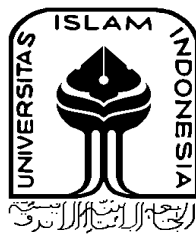


**Tingkat Ketelitian *Puzzle Mold* Komposit dengan Kombinasi  
antara *3D Printing Fused Deposition Modelling* dan *Milling CNC***

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh :**

**Nama : Ahmad Suhada**  
**No. Mahasiswa : 19525134**  
**NIRM : 1907260131**

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

**2024**

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

Tingkat Ketelitian *Puzzle Mold* Komposit dengan Kombinasi  
antara *3D Printing Fused Deposition Modelling* dan *Milling CNC*

### TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

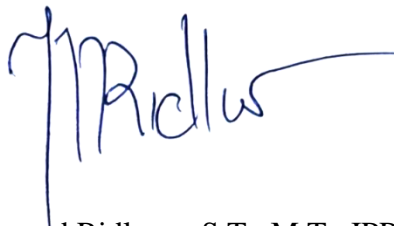
Nama : Ahmad Suhada

No. Mahasiswa : 19525134

NIRM : 1907260131

Yogyakarta, 14 Januari 2024

Pembimbing,

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

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

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Tingkat Ketelitian *Puzzle Mold* Komposit dengan Kombinasi  
antara *3D Printing Fused Deposition Modelling* dan *Milling CNC*

### TUGAS AKHIR

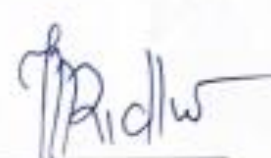
Disusun Oleh :

Nama : Ahmad Suhada  
No. Mahasiswa : 19525134  
NIRM : 1907260131

Tim Penguji

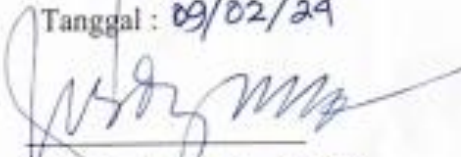
Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP

Ketua

  
Tanggal : 09/02/24


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

Anggota I

  
Tanggal : 07/02 2024

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

Anggota II

  
Tanggal : 05/02/2024

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Ahmad Suhada  
NIM : 19525134  
Program Studi : S1, Teknik Mesin  
Institusi : Universitas Islam Indonesia  
Judul Laporan : Tingkat Ketelitian *Puzzle Mold* Komposit dengan  
Kombinasi antara *3D Printing Fused Deposition Modelling*  
dan *Milling CNC*

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, 09 Februari 2024



Ahmad Suhada

## HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya yang telah memberikan segala nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini saya persembahkan:

Untuk kedua orang tua saya bapak Andrei Arjito dan ibu Nani Irawati yang senantiasa memberikan doa dan dukungan limpahan kasih sayang. Dan semoga Allah SWT selalu melindungi dan membalas beribu kebaikan bapak dan ibu.

Kepada bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP selaku dosen pembimbing dan dosen pengajar yang selama ini telah membimbing, membantu, dan ikhlas dalam memberikan ilmunya. Selain itu, kepada semua tenaga pendidik dan teman-teman dari program studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia, serta teman-teman lainnya yang selalu memberikan dukungan baik waktu, tempat, dan motivasi kepada saya sehingga membuat saya termotivasi untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik.

## HALAMAN MOTTO

“Sesungguhnya Tuhanku bersamaku, Dia akan memberi petunjuk kepadaku.”

(Qs. Asy-Syu'ara : 62)

“Apabila kamu sudah memutuskan untuk menekuni suatu bidang. Jadilah orang yang konsisten. Itu adalah kunci keberhasilan yang sebenarnya.”

(B.J Habibie)

“Orang lain tidak akan bisa paham *struggle* dan masa sulitnya kita karena yang mereka ingin tahu hanya bagian *success stories*. Berjuanglah untuk diri sendiri walaupun tidak ada yang tepuk tangan. Kelak diri kita dimasa depan akan sangat bangga dengan apa yang kita perjuangkan hari ini.”

(Fardiyandi)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga peneliti dapat diberikan kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Tingkat Ketelitian *Puzzle Mold* Komposit dengan Kombinasi antara *3D Printing Fused Deposition Modelling* dan *Milling CNC*” dapat disusun dengan baik sebagai syarat menyelesaikan studi strata-1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapat dukungan, saran, dan bantuan dari berbagai pihak sehingga pada kesempatan ini perkenankan penulis untuk menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas segala berkah, rahmat, dan karunia-nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan bantuan, bimbingan, dan ilmunya.
4. Seluruh dosen dan laboran Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan banyak ilmu bermanfaat selama perkuliahan.
5. Kedua orang tua penulis, Bapak Andrei Arjito dan Ibu Nani Irawati di Bogor yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, dan memotivasi selama menempuh pendidikan.
6. Annisa Nasywa Fadillah selaku adik penulis yang selalu memberikan dukungan dan selalu mendoakan kepada penulis.
7. Keluarga besar penulis yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, dan memotivasi selama perkuliahan.
8. Atika Wulandari Shabiru yang telah memberikan banyak bantuan, memberikan dukungan, dan selalu mendoakan selama Tugas Akhir.
9. Amirul Arief Wibowo selaku partner Tugas Akhir yang selalu memberikan banyak masukan, memberikan bantuan, dan memberikan dukungan.

10. Putra Bagas Verianto yang telah memberikan masukan dan bantuan ketika Tugas Akhir mengalami kendala.
11. Kawan-kawan Kos Pondok Sawojajar yang telah memberikan masukan dan menemani selama perkuliahan.
12. Teman-teman Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang menjadi teman seperjuangan selama perkuliahan.
13. Semua pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu per satu telah banyak membantu dan mendukung dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membantu penulis untuk bisa menyempurnakan pada penelitian selanjutnya. Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan informasi dan topik pembahasan.

Yogyakarta, 14 Januari 2024



Ahmad Suhada

## ABSTRAK

Cetakan atau *mold* adalah alat pendukung untuk membuat suatu produk yang akan mendapatkan hasil produk dengan bentuk dan dimensi yang akurat. Seiring berkembangnya zaman pasti akan selalu ada hal baru muncul yang dikembangkan. Teknologi *3D printing* merupakan salah satu terobosan baru yang dapat digunakan untuk membuat cetakan atau *mold*. Namun, *mold* yang terbuat dari proses *3D printing* memiliki kelemahan karena pada proses *3D printing* memiliki titik leleh sehingga membuat hasil produk dari *mold 3D printing* memiliki tingkat ketelitian yang rendah dan penyimpangan geometri tinggi. Penelitian ini melakukan inovasi baru terhadap *puzzle mold* dengan menggunakan metode komposit kombinasi antara *3D printing filament Fused Deposition Modelling* dan *Milling CNC*. Pembuatan *puzzle mold* komposit melewati beberapa proses, seperti desain *puzzle mold*, *3D printing*, pendempulan, dan permesinan CNC. Dari hasil pembuatan *puzzle mold* komposit dilakukan proses *3D scanning* untuk dapat melakukan analisis perbandingan geometri. Berdasarkan hasil analisis perbandingan geometri yang dilakukan pada bentuk setengah bola *puzzle mold* komposit memiliki hasil yang dominan berwarna hijau dengan penyimpangan geometri terbesar sekitar 0,26 mm dikarenakan adanya lubang dan penyimpangan geometri terkecil sekitar 0,00 mm. Dengan demikian, inovasi baru pada *puzzle mold* dengan metode komposit dapat dilakukan dan memiliki tingkat ketelitian yang tinggi dan penyimpangan geometri yang rendah.

Kata kunci: Cetakan, *3D Printing*, Komposit, *Milling CNC*, Geometri.

## **ABSTRACT**

*Molding or mold is a supporting tool for making a product that will get product results with accurate shapes and dimensions. As the times develop, there will always be new things that are developed. 3D printing technology is one of the new breakthroughs that can be used to make mold. However, mold made from the 3D printing process have weaknesses because the 3D printing process has a melting point that makes the product results from 3D printing mold have a low level of accuracy and high geometry deviations. This research makes a new innovation to the puzzle mold by using a composite method of combination between 3D printing filament Fused Deposition Modelling and CNC Milling. Making a composite puzzle mold goes through several processes, such as puzzle mold design, 3D printing, caulking, and CNC machining. From the results of making a composite puzzle mold, a 3D scanning process is carried out to be able to carry out a geometry comparison analysis. Based on the results of the geometry comparison analysis carried out on the composite puzzle mold hemisphere shape has a dominant green result with the largest geometry deviation of about 0.26 mm due to the hole and the smallest geometry deviation of about 0.00 mm. Thus, new innovations in puzzle mold with composite methods can be made and have a high level of accuracy and low geometry deviations.*

*Keywords: Mold, 3D Printing, Composite, CNC Milling, 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 .....	vii
Abstrak .....	ix
Daftar Isi .....	xi
Daftar Tabel .....	xiii
Daftar Gambar .....	xiv
Bab 1 Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
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 .....	7
2.2.1 <i>Computer Aided Design (CAD)</i> .....	7
2.2.2 <i>Computer Aided Manufacturing (CAM)</i> .....	7
2.2.3 <i>Computer Aided Engineering (CAE)</i> .....	8
2.2.4 <i>Puzzle</i> .....	8
2.2.5 <i>3D Printing</i> .....	9
2.2.6 <i>Komposit</i> .....	10
2.2.7 <i>Computer Numerical Control (CNC)</i> .....	10
2.2.8 <i>3D Scanning</i> .....	11
Bab 3 Metode Penelitian .....	13

3.1	Alur Penelitian .....	13
3.2	Peralatan dan Bahan.....	14
3.3	Proses Desain <i>Mold</i> .....	22
3.3.1	Desain <i>Puzzle Mold</i> .....	22
3.3.2	Desain <i>Puzzle Mold</i> Komposit .....	23
3.4	Proses 3D <i>Printing Puzzle Mold</i> .....	23
3.5	Proses Pendempulan <i>Puzzle Mold</i> Komposit.....	24
3.6	Simulasi Permesinan CNC <i>Puzzle Mold</i> Komposit.....	25
3.7	Proses Permesinan CNC <i>Puzzle Mold</i> Komposit .....	26
3.8	Proses 3D <i>Scanning</i> .....	27
Bab 4	Hasil dan Pembahasan .....	29
4.1	Hasil Desain <i>Puzzle Mold</i> .....	29
4.1.1	Desain <i>Puzzle Mold</i> .....	29
4.1.2	Desain <i>Puzzle Mold</i> Komposit .....	29
4.2	Hasil 3D <i>Printing Puzzle Mold</i> .....	30
4.3	Hasil Pendempulan <i>Puzzle Mold</i> Komposit.....	31
4.4	Hasil Permesinan CNC <i>Puzzle Mold</i> Komposit .....	32
4.5	Hasil 3D <i>Scanning</i> .....	33
4.6	Analisis Perbandingan Geometri .....	34
4.6.1	Proses Perbandingan Geometri.....	34
4.6.2	Hasil Perbandingan Geometri.....	35
4.7	Pembahasan .....	37
4.8	Biaya Pembuatan <i>Puzzle Mold</i> Komposit.....	38
Bab 5	Penutup.....	39
5.1	Kesimpulan .....	39
5.2	Saran .....	40
Daftar Pustaka	.....	41
Lampiran	.....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Parameter Permesinan CNC.....	25
Tabel 4-1 Estimasi Biaya.....	38

