk komposit, akan tetapi nilai penyimpangan pada produk komposit lebih tinggi yaitu berkisar $\pm 0,37$ mm. Penyebab terjadinya penyimpangan produk komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kurang menekannya plastik vakum ketika proses *vacuum bagging*, proses *scanning* dilakukan terlalu cepat yang menyebabkan ada sisi yang kurang terkena *scanning* dan ada pengikisan dari *puzzle mold* yang menyebabkan kikisan tersebut menempel pada produk komposit.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Proses pembuatan produk menggunakan *puzzle mold* kombinasi *3D printing fused deposition modeling* (FDM) yang dilapisi dengan *polyester putty* dapat digunakan untuk membuat produk komposit.
2. Hasil analisis perbandingan geometri dapat dilihat pada *puzzle mold* memiliki hasil penyimpangan maksimum dengan angka yang berkisar 0,17 mm hingga 0,26 mm sedangkan pada produk komposit memiliki hasil penyimpangan maksimum berkisar -0,19 mm hingga -0,37 mm.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Sebelum melakukan proses pemesinan observasi terlebih dahulu untuk menentukan parameter yang sesuai agar mata pahat tidak patah pada saat proses pemesinan,
2. Membuat produk komposit lebih dari 1 untuk mengetahui perbandingan geometri pada setiap spesimen yang dibuat dan membandingkannya.
3. Setiap proses yang dilakukan ketika pembuatan *puzzle mold* dan produk komposit selalu perhatikan prosedur penggunaan dan perlengkapan keamanan K3

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, M., & Saraswati, R. (2022). Optimalisasi Parameter Mesin CNC Milling 3 Axis terhadap Waktu Produksi dengan Menggunakan Response Surface Methodology. *Formosa Journal of Applied Sciences*, 1(4), 293–304. <https://doi.org/10.55927/fjas.v1i4.1089>
- Hasdiansah, H. (2018). Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Elastisitas Produk Yang Dihasilkan. *Jurnal Rekayasa Material*, 187–192.
- Kumara, S., Putra, S., Ds, M. A., Sari, R., & Ds, S. (2018). *Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi 2018 SENSITEK 2018 STMIK Pontianak* (Vol. 12). <http://www.insinyoer.com/wp->
- Siregar, R. A., & Rangkuti, A. R. (2018). Pembuatan Cetakan Kotak Sabun Pada Mesin Injection Molding Plastik. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 1(1), 57–63. <https://doi.org/10.30596/rmme.v1i1.2436>
- Ali, K. (2022). Perancangan Soft Mold Yang Dibuat Menggunakan Fused Filament Fabrication Bermaterial Thermoplastic Polyurethane Sebagai Perbaikan Pada Proses Vacuum Infusion. *Skripsi*, 70–89.
- Anugra Riyanto, P., Manik, P., & Amiruddin, W. (2022). JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisa Kekedapan Sambungan Papan Laminasi Komposit Berpenguat Serat Bambu Apus Dengan Matrik Resin Epoxy. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 10(4), 31–40. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Arifadhillah, N. (2022). ANALISA PERLAKUAN ALKALI (NaOH) PADA SERAT TERHADAP KEKUATAN IMPACT DAN BENDING KOMPOSIT BERMATRIK EPOXY. *Jurnal Ilmiah*, 1–67.
- Armansyah, A., Hidayatulloh, S., & Herliana, A. (2018). Perancangan dan Pembuatan Alat Scanner 3D Menggunakan Sensor Kinect Xbox 360. *Jurnal Informatika*, 5(1), 128–136. <https://doi.org/10.31311/ji.v5i1.2443>
- Athira, Nair, A. S., Nair, K. S., & Mary Thomas, R. (2016). Infrared sensor based 3D image construction. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2420–2424. www.irjet.net
- Aziz, M., & Saraswati, R. (2022). Optimalisasi Parameter Mesin CNC Milling 3 Axis terhadap Waktu Produksi dengan Menggunakan Response Surface Methodology.

- Formosa Journal of Applied Sciences*, 1(4), 293–304.
<https://doi.org/10.55927/fjas.v1i4.1089>
- Gibson, R. F. (2007). Principles of Composite Material Mechanics. *Principles of Composite Material Mechanics*. <https://doi.org/10.1201/9781420014242>
- Gunandar, A. W. (2021). Analisis Kekuatan Tarik Dan Impak Bahan Komposit Hibrid Berpenguat Serbuk Kayu Akasia Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit. 65. <https://repository.uir.ac.id/8977/%0Ahttps://repository.uir.ac.id/8977/1/153310526.pdf>
- Lutfi, F. (2018). Pembuatan Model Papan Selancar Komposit Serat Bambu Menggunakan Vacuum Bagging. *Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*, 1–20.
- Rahadiyanto, A. (2018). Perbaikan Proses Pembuatan Produk Komposit Dengan Metode Vacuum Bagging. *Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*, 9.
- Susanto, A. (2022). Aplikasi Pembuatan Cetakan Vacuum Infusion Komposit Menggunakan Additive Manufacturing Fused Filament Fabrication (FFF) dengan Material Polyactic Acid (PLA).
- Triyono. (2019). Perancangan dan Pembuatan Cetakan Komposit Untuk Metode Vacuum Infusion Menggunakan Penekan Elastomer Bag. *Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*, 1–46.