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Prinsip Kerja 3D <i>Print</i> .....	9
Gambar 2-2 Prinsip Kerja 3D <i>Scan</i> .....	11
Gambar 3-1 Alur Penelitian.....	13
Gambar 3-2 Laptop.....	14
Gambar 3-3 <i>Software</i> Solidworks.....	14
Gambar 3-4 <i>Software</i> Ultimaker Cura.....	15
Gambar 3-5 <i>Software</i> Autodesk Powermill.....	15
Gambar 3-6 <i>Software</i> Mach3 CNC .....	15
Gambar 3-7 <i>Software</i> Handy Scan .....	16
Gambar 3-8 <i>Software</i> Handy Studio.....	16
Gambar 3-9 Mesin 3D <i>Print</i> .....	16
Gambar 3-10 <i>Polylactic Acid</i> (PLA+).....	17
Gambar 3-11 Kape.....	17
Gambar 3-12 <i>Polyester Putty</i> .....	18
Gambar 3-13 <i>Hardener</i> .....	18
Gambar 3-14 Jangka Sorong .....	18
Gambar 3-15 Mesin CNC.....	19
Gambar 3-16 Ragum .....	19
Gambar 3-17 <i>Collet</i> .....	20
Gambar 3-18 Mata Pahat <i>End Mill</i> .....	20
Gambar 3-19 Mata Pahat <i>Ballnose</i> .....	21
Gambar 3-20 Alat 3D <i>Scan</i> .....	21
Gambar 3-21 <i>Display Turntable</i> .....	22
Gambar 3-22 Desain <i>Puzzle Mold</i> .....	22
Gambar 3-23 Desain <i>Puzzle Mold</i> Komposit .....	23
Gambar 3-24 Proses 3D <i>Printing</i> .....	24
Gambar 3-25 Proses Pendempulan <i>Puzzle Mold</i> Komposit.....	25
Gambar 3-26 Simulasi Permesinan CNC .....	26
Gambar 3-27 Proses Permesinan <i>Puzzle Mold</i> Komposit.....	27
Gambar 3-28 Proses 3D <i>Scanning</i> .....	28

Gambar 4-1 Desain Utama <i>Puzzle Mold</i> .....	29
Gambar 4-2 Desain <i>Puzzle Mold</i> Komposit .....	30
Gambar 4-3 Hasil Proses 3D <i>Printing Puzzle Mold</i> .....	30
Gambar 4-4 Hasil Proses Pendempulan <i>Puzzle Mold</i> Komposit.....	31
Gambar 4-5 Hasil Proses Permesinan CNC <i>Puzzle Mold</i> Komposit .....	32
Gambar 4-6 Lubang-Lubang pada <i>Puzzle Mold</i> Komposit.....	33
Gambar 4-7 Hasil Proses 3D <i>Scanning</i> .....	33
Gambar 4-8 Proses Penggabungan .....	34
Gambar 4-9 Proses Perbandingan Geometri .....	35
Gambar 4-10 Hasil Perbandingan Geometri <i>Puzzle Mold 3D Printing</i> .....	36
Gambar 4-11 Hasil Perbandingan Geometri <i>Puzzle Mold</i> Komposit.....	37

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada saat ini perkembangan teknologi dalam industri manufaktur sudah semakin berkembang dengan pesat. Namun, tetap diperlukan juga perkembangan teknologi yang lebih maju untuk menciptakan terobosan baru dalam industri manufaktur karena dengan seiring berkembangnya zaman pasti akan selalu ada hal baru muncul yang dikembangkan. Salah satu terobosan baru yang dikembangkan adalah membuat cetakan atau *molding* menggunakan metode *3D printing* dengan teknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM) yang dipadukan bersama *polyester putty* dan *milling CNC*.

Dalam membuat suatu produk komposit diperlukan adanya *molding* agar menghasilkan produk sesuai dengan apa yang diharapkan. Cetakan atau *molding* adalah alat pendukung untuk membuat suatu produk yang akan mendapatkan hasil produk dengan bentuk dan dimensi yang akurat (Muslimin et al., 2022). Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk membuat suatu cetakan komposit yaitu *3D printing*.

*3D printing* adalah salah satu teknologi manufaktur aditif yang digunakan untuk mencetak suatu produk 3D dengan geometri dan konstruksi yang kompleks (Arefin et al., 2021). Pencetakan suatu produk menggunakan *3D print* membutuhkan bahan material *3D print* atau biasa disebut dengan *filament*. Parameter utama dalam proses *3D printing*, seperti *layer thickness*, *temperature nozzle*, *temperature bed*, *printing speed*, *diameter nozzle*, dan *infill density* (Eryildiz, 2022). Proses *3D printing* banyak digunakan oleh pegiat *3D print*, seperti sebagai penunjang keperluan manufaktur, otomotif, dan penelitian. Hal ini dikarenakan proses pengoperasian dan proses pencetakan *3D printing* yang sangat mudah terutama menggunakan bahan *filament Polylactic Acid* (PLA). Meskipun demikian, pembuatan *mold* dengan *3D printing* memiliki kelemahan karena proses *3D printing* memiliki titik leleh yang akan membuat tinggi lapisan mengalami penambahan atau pengurangan sehingga hasil produk akan memiliki tingkat

ketelitian yang rendah dan penyimpangan geometri yang tinggi (Hasdiansah et al., 2020).

Solusi yang ditawarkan terkait permasalahan diatas yaitu menggunakan terobosan baru dengan mengaplikasikan komposit kepada *mold 3D printing* agar mendapatkan hasil *mold* dengan tingkat ketelitian yang tinggi dan kecilnya penyimpangan geometri, serta *mold* yang dibuat mengacu pada bentuk *puzzle* atau terobosan baru ini dapat disebut dengan *puzzle mold* komposit. *Puzzle* adalah berupa potongan dari suatu bentuk yang dapat dibongkar dan dirakit sehingga menjadi bentuk yang utuh. Dalam hal ini, bentuk *puzzle* pada *mold* dengan metode *3D printing* sangat dibutuhkan ketika ingin membuat produk komposit dengan dimensi yang besar karena ruang pada mesin *3D print* yang terbatas, maka *mold 3D printing* membutuhkan bentuk *puzzle* agar dapat mencapai produk komposit dengan dimensi yang sesuai.

Komposit adalah gabungan antara dua atau lebih material dengan sifat dan karakteristik berbeda yang memiliki peran sebagai penguat dan pengikat (Syaukani et al., 2021). Komposit adalah salah satu penerapan teknologi maju yang hingga saat ini masih terus dilakukan pengembangan. Komposit memiliki kelebihan pada sifat mekanik, kekakuan material (*modulus young*), dan kekuatan material (*strength*) yang lebih tinggi dibandingkan logam (Julian, 2022). Bahan komposit yang digunakan adalah *polyester putty*. Penelitian ini akan membuktikan apakah *mold* komposit akan memiliki tingkat ketelitian yang tinggi dibandingkan *mold 3D printing*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan pada latar belakang, maka didapatkan rumusan masalah antara lain sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pembuatan *puzzle mold* komposit menggunakan kombinasi antara *3D printing Fused Deposition Modelling* dan *milling CNC*?
2. Bagaimana perbandingan bentuk geometri dari *puzzle mold* antara desain utama *puzzle mold* dengan *puzzle mold 3D printing* dan desain utama *puzzle mold* dengan *puzzle mold* komposit?

### **1.3 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah agar kajian tidak terjadi penyimpangan antara lain sebagai berikut:

1. *Puzzle mold* yang dibuat terbatas dengan bentuk setengah bola.
2. Proses 3D *scanning* hanya berfokus untuk membantu perbandingan geometri.
3. Hasil perbandingan geometri terbatas pada geometri setengah bola.
4. Tidak membahas sifat mekanik dari *puzzle mold*.
5. Tidak membahas mengenai produk hasil dari *puzzle mold*.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Melakukan proses pembuatan *puzzle mold* komposit dengan kombinasi antara 3D *printing Fused Deposition Modelling* dan *milling* CNC sehingga dapat digunakan untuk membuat produk komposit dengan proses *vacuum bag*.
2. Mengukur ketelitian atau penyimpangan geometri dari *puzzle mold* antara desain utama *puzzle mold* dengan *puzzle mold* 3D *printing* dan desain utama *puzzle mold* dengan *puzzle mold* komposit.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Berdasarkan tujuan penelitian, maka manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Memberikan wawasan dan inovasi terkait alternatif solusi pembuatan *mold*.
2. Memberikan wawasan mengenai hasil perbandingan geometri dari *puzzle mold* antara desain utama *puzzle mold* dengan *puzzle mold* 3D *printing* dan desain utama *puzzle mold* dengan *puzzle mold* komposit.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Pada bagian ini berisikan mengenai urutan dan sistematika penulisan laporan Tugas Akhir lengkap beserta ringkasan mengenai isi dari masing-masing bab dalam penelitian ini.

**BAB 1 : Pendahuluan**

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

**BAB 2 : Tinjauan pustaka**

Pada bagian ini berisikan kajian pustaka dan dasar teori yang mendasari dari penelitian ini.

**BAB 3 : Metode penelitian**

Pada bagian ini berisikan alur penelitian, peralatan dan bahan, serta proses pengerjaan dari penelitian ini.

**BAB 4 : Hasil dan pembahasan**

Pada bagian ini berisikan terkait hasil dari proses pengerjaan, analisis, dan pembahasan dari penelitian.

**BAB 5 : Penutup**

Pada bagian ini berisikan kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Sumber pertama yang mendasari penelitian ini berjudul “Perancangan dan Pembuatan Cetakan Komposit untuk Metode *Vacuum Infusion* Menggunakan Penekan *Elastomer Bag*” oleh (Triyono, 2019). Penelitian tersebut membahas tentang pembuatan cetakan yang dapat menghasilkan produk dengan permukaan yang halus dan cetakan yang tidak terjadi perubahan bentuk ketika dilakukan pembuatan produk. Pada penelitian ini cetakan yang dibuat menggunakan bahan lateks dengan bantuan tanah liat sebagai *support* dan pembuatan produk dilakukan menggunakan proses *hand lay-up*. Dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa hasil produk dari cetakan memiliki permukaan yang halus dan cetakan tidak terjadi perubahan bentuk.

Sumber kedua yang mendasari penelitian ini berjudul “*Mold with Advanced Materials for Carbon Fiber Manufacturing with 3D Printing Technology*” oleh (Ferretti et al., 2021). Penelitian tersebut membahas tentang pembuatan cetakan dengan teknologi *3D printing* untuk produk komposit dan analisis perbandingan geometri antara model CAD dan cetakan hasil *3D print*. Studi kasus pada produk yang terdapat dalam penelitian tersebut adalah *fuel tap protection* untuk motor balap. Dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa hasil dari menggunakan cetakan dengan teknologi *3D printing* memiliki kualitas yang cukup tinggi, tetapi masih terdapat penyimpangan geometri.

Sumber ketiga yang mendasari penelitian ini berjudul “Pengaruh Proses Komposit *Sandwich* Metode *Vacuum Infusion* terhadap *3D Printed Core* Geometri Kompleks” oleh (Baraja, 2021). Penelitian tersebut membahas tentang pembuatan produk geometri kompleks dengan gabungan antara hasil *3D print* dan komposit sandwich dengan metode *vacuum infusion*. Studi kasus pada produk yang terdapat dalam penelitian tersebut adalah helm sepeda karena memiliki bentuk geometri kompleks. Dengan demikian, produk helm sepeda yang telah dilakukan proses *vacuum infusion* lalu dilakukan perbandingan geometri antara helm sepeda proses

3D *print* dengan model CAD dan helm sepeda proses komposit dengan model CAD. Dari hasil analisis geometri yang dilakukan pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa terdapat perubahan bentuk geometri pada helm sepeda proses komposit *sandwich*. Hal itu dapat terjadi karena *core* helm sepeda hasil 3D *print* dengan *filament Polylactic Acid* (PLA) tidak kuat menahan panas resin dan adanya penekanan yang kuat dalam proses *vacuum infusion* sehingga menyebabkan perubahan bentuk geometri.

Sumber keempat yang mendasari penelitian ini berjudul “Pembuatan Cetakan Menggunakan Teknologi 3D *Printing* untuk Memproduksi Helm Sepeda Lipat Komposit Karbon Fiber dengan Metode *Vacuum Infusion*” oleh (Akbar, 2022). Penelitian tersebut membahas tentang pembuatan helm sepeda lipat dengan menggunakan cetakan dari 3D *printing* dan cetakan tersebut menggunakan sistem *puzzle*. Pada produk helm sepeda lipat yang telah dilakukan proses *vacuum infusion* lalu dilakukan pengukuran untuk mengetahui perubahan dimensi dari cetakan helm sepeda lipat. Dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa tidak terjadi perubahan dimensi dari cetakan helm sepeda lipat, tetapi terdapat rongga atau celah pada sambungan cetakan *puzzle*. Hal itu dapat terjadi karena adanya skrap yang digunakan untuk melepaskan hasil *vacuum infusion* dari cetakan helm sepeda lipat.

Sumber kelima yang mendasari penelitian ini berjudul “Pemanfaatan Produk *Additive Manufacturing* (*Fused Filament Fabrication*) untuk *Molding* Komposit Metode *Vacuum Infusion*” oleh (Hartanto, 2022). Penelitian tersebut membahas tentang pembuatan *molding* 3D *printing* untuk produk komposit dengan metode *vacuum infusion* dan analisis perbandingan geometri produk. Studi kasus pada produk yang terdapat dalam penelitian tersebut adalah *cover* spion motor karena memiliki bentuk geometri dengan sudut diatas 90°, maka akan membantu dalam proses 3D *scanning*. Pada produk *cover* spion motor yang telah dilakukan proses *vacuum infusion* lalu dilakukan perbandingan analisis geometri untuk dapat mengetahui kualitas hasil dari *molding* komposit. Dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa terjadi penyimpangan geometri dengan rentang nilai 0,70 sampai 2,10 mm. Hal itu dapat disebabkan oleh hasil 3D *printing*, proses pendempulan, dan keakuratan pemindai alat 3D *scan*.

Sumber keenam yang mendasari penelitian ini berjudul “Perancangan *Soft Mold* yang Dibuat Menggunakan *Fused Filament Fabrication* Bermaterial *Thermoplastic Polyurethane* Sebagai Perbaikan pada Proses *Vacuum Infusion*” oleh (Ali, 2022). Penelitian tersebut membahas tentang pembuatan *soft mold* yang akan digunakan dengan proses *vacuum infusion* dan analisis perbandingan bentuk geometri antara desain produk dan hasil produk dengan proses *vacuum infusion*. Dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa terjadi penyimpangan geometri dengan rentang nilai 1,11 sampai 1,67 mm. Hal itu terjadi karena adanya alat 3D *scan* yang memiliki rentang nilai keakuratan pemindai sebesar 0,3 mm.

## **2.2 Dasar Teori**

Pada dasar teori dari penelitian *puzzle mold* ini menggunakan beberapa landasan teori yang digunakan untuk mendasari teori pada penelitian ini.

### **2.2.1 Computer Aided Design (CAD)**

*Computer Aided Design* (CAD) adalah suatu proses membuat dan merancang desain teknik dalam bentuk model 3D ataupun 2D dengan bantuan perangkat lunak komputer. Terdapat berbagai macam *software* CAD yang sering digunakan, seperti Solidworks, Fusion 360, Autodesk Inventor, Autodesk AutoCAD, dan lain-lain. Dalam hal ini, CAD dapat merubah posisi peralatan konvensional dalam membuat desain teknik dan gambar teknik dengan lebih teliti, rapi, nyata, dan cepat karena CAD ini menggunakan perangkat lunak komputer sehingga proses membuat desain teknik dideskripsikan oleh garis dan fitur simbol pada *software* (Yuliardi et al., 2022). Oleh karena itu, pada industri manufaktur sekarang lebih banyak menggunakan dan memanfaatkan CAD dibandingkan dengan cara konvensional karena cara ini sangat membantu para perancang untuk membuat desain teknik dan gambar teknik dengan waktu yang cepat dan mudah diubah-ubah.

### **2.2.2 Computer Aided Manufacturing (CAM)**

*Computer Aided Manufacturing* (CAM) adalah proses simulasi permesinan pada suatu bentuk model 3D dari hasil proses CAD menjadi suatu produk dengan

bantuan perangkat lunak komputer. Terdapat berbagai macam *software* CAM yang dapat digunakan, seperti Artcam, Powermill, Fusion 360, Swansoft, Ultimaker Cura, dan lain-lain. Penggunaan CAM ini akan mendapatkan *g-code* yang sesuai dengan model 3D ketika sudah melakukan pengaturan, seperti strategi pemakanan, *toolpath*, *setup* mesin, dan lain-lain. Dengan penggunaan CAM dalam proses manufaktur dapat meminimalisir kesalahan atau kerusakan pada alat kerja.

### **2.2.3 Computer Aided Engineering (CAE)**

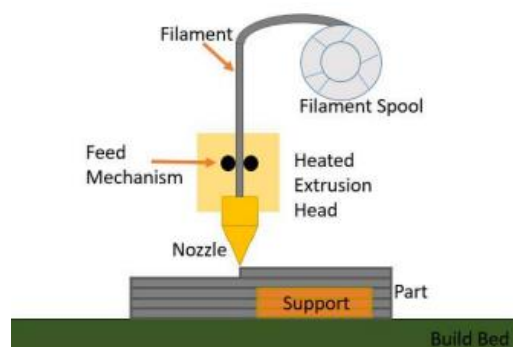
*Computer Aided Engineering* (CAE) adalah proses rekayasa atau analisis pada suatu bentuk model 3D hasil proses CAD dengan bantuan perangkat lunak komputer. Tujuan dari dilakukannya proses *Computer Aided Engineering* ini untuk mengetahui keadaan dari suatu produk dalam upaya mengoptimalkan dan meningkatkan kualitas sebelum dibuat dan dipasarkan. Hal ini sangat memudahkan para *engineer* dalam melakukan upaya analisis atau pengujian pada suatu produk dengan waktu yang singkat secara virtual menggunakan perangkat lunak komputer. Terdapat berbagai macam *software* CAE yang dapat digunakan untuk menganalisis, seperti Solidworks, CATIA, Ansys, dan lain-lain.

### **2.2.4 Puzzle**

*Puzzle* adalah berupa potongan dari suatu bentuk yang dapat dibongkar dan dirakit sehingga menjadi bentuk yang utuh. Bentuk *puzzle* dapat dijadikan suatu metode pada *mold* untuk membuat produk komposit dengan dimensi yang besar sehingga dibutuhkan *mold* dengan bentuk *puzzle* atau produk komposit yang memang membutuhkan *mold* dengan bentuk *puzzle* karena produk komposit yang kompleks. Oleh karena itu, bentuk *puzzle* pada *mold* dengan metode *3D printing* sangat dibutuhkan ketika ingin membuat produk komposit dengan dimensi yang besar karena ruang pada mesin *3D print* yang terbatas, maka *mold 3D printing* membutuhkan bentuk *puzzle* agar dapat mencapai produk komposit dengan dimensi yang sesuai.

## 2.2.5 3D Printing

3D *printing* adalah proses pencetakan dari hasil suatu model CAD menjadi sebuah produk objek nyata. Dengan teknologi 3D *printing* ini sangat memungkinkan pembuatan *prototipe* dengan sangat mudah dan cepat (Wirawan & Pratama, 2023). Pada 3D *printing* terdapat berbagai macam *filament* dengan sifat kekuatan dan kekakuan yang berbeda-beda, seperti *Polylactic Acid* (PLA), *Acetonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG), *Thermoplastic Polyurethane* (TPU), *Acrylonitrile Styrene Acrylate* (ASA), *High Impact Polystyrene* (HIPS), *Polyvinyl Alcohol* (PVA), dan *nylon*. Proses 3D *printing* banyak digunakan oleh pegiat 3D *print* karena mudah dicetak terutama *Polylactic Acid* (PLA). Dari berbagai macam *filament* yang ada, *filament nylon* memiliki sifat kekuatan yang paling tinggi, sedangkan *filament Polylactic Acid* (PLA) memiliki sifat kekuatan yang paling rendah (Johnson & French, 2018). Namun, *filament Polylactic Acid* (PLA) masih menjadi *filament* yang paling banyak digunakan karena mudah untuk dicetak.



Gambar 2-1 Prinsip Kerja 3D Print

(Eryildiz, 2022)

Pada 3D *printing* terdapat berbagai macam teknologi yang umum digunakan, seperti *Fused Deposition Modelling* (FDM), *Ultraviolet Sheet Printer* (UV), *Stereolithography* (SLA), *Selective Laser Sintering* (SLS), dan *Digital Light Processing Moulding* (DLP). Teknologi *Fused Deposition Modelling* merupakan teknologi yang paling terkenal dan banyak digunakan karena teknologi ini memiliki kelebihan, antara lain kesederhanaan konstruksi, keamanan dalam pengoperasian, kesesuaian untuk lingkungan, kinerja yang lebih bagus, dan menggunakan bantuan komputer (Eryildiz, 2022). Prinsip kerja dari *Fused*

*Deposition Modelling* (FDM) yaitu dengan cara *filament* didorong oleh *feed mechanism* atau *extruder* lalu *filament* akan keluar melalui *nozzle* yang panas hingga meleleh hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 2-1.

### **2.2.6 Komposit**

Komposit adalah gabungan antara dua atau lebih material dengan sifat dan karakteristik berbeda yang memiliki peran sebagai penguat dan pengikat (Syaukani et al., 2021). Komposit sebagai pengganti bahan logam karena memiliki manfaat yang sangat baik, seperti menjadikan produk dengan sifat kekakuan dan kekuatan material yang lebih tinggi, serta berat produk yang lebih ringan dibandingkan produk dengan material lain. Terdapat berbagai macam komposit, antara lain komposit serat, komposit lapis, dan komposit partikel. Dalam hal ini, komposit digunakan untuk melakukan pembuatan atau perbaikan suatu produk, seperti *part* elektronik, *part* otomotif, restorasi, dan perlengkapan olahraga, dan lain-lain.

Komposit memiliki berbagai macam metode yang dapat diimplementasikan untuk membuat suatu produk dengan komposit, seperti *vacuum bagging*, *vacuum infusion*, *hand lay-up*, *prepreg autoclave*, dan lain-lain. Jenis komposit yang akan digunakan yaitu komposit partikel dengan menggunakan metode *hand lay-up*, serta material yang digunakan adalah *polyester putty* dan *Hardener*. Metode *hand lay-up* digunakan karena hanya metode ini yang paling mudah untuk dilakukan pada komposit dengan material *polyester putty* dan *Hardener*.

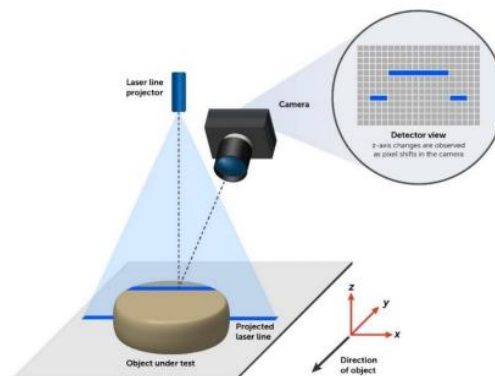
### **2.2.7 Computer Numerical Control (CNC)**

*Computer Numerical Control* (CNC) adalah salah satu proses manufaktur yang melakukan pemakanan terhadap benda kerja hingga benda kerja membentuk sesuai dengan produk yang diinginkan. Untuk menggunakan *Computer Numerical Control* ini perlu memanfaatkan perangkat lunak komputer untuk mendapatkan pemrograman atau biasa disebut dengan *g-code*. Prinsip kerja dari *Computer Numerical Control* yaitu bergerak secara *vertical* dan *horizontal* mengikuti koordinat sumbu X, Y, dan Z lalu diikuti dengan mata pahat yang memakan benda kerja (Putra, 2020). Terdapat berbagai macam mesin CNC, seperti mesin CNC

*router*, mesin CNC *milling*, mesin CNC *lathe*, dan lain-lain. Mesin CNC cocok untuk produksi dengan kapasitas kecil hingga besar karena memiliki keakuratan, fleksibilitas, dan ketelitian yang tinggi dibandingkan dengan mesin lain yang masih konvensional (Firdaus & Susanti, 2021).

### 2.2.8 3D Scanning

3D *scanning* adalah proses pemindaian suatu objek nyata dengan mendapatkan hasil data dari suatu objek tersebut dalam bentuk 3D. Data yang didapatkan dari hasil scan yaitu data geometri, dimensi, dan data lain-lain yang dapat membuat bentuk 3D sangat akurat dengan objek nyata (Sofyandi et al., 2022). 3D *scanning* ini dapat memindai berbagai macam objek nyata, seperti anggota tubuh, *part* elektronik, *part* otomotif, restorasi, dan objek nyata lainnya. Sementara itu, dalam bidang teknik mesin biasanya digunakan untuk melakukan inspeksi objek nyata, *quality control*, *reverse engineering*, analisis deformasi, rekayasa cetak ulang, dan membuat cetakan (Haleem et al., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa kegunaan 3D *scanning* sangat universal karena dapat memindai suatu objek nyata dengan praktis dan mudah untuk mendapatkan data dari objek nyata. Dengan demikian, teknologi 3D *scanning* akan sangat dibutuhkan dan digunakan untuk menunjang keperluan manufaktur, otomotif, kedokteran, dan kebutuhan di masa depan.



Gambar 2-2 Prinsip Kerja 3D Scan

(Hartanto, 2022)

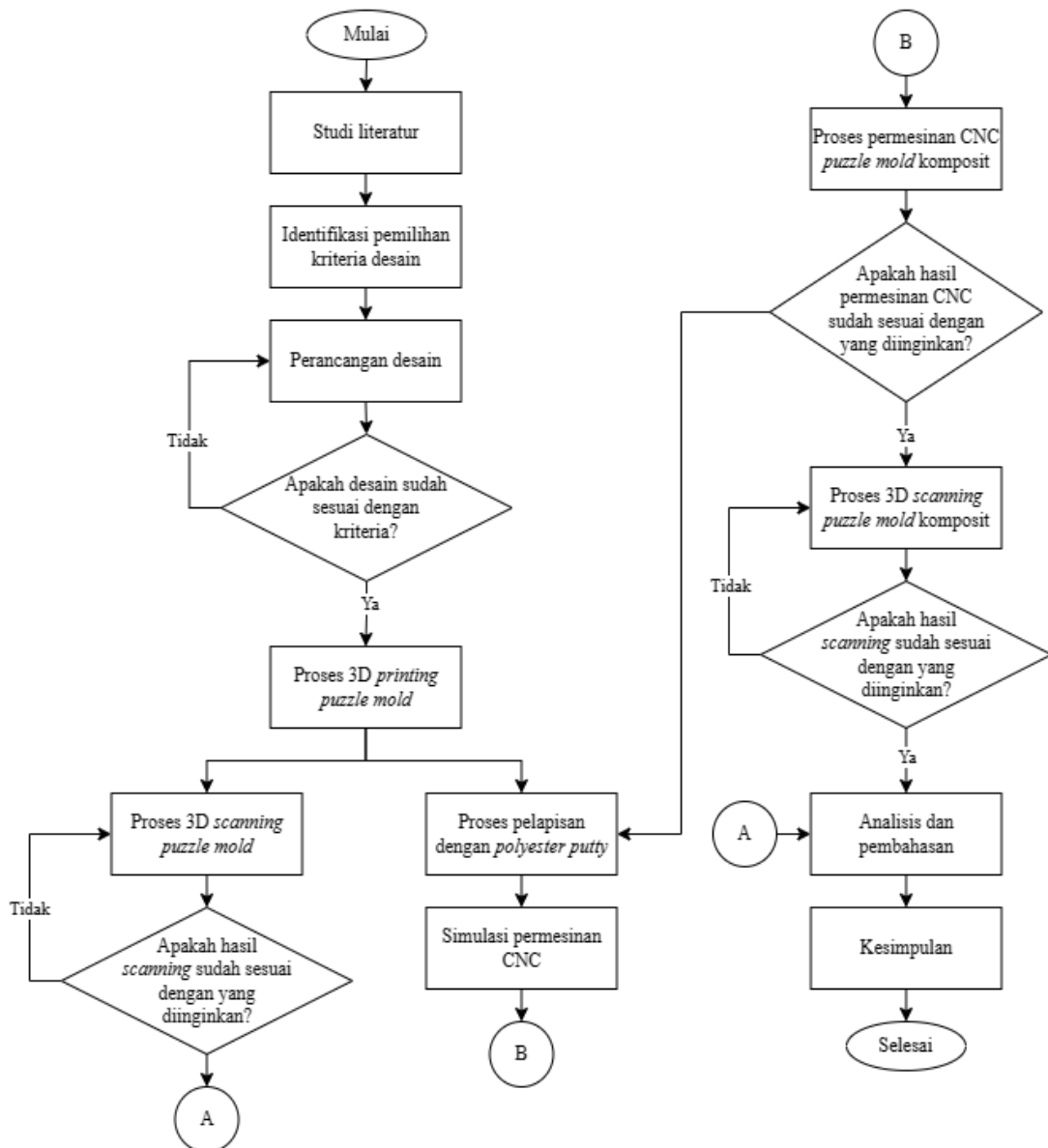
Pada prinsipnya, 3D *scanning* akan memancarkan sinar laser untuk mendeteksi objek yang dilakukan pemindaian lalu objek akan dipantulkan kembali kepada alat 3D *scan* sehingga didapatkan datanya oleh alat 3D *scan* dengan akurat

dan alat 3D *scan* ini memiliki karakteristik yaitu tingkat reduksi tinggi, kecepatan tinggi, akurasi tinggi, dan biaya terjangkau (Yin & Antonio, 2020). Namun, semakin tingginya tingkat karakteristik pada alat 3D *scan*, maka semakin mahal juga alat 3D *scan*. Dalam proses pemindaian dengan alat 3D *scan*, objek nyata akan terdeteksi dan didapatkan datanya dalam bentuk *frame count* hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 2-2. Ketika alat 3D *scan* ini sedang melakukan pemindaian, data *frame count* akan terus bertambah dan semakin banyaknya data *frame count*, maka akan semakin akurat juga hasil 3D *scanning* dengan objek nyata.

# BAB 3

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian



Gambar 3-1 Alur Penelitian

### 3.2 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini terdapat beberapa alat dan bahan yang digunakan, termasuk dengan perangkat keras dan perangkat lunak. Berikut alat dan bahan yang digunakan antara lain sebagai berikut:

#### 1. Laptop

Pada penelitian ini laptop sangat dibutuhkan sebagai penunjang kegiatan selama penelitian berlangsung. Laptop ini digunakan untuk mengoperasikan *software* yang digunakan dalam penelitian berlangsung. Laptop yang digunakan yaitu MSI GF63 *thin* 9RCX dengan sistem operasi Windows 10 dan ram 16 GB. Gambar 3-2 menunjukkan laptop yang digunakan.



Gambar 3-2 Laptop

#### 2. *Software* Solidworks

Pada penelitian ini *software* Solidworks digunakan untuk merancang desain *puzzle mold* dan menganalisis perbandingan geometri. Gambar 3-3 menunjukkan *software* Solidworks yang digunakan.



Gambar 3-3 *Software* Solidworks

### 3. *Software* Ultimaker Cura

Pada penelitian ini *software* Ultimaker Cura digunakan untuk mengatur parameter dalam proses 3D *printing*. Gambar 3-4 menunjukkan *software* Ultimaker Cura yang digunakan.



Gambar 3-4 *Software* Ultimaker Cura

### 4. *Software* Autodesk Powermill

Pada penelitian ini *software* Autodesk Powermill digunakan untuk mengatur parameter permesinan CNC dan melakukan simulasi dalam permesinan CNC. Gambar 3-5 menunjukkan *software* Autodesk Powermill yang digunakan.



AUTODESK®  
**POWERMILL**

Gambar 3-5 *Software* Autodesk Powermill

### 5. *Software* Mach3 CNC

Pada penelitian ini *software* Mach3 CNC digunakan untuk mengoperasikan mesin CNC *router* 3 axis dan proses kalibrasi titik *zero*. Gambar 3-6 menunjukkan *software* Mach3 CNC yang digunakan.



Gambar 3-6 *Software* Mach3 CNC

#### 6. *Software Handy Scan*

Pada penelitian ini *software Handy Scan* digunakan untuk mengoperasikan alat 3D *scan Sense Pro* dan mengatur parameter dalam proses 3D *scanning*. Gambar 3-7 menunjukkan *software Handy Scan* yang digunakan.



Gambar 3-7 *Software Handy Scan*

#### 7. *Software Handy Studio*

Pada penelitian ini *software Handy Studio* digunakan untuk mengedit hasil 3D *scanning* dan menyimpan dengan format *file stl*. Gambar 3-8 menunjukkan *software Handy Studio* yang digunakan.



Gambar 3-8 *Software Handy Studio*

#### 8. *Mesin 3D Print*

Pada penelitian ini mesin 3D *print* digunakan untuk mencetak bentuk 3D. Mesin 3D *print* yang digunakan adalah mesin 3D *print Ender 6* dengan *build size* 250 x 250 x 400 mm. Gambar 3-9 menunjukkan mesin 3D *print* yang digunakan.



Gambar 3-9 *Mesin 3D Print*

### 9. *Polylactic Acid (PLA+)*

*Polylactic Acid (PLA+)* adalah bahan *filament* yang digunakan untuk bahan dasar pembuatan 3D *printing*. *Filament (PLA+)* yang digunakan berasal dari merk Sunlu dengan ketebalan 1,75 mm. Gambar 3-10 menunjukkan *filament Polylactic Acid (PLA+)* yang digunakan.



Gambar 3-10 *Polylactic Acid (PLA+)*

### 10. Kape

Pada penelitian ini kape digunakan untuk mengaduk antara *polyester putty* dan *hardener* dalam proses pendempulan *puzzle mold*. Gambar 3-11 menunjukkan kape yang digunakan.



Gambar 3-11 Kape

### 11. *Polyester Putty*

Pada penelitian ini *polyester putty* digunakan untuk melapisi permukaan pada setiap sisi *puzzle mold*. *Polyester putty* yang digunakan adalah jenis dempul plastik yang berasal dari merk Sanpolac. Gambar 3-12 menunjukkan *polyester putty* yang digunakan.



Gambar 3-12 Polyester Putty

### 12. Hardener

Pada penelitian ini *hardener* digunakan untuk membantu *polyester putty* menjadi keras dan kering ketika proses pendempulan *puzzle mold*. *Hardener* yang digunakan berasal dari merk Sanpolac. Gambar 3-13 menunjukkan *Hardener* yang digunakan.



Gambar 3-13 Hardener

### 13. Jangka Sorong

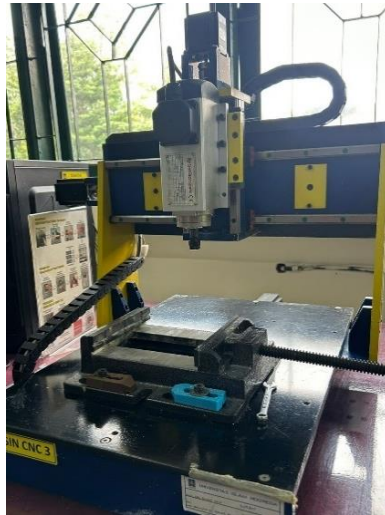
Pada penelitian ini jangka sorong digunakan untuk mengukur ketebalan dari *puzzle mold* selama proses pendempulan. Gambar 3-14 menunjukkan jangka sorong yang digunakan.



Gambar 3-14 Jangka Sorong

#### 14. Mesin CNC

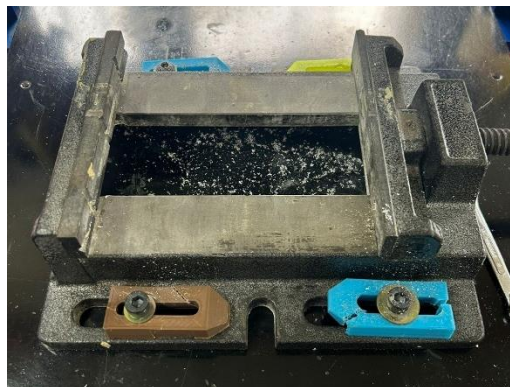
Pada penelitian ini mesin CNC digunakan untuk memotong *puzzle mold* komposit yang telah diberikan dempul sehingga membentuk dan menghasilkan *puzzle mold* komposit dengan ketelitian yang tinggi. Mesin CNC yang digunakan adalah mesin CNC *router 3 axis*. Gambar 3-15 menunjukkan mesin CNC yang digunakan.



Gambar 3-15 Mesin CNC

#### 15. Ragum

Pada penelitian ini ragum digunakan untuk menjepit *puzzle mold* dalam proses permesinan CNC agar tidak mudah bergeser dan terlepas. Gambar 3-16 menunjukkan ragum yang digunakan.



Gambar 3-16 Ragum

#### 16. *Collet*

Pada penelitian ini *collet* digunakan untuk menjepit mata pahat dalam proses permesinan CNC agar mata pahat tidak terlepas dari mesin CNC. Gambar 3-17 menunjukkan *collet* yang digunakan.



Gambar 3-17 *Collet*

#### 17. Mata Pahat *End Mill*

Pada penelitian ini mata pahat *end mill* digunakan untuk proses permesinan CNC dalam melakukan pemakanan pada proses *roughing*. Mata pahat *end mill* yang digunakan adalah *end mill* diameter 4 mm dengan panjang 100 mm dan memiliki 4 *flute*. Gambar 3-18 menunjukkan mata pahat *end mill* yang digunakan.



Gambar 3-18 Mata Pahat *End Mill*

#### 18. Mata Pahat *Ballnose*

Pada penelitian ini mata pahat *ballnose* digunakan untuk proses permesinan CNC dalam melakukan pemakanan pada proses *finishing*. Mata pahat *ballnose* yang digunakan adalah *ballnose* diameter 3 mm, radius  $1,5^\circ$ , dan panjang 100 mm. Gambar 3-19 menunjukkan mata pahat *ballnose* yang digunakan.



Gambar 3-19 Mata Pahat *Ballnose*

#### 19. Alat 3D Scan

Pada penelitian ini alat 3D scan digunakan untuk memindai *puzzle mold* dengan bentuk 3D. Alat 3D scan yang digunakan adalah alat 3D scanner Sense Pro dengan spesifikasi produk akurasi pindai tunggal 0,3 mm dengan rentang pemindai tunggal 210 x 130 mm, akurasi volume 0,5 mm/m dengan volume pindai minimum 50 x 50 x 50 mm, dan jarak kerja 200 sampai 800 mm. Gambar 3-20 menunjukkan Alat 3D scan yang digunakan.



Gambar 3-20 Alat 3D Scan

#### 20. Display Turntable

Pada penelitian ini *display turntable* digunakan untuk membantu dalam proses 3D scanning dengan sistem kerja *display turntable* yang berputar sehingga benda kerja akan stabil dan konsisten selama proses 3D scanning. Gambar 3-21 menunjukkan *display turntable* yang digunakan.



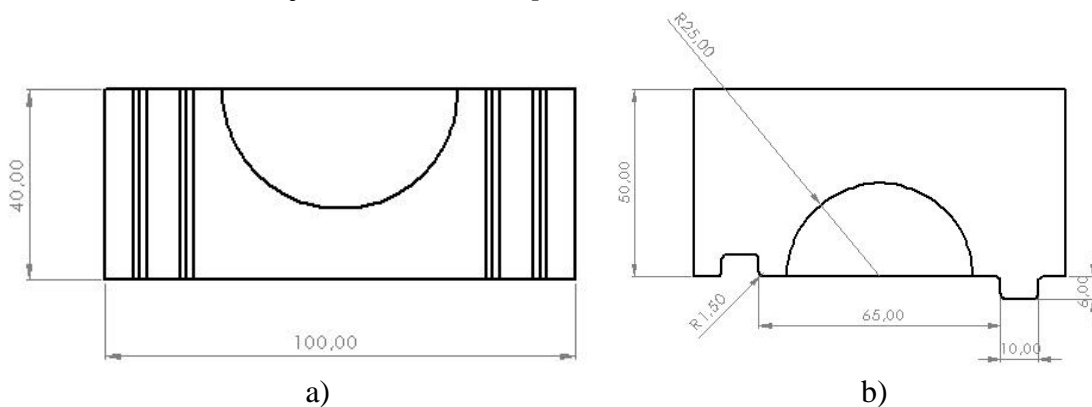
Gambar 3-21 *Display Turntable*

### 3.3 Proses Desain *Mold*

Desain *Mold* untuk produk komposit ini berbentuk setengah bola. Pemilihan bentuk setengah bola karena memiliki bentuk yang sederhana untuk digunakan dalam melakukan analisis geometri sebab bentuk ini memiliki lengkungan dan tidak ada patahan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian dari *puzzle mold 3D printing* dan *puzzle mold* komposit sehingga jika terdapat patahan atau sudut, dapat mempengaruhi hasil dari analisis geometri.

#### 3.3.1 Desain *Puzzle Mold*

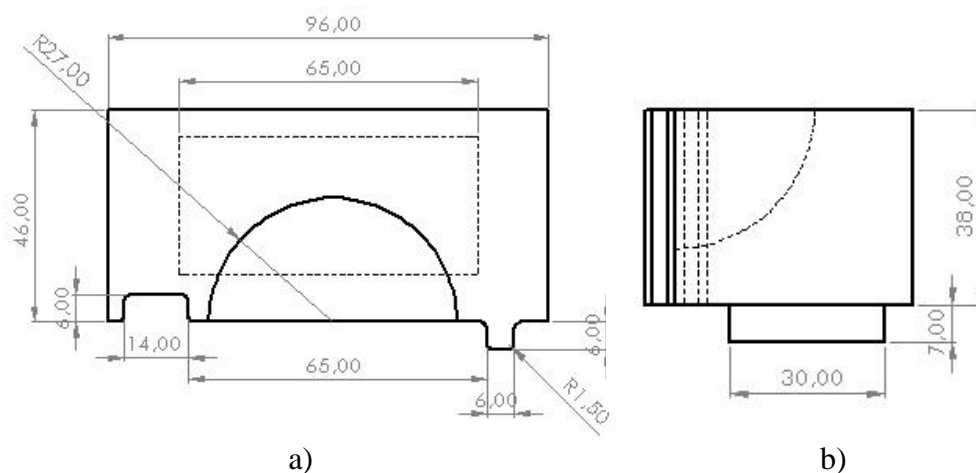
Desain *mold* dibuat untuk produk setengah bola dengan menggunakan metode *puzzle mold*. Selain itu, *Puzzle mold* akan digunakan untuk mencetak produk komposit. Desain ini merupakan desain utama dari *puzzle mold* yang memiliki dimensi 100 x 50 x 40 mm dengan takik 10 x 6 mm dan jari-jari 25 mm. Gambar 3-22 menunjukkan desain dari *puzzle mold*.



Gambar 3-22 Desain *Puzzle Mold* a) Tampak Depan; b) Tampak Atas

### 3.3.2 Desain *Puzzle Mold* Komposit

Desain *mold* ini dibuat untuk membuat *puzzle mold* komposit kombinasi antara 3D *printing Fused Deposition Modelling* dan *milling CNC*. Pada desain ini terdapat pengurangan ukuran sebesar 2 mm di setiap sisinya kecuali sisi bawah desain *puzzle mold*. Tujuan diberi pengurangan ukuran sebesar 2 mm yaitu untuk memberi ruang dempul pada *puzzle mold* karena tebal dempul yang digunakan pada *puzzle mold* ini sebesar 2 mm sehingga ketika proses permesinan CNC dempul tidak akan termakan habis oleh mata pahat dan *puzzle mold* akan terlapisi oleh dempul pada setiap sisinya. Gambar 3-23 menunjukkan desain dari *puzzle mold* komposit.



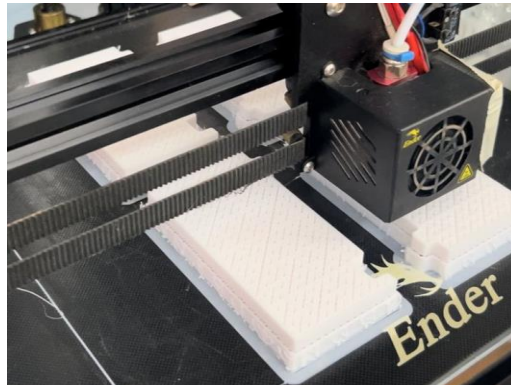
Gambar 3-23 Desain *Puzzle Mold* Komposit a) Tampak Atas; b) Tampak Samping

### 3.4 Proses 3D *Printing Puzzle Mold*

Proses 3D *printing* dilakukan menggunakan mesin 3D *print* Ender 6 dengan *build size* 250 x 250 x 400 mm dan dengan bantuan *software* Ultimaker Cura untuk pengaturan strategi, serta simulasi. *Filament* yang digunakan dalam pembuatan *puzzle mold* ini yaitu *Polylactic Acid* (PLA+). Gambar 3-24 menunjukkan proses 3D *printing puzzle mold*. Berikut adalah tahapan dalam melakukan proses 3D *printing* yaitu:

1. Membuka *software* Ultimaker Cura lalu *export* desain yang telah dibuat dengan format *file stl*.

2. Mengatur parameter 3D *printing* dengan *infill density* 80%, *infill support* 12%, *layer height* 0,2 mm, *line width* 0,4 mm, *bed temperature* 55°C, *nozzle temperature* 210°C, dan *print speed* 80 mm/s lalu klik *slice*.
3. Mengamati hasil dari *slice* dengan parameter tersebut, jika sudah tidak ada kesalahan lalu save *g-code* pada *flashdisk*.
4. Menyalakan mesin 3D *print* dan lakukan kalibrasi *bed* pada mesin 3D *print*.
5. Memasang *filament* pada mesin 3D *print*.
6. Mengatur suhu pada *nozzle* untuk memastikan *filament* dapat meleleh dengan sempurna.
7. Memasukkan *flashdisk* pada mesin 3D *print*.
8. Memulai pencetakan dan lihat perkembangan selama 2 hari waktu pencetakan.



Gambar 3-24 Proses 3D *Printing*

### 3.5 Proses Pendempulan *Puzzle Mold* Komposit

Jenis dempul yang digunakan pada proses pendempulan untuk *puzzle mold* komposit ini yaitu dempul plastik dari Sanpolac beserta hardenernya. Untuk melakukan proses pendempulan harus mencampurkan dempul dan *hardener* dengan perbandingan standar 100 : 2 lalu diaduk menggunakan kape hingga berubah warna dan merata. Selanjutnya, pastikan *puzzle mold* bersih dari kotoran yang menempel pada *puzzle mold* agar hasil dempul tidak berlubang. Setelah itu, lakukan pendempulan hingga merata pada setiap sisi *puzzle mold*. Proses pendempulan dilakukan secara bertahap hingga mendapatkan beberapa lapisan dempul dan tebal dempul 4 mm. Gambar 3-25 menunjukkan proses pendempulan pada *puzzle mold*.



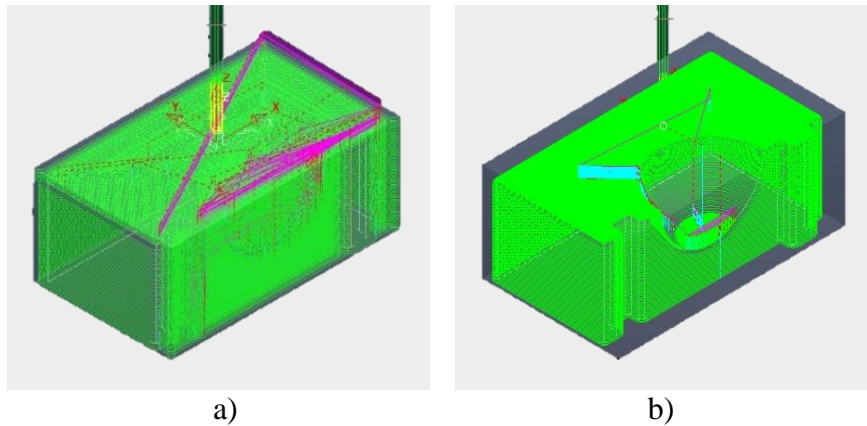
Gambar 3-25 Proses Pendempulan *Puzzle Mold* Komposit

### 3.6 Simulasi Permesinan CNC *Puzzle Mold* Komposit

Simulasi permesinan dilakukan dengan menggunakan *software* Autodesk Powermill. Proses permesinan CNC dilakukan berdasarkan desain utama *puzzle mold* dan simulasi dilakukan untuk menentukan parameter permesinan CNC agar mendapatkan estimasi waktu yang terbaik dan tidak terjadi kegagalan dalam proses permesinan CNC sehingga mendapatkan hasil yang terbaik hal ini tercantum pada tabel 3-1. Setelah mendapatkan hasil simulasi permesinan CNC yang terbaik, maka selanjutnya akan mendapatkan *g-code roughing* dan *finishing* dari hasil simulasi tersebut lalu disimpan dalam *flashdisk*. Gambar 3-26 menunjukkan simulasi permesinan CNC *roughing* dan *finishing*.

Tabel 3-1 Parameter Permesinan CNC

<b>Parameter</b>	<b><i>Roughing</i></b>	<b><i>Finishing</i></b>
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
<i>Cutting Feed Rate</i>	1000 mm/min	1000 mm/min
<i>Plunging Feed Rate</i>	500 mm/min	500 mm/min
<i>Spindle Speed</i>	1500 rpm	1500 rpm
<i>Tolerance</i>	0,01 mm	0,01 mm
<i>Time</i>	1 jam 11 menit	53 menit



Gambar 3-26 Simulasi Permesinan CNC a) *Roughing*; b) *Finishing*

### 3.7 Proses Permesinan CNC *Puzzle Mold* Komposit

*Puzzle mold* komposit yang telah melewati proses pendempulan selanjutnya melakukan proses permesinan CNC dengan menggunakan parameter berdasarkan hasil simulasi permesinan CNC hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 3-27. Mesin yang digunakan dalam proses permesinan CNC ini yaitu mesin CNC *router 3 axis*. Untuk dapat mengoperasikan mesin CNC *router 3 axis* dibutuhkan *software* mach3 CNC. Berikut adalah tahapan dalam melakukan proses permesinan CNC yaitu:

1. Mencekam *puzzle mold* komposit pada ragum dengan sangat kuat dan pastikan permukaan *puzzle mold* komposit.
2. Menyalakan komputer, mesin CNC *router 3 axis*, membuka *software* mach3 CNC, dan memasang mata pahat.
3. Meratakan sisi dari *puzzle mold* komposit secara manual untuk dapat memudahkan kalibrasi titik *zero* sehingga bagian dari *3D printing* tidak ada yang terkena mata pahat.
4. Melakukan kalibrasi titik *zero* sumbu x, y, dan z dengan cara menyentuhkan mata pahat yang telah terpasang ke setiap sisi dari *puzzle mold* komposit pada sumbu x, y, dan z lalu klik zero di sumbu x, y, dan z pada *software* mach3 CNC kemudian mata pahat disentuhkan kembali pada sisi seberang dari sumbu x, y, dan z. Setelah itu, didapatkan ukuran panjang untuk setiap sumbunya lalu ukuran tersebut dibagi dua dan didapatkan nilai tengah atau

titik *zero*. Proses kalibrasi dilakukan secara bertahap kepada sumbu x, y, dan z.

5. Memasukkan *g-code roughing* dan *finishing* yang telah didapatkan dari hasil simulasi permesinan CNC pada *software* mach3 CNC secara bertahap.
6. Menunggu dan memantau proses permesinan CNC.



Gambar 3-27 Proses Permesinan *Puzzle Mold* Komposit

### 3.8 Proses 3D Scanning

*Scanning* dilakukan menggunakan alat 3D *scan* Sense Pro dan bantuan *software* Handy Scan untuk dapat mengoperasikan alatnya. Alat 3D *scan* Sense Pro memiliki spesifikasi produk akurasi pindai tunggal 0,3 mm dengan rentang pemindai tunggal 210 x 130 mm, akurasi volume 0,5 mm/m dengan volume pindai minimum 50 x 50 x 50 mm, dan jarak kerja 200 sampai 800 mm. Gambar 3-28 menunjukkan proses 3D scanning. Dalam melakukan proses 3D *scanning* terdapat beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

1. Menyiapkan laptop, alat 3D *scan*, dan *display turntable*.
2. Melapisi *display turntable* dengan kain berwarna hitam.
3. Menghubungkan alat 3D *scan* ke laptop lalu membuka *software* Handy Scan.
4. Mengatur parameter pada Handy Scan dengan *scan mode feature* dan *texture no colour*.
5. Mengatur jarak dan sudut pemindai untuk mendapatkan kategori *excellent*.

6. Memulai proses *3D scanning* dan lakukan hingga mendapatkan bentuk *scan* yang sempurna atau hingga *frame count* mencapai 2000.



Gambar 3-28 Proses *3D Scanning*

## BAB 4

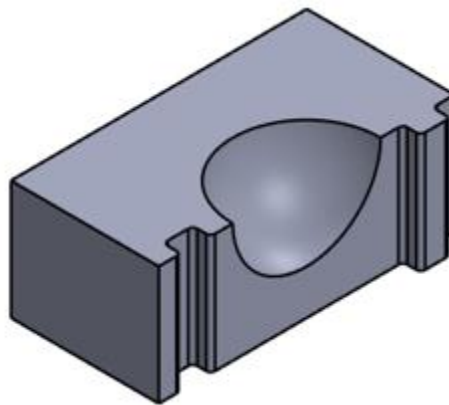
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Desain *Puzzle Mold*

Terdapat dua desain *puzzle mold* yang dibuat dengan model yang sama. Dari dua desain tersebut yang membedakan hanya dimensi dari *puzzle mold* dan ada penambahan *support* untuk proses permesinan pada *puzzle mold* komposit yang akan dilakukan pendempulan.

##### 4.1.1 Desain *Puzzle Mold*

Hasil desain *puzzle mold* dibuat menggunakan *software* Solidworks. Dari hasil desain ini akan digunakan untuk proses 3D *printing*, proses permesinan CNC, dan proses 3D *scanning*. Desain *puzzle mold* ini merupakan desain utama yang memiliki dimensi 100 x 50 x 40 mm dengan takik 10 x 6 mm dan jari-jari 25 mm. Gambar 4-1 menunjukkan hasil desain utama *puzzle mold*.

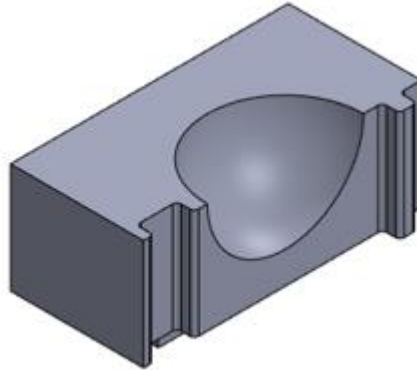


Gambar 4-1 Desain Utama *Puzzle Mold*

##### 4.1.2 Desain *Puzzle Mold* Komposit

Desain *puzzle mold* komposit merupakan hasil pengurangan ukuran sebesar 2 mm pada setiap sisi dari desain *puzzle mold* utama kecuali bagian sisi bawah. Tujuan diberi pengurangan ukuran sebesar 2 mm yaitu untuk memberi ruang dempul pada *puzzle mold* komposit karena tebal dempul yang digunakan pada *puzzle mold* ini sebesar 2 mm sehingga ketika proses permesinan CNC dempul tidak akan termakan habis oleh mata pahat dan *puzzle mold* komposit akan terlapisi

oleh dempul pada setiap sisinya. Dari desain *puzzle mold* komposit terdapat sebuah *support* di bagian bawah desain yang berfungsi untuk mencekam *puzzle mold* komposit pada ragam agar tidak bergeser dan terlepas ketika proses permesinan CNC. Gambar 4-2 menunjukkan hasil desain *puzzle mold* komposit.



Gambar 4-2 Desain *Puzzle Mold* Komposit

#### 4.2 Hasil 3D Printing *Puzzle Mold*

Pada proses 3D printing *puzzle mold* menggunakan mesin 3D print Ender 6 dengan teknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM). *Filament* yang digunakan untuk membuat *puzzle mold* yaitu *Polylactic Acid* (PLA+). Hal ini dikarenakan *filament Poly lactic Acid* (PLA+) memiliki titik leleh yang rendah sehingga membuat proses 3D printing menjadi lebih mudah dan efisien. Dari hasil 3D printing *puzzle mold* dibutuhkan toleransi pada bagian takik *puzzle mold* karena jika tidak diberikan toleransi akan membuat *puzzle mold* tidak dapat berpasangan. Toleransi yang digunakan pada *puzzle mold* ini dengan total sebesar 0,02 mm. Dengan demikian, *puzzle mold* dapat berpasangan dengan mudah tanpa ada hambatan. Gambar 4-3 menunjukkan hasil proses 3D printing *puzzle mold*.



Gambar 4-3 Hasil Proses 3D Printing *Puzzle Mold*

Pada desain *puzzle mold* dan desain *puzzle mold* komposit dilakukan pencetakan masing-masing sebanyak satu pasang. Dalam mencapai hasil 3D *printing* yang bagus, maka dibutuhkan parameter yang terbaik. Dari penggunaan parameter dengan *infill density* 80%, *infill support* 12%, *layer height* 0,2 mm, *line width* 0,4 mm, *bed temperature* 55°C, *nozzle temperature* 210°C, dan *print speed* 80 mm/s didapatkan hasil 3D *printing* yang sangat bagus tanpa ada cacat *warping* dan *stringing*.

### 4.3 Hasil Pendempulan *Puzzle Mold* Komposit

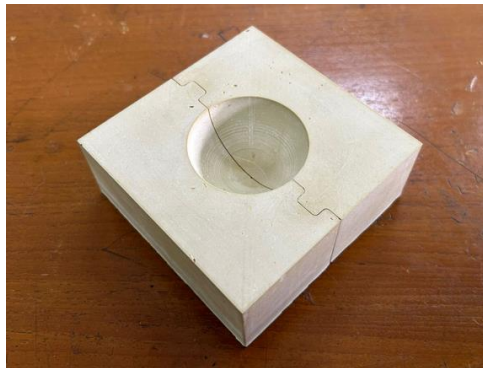
Dari proses pendempulan pada *puzzle mold* komposit mendapatkan hasil pendempulan yang tidak halus. Hal ini dikarenakan proses pendempulan yang dilakukan berlapis-lapis hingga mendapatkan tebal dempul 4 mm dan benda kerja yang kecil sehingga mempersulit dalam melakukan pendempulan. Sebenarnya, hal ini masih bisa ditoleransi apabila dempul tidak mengalami perbedaan tebal di setiap sisinya karena kemudian akan dilakukan proses permesinan CNC sehingga hasil *puzzle mold* komposit menjadi halus dan rata. Tujuan dari *puzzle mold* dilakukan pendempulan mencapai tebal 4 mm yaitu untuk memberikan ruang pemakanan mata pahat pada saat proses permesinan CNC sehingga setiap sisi pada *puzzle mold* akan terlapisi dempul dan menciptakan permukaan *puzzle mold* yang rata. Gambar 4-4 menunjukkan hasil proses pendempulan *puzzle mold* komposit.



Gambar 4-4 Hasil Proses Pendempulan *Puzzle Mold* Komposit

#### 4.4 Hasil Permesinan CNC *Puzzle Mold* Komposit

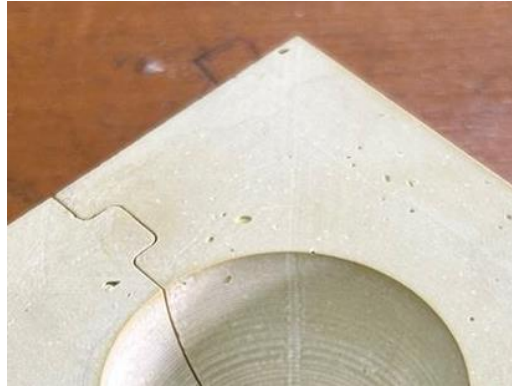
Pada permesinan CNC untuk *puzzle mold* komposit menggunakan mesin CNC *router 3 axis* dan *g-code* dari hasil simulasi permesinan CNC menggunakan *software* Autodesk Powermill. Hal terpenting dalam permesinan CNC pada *puzzle mold* komposit agar mendapatkan hasil yang bagus dan dempul tidak termakan habis oleh mata pahat yaitu proses kalibrasi titik *zero* sumbu x, y, dan z mengikuti dimensi *puzzle mold* komposit. Dalam melakukan kalibrasi titik *zero* pada proses permesinan CNC ini sangat rumit sebab benda kerja yang digunakan terdapat hasil dempul yang tidak halus. Permesinan CNC dari *puzzle mold* komposit dilakukan pada dua sisi yaitu sisi atas dan sisi bawah, tetapi permesinan CNC bagian sisi bawah hanya untuk menghilangkan *support* dari *puzzle mold* komposit. Ketika proses permesinan CNC *puzzle mold* komposit telah berhasil, maka hasil dapat ditunjukkan pada gambar 4-5.



Gambar 4-5 Hasil Proses Permesinan CNC *Puzzle Mold* Komposit

Pada hasil permesinan CNC dapat dilihat bahwa *puzzle mold* komposit memiliki permukaan yang halus dan dapat dipasangkan dengan hasil permesinan CNC lainnya. Jika terdapat bagian yang tidak halus pada pertemuan *puzzle*, maka dilakukan *finishing* dengan cara mengampelas dibagian yang tidak halus. Biasanya bagian yang tidak halus itu berada pada bagian sudut sisi bawah. Hal ini disebabkan, adanya sisa dempul yang tidak termakan habis pada saat proses *finishing* permesinan CNC karena radius dari mata pahat *finishing*.

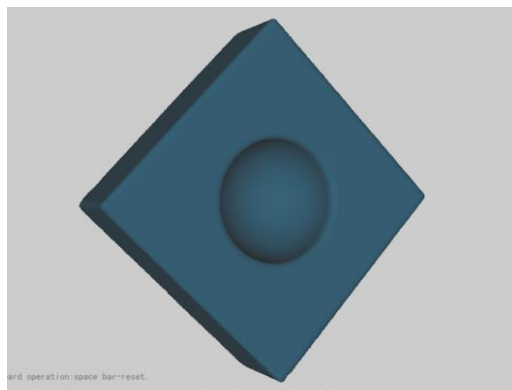
Dari hasil permesinan CNC terdapat beberapa lubang-lubang pada dempul hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 4-6. Hal ini dapat disebabkan pada saat proses pendempulan terdapat partikel debu dan proses pendempulan yang terlalu tebal. Namun, hasil dari permesinan CNC tidak terdapat dempul atau bagian dari *3D printing* yang termakan oleh mata pahat kecuali bagian *support*.



Gambar 4-6 Lubang-Lubang pada *Puzzle Mold* Komposit

#### 4.5 Hasil 3D Scanning

Proses 3D *scanning* dilakukan pada sepasang *puzzle mold* 3D *printing* dan *puzzle mold* komposit. Proses 3D *scanning* yang dilakukan selalu stabil sehingga didapatkan kategori *excellent* pada *software* Handy Scan. Dalam hal ini, kategori yang didapatkan pada *software* Handy Scan sangat penting untuk hasil dari 3D *scanning* karena akan membuat hasil 3D *scanning* kurang akurat sebab alat 3D *scan* Sense Pro memiliki akurasi pindai. Untuk mendapatkan kategori *excellent* perlu dilakukan penyesuaian antara alat 3D *scan* dan benda kerja dengan cara mengatur jarak pemindai dan mengatur sudut pemindai. Hasil dari proses 3D *scanning* menggunakan alat 3D *scan* Sense Pro disimpan dengan format *file* stl untuk dapat dilakukan proses *mesh* menggunakan *software* Handy Studio. Dengan demikian, hasil *scanning* dapat digunakan pada *software* Solidworks untuk melakukan perbandingan geometri. Gambar 4-7 menunjukkan hasil proses 3D *scanning*.



Gambar 4-7 Hasil Proses 3D *Scanning*

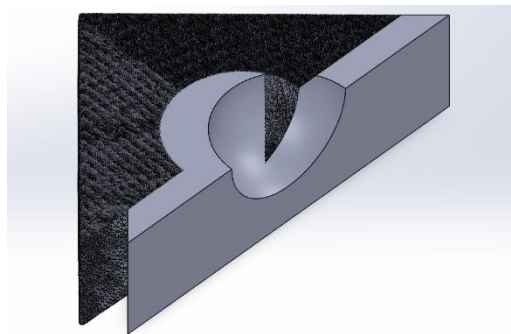
## 4.6 Analisis Perbandingan Geometri

Analisis perbandingan geometri dilakukan untuk dapat mengetahui penyimpangan geometri yang terjadi pada hasil *puzzle mold 3D printing*, serta hasil *puzzle mold* komposit.

### 4.6.1 Proses Perbandingan Geometri

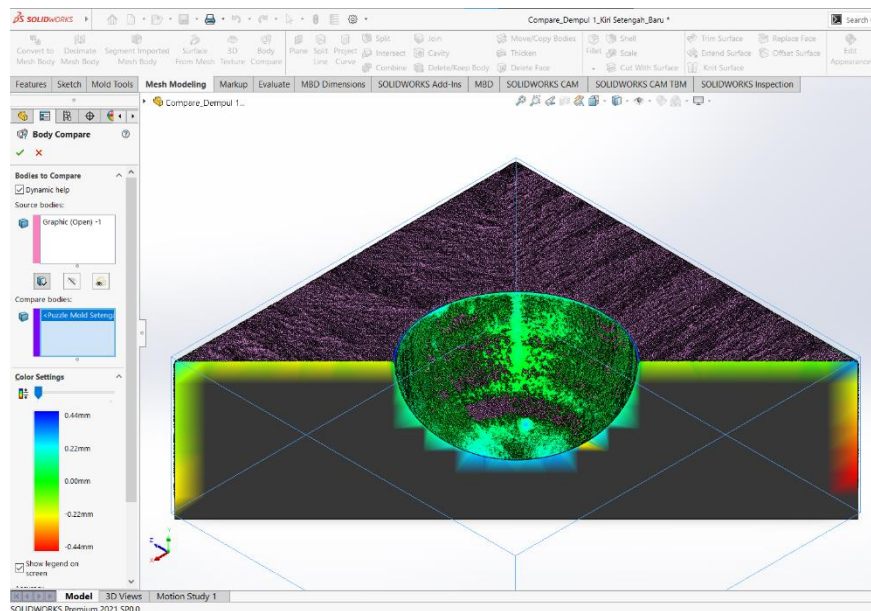
Pada proses perbandingan geometri ini melakukan perbandingan dan pengukuran tingkat ketelitian antara hasil pembuatan *puzzle mold 3D printing* dan *puzzle mold* komposit. Dari kedua hasil tersebut, memiliki hasil yang berbeda-beda karena hasil *puzzle mold 3D printing* menggunakan proses *3D printing* memiliki permukaan yang kasar, sedangkan *puzzle mold* komposit memiliki permukaan yang lebih halus sebab melewati banyak proses, seperti *3D printing*, pendempulan, dan permesinan CNC. *Puzzle mold* yang telah berhasil dibuat kemudian dilakukan proses *3D scanning* lalu hasil *3D scanning* dapat dilakukan perbandingan geometri dengan desain utama *puzzle mold* menggunakan bantuan *software Solidworks*.

Pada hasil proses *3D scanning* didapatkan dalam bentuk *mesh* dari *software Handy Studio* dan disimpan dengan format *file stl*. Selanjutnya, membuka *file stl* dari salah satu *puzzle mold 3D printing* atau *puzzle mold* komposit untuk melakukan proses perbandingan geometri dengan menggunakan *software Solidworks*. Setelah itu, *insert file* desain utama pada *sketch* yang sama dengan *file stl* kemudian melakukan penggabungan dengan fitur *move/copy bodies* untuk menentukan *reference point* dari kedua hasil *3D scanning* lalu mendapatkan nilai ketelitian dan kemudian dapat melakukan perbandingan antara desain utama dengan *puzzle mold 3D printing* dan desain utama dengan *puzzle mold* komposit. Gambar 4-8 menunjukkan proses penggabungan untuk perbandingan geometri.



Gambar 4-8 Proses Penggabungan

Setelah proses penggabungan antara desain utama dengan *puzzle mold* 3D *printing* dan desain utama dengan *puzzle mold* komposit berhasil. Selanjutnya, dapat melakukan proses perbandingan geometri dengan menggunakan fitur *body compare* pada *software* Solidworks. Untuk mendapatkan nilai ketelitian dengan menggunakan fitur *body compare* terdapat beberapa tahapan yaitu menentukan *source bodies*, menentukan *compare bodies*, dan *color settings* untuk mengatur rentang nilai ketelitian. Berdasarkan tahapan tersebut, hasil 3D *scanning* atau *file stl* ditentukan sebagai *source bodies* sedangkan desain utama ditentukan sebagai *compare bodies* dan rentang nilai ketelitian diatur sebesar 0,26 mm. Setelah semua tahapan telah ditentukan, maka selanjutnya akan mendapatkan hasil perbandingan geometri dan nilai ketelitian dari desain utama dengan *puzzle mold* 3D *printing* dan desain utama dengan *puzzle mold* komposit. Gambar 4-9 menunjukkan proses perbandingan geometri.



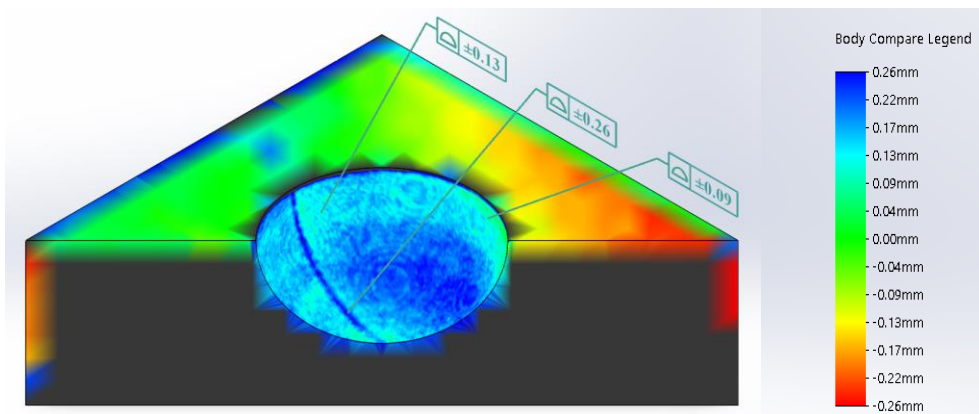
Gambar 4-9 Proses Perbandingan Geometri

#### 4.6.2 Hasil Perbandingan Geometri

Dari hasil perbandingan geometri hanya mengamati geometri setengah bola pada desain utama dengan *puzzle mold* 3D *printing* dan desain utama dengan *puzzle mold* komposit masing-masing memiliki nilai ketelitian yang berbeda-beda. Berdasarkan rentang nilai ketelitian yang sudah diatur dapat diketahui bahwa terjadi penyimpangan geometri dengan rentang nilai penyimpangan 0,00 sampai

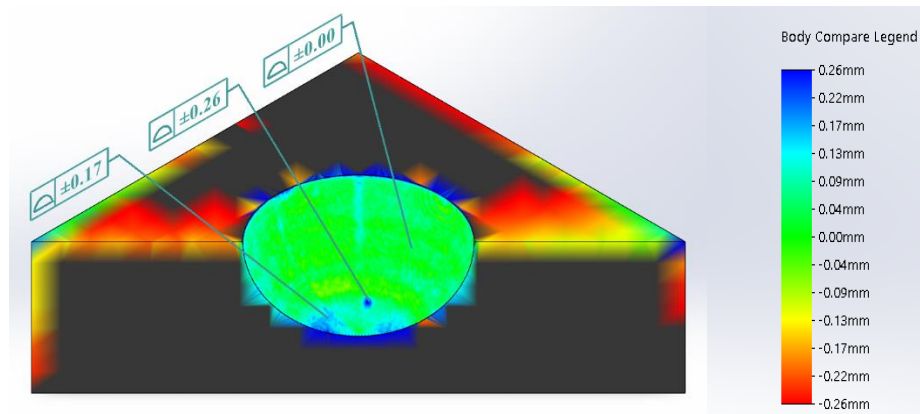
0,26 mm dan 0,00 sampai (-0,26) mm. Rentang nilai penyimpangan 0,00 sampai 0,26 mm merupakan bentuk dari kurangnya permukaan dari *puzzle mold* 3D *printing* atau *puzzle mold* komposit terhadap desain utama, sedangkan rentang nilai penyimpangan 0,00 sampai (-0,26) mm merupakan bentuk dari permukaan *puzzle mold* 3D *printing* atau *puzzle mold* komposit yang melebihi permukaan desain utama. Apabila melebihi dari nilai tersebut artinya sudah terjadi penyimpangan yang terlalu jauh dari rentang nilai ketelitian.

Hasil perbandingan geometri pada desain utama dengan *puzzle mold* 3D *printing* terdapat penyimpangan geometri di beberapa titik hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 4-10. Pada geometri setengah bola *puzzle mold* 3D *printing* memiliki penyimpangan yang dominan berwarna biru dengan rentang nilai penyimpangan 0,09 sampai 0,26 mm. Penyimpangan geometri terbesar dari geometri setengah bola *puzzle mold* 3D *printing* ini sekitar 0,26 mm, sedangkan penyimpangan terkecilnya sekitar 0,09 mm.



Gambar 4-10 Hasil Perbandingan Geometri *Puzzle Mold* 3D *Printing*

Hasil perbandingan geometri pada desain utama dengan *puzzle mold* komposit terdapat penyimpangan geometri di beberapa titik hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 4-11. Pada geometri setengah bola *puzzle mold* komposit memiliki penyimpangan yang dominan berwarna hijau dengan rentang nilai penyimpangan (-0,04) sampai 0,26. Penyimpangan geometri terbesar dari geometri setengah bola *puzzle mold* komposit ini sekitar 0,26 mm dikarenakan adanya lubang, sedangkan penyimpangan terkecilnya sekitar 0,00 mm.



Gambar 4-11 Hasil Perbandingan Geometri *Puzzle Mold* Komposit

#### 4.7 Pembahasan

Pembuatan *puzzle mold* diawali dengan studi literatur sebagai dasar dari pembuatan *puzzle mold* komposit kombinasi antara 3D *printing Fused Deposition Modelling* dan *milling* CNC. Pada proses pembuatan *puzzle mold* diawali dengan proses desain *mold* menggunakan *software* Solidworks untuk mendapatkan model 3D kemudian hasil desain *mold* diwujudkan dengan melakukan proses 3D *printing* menggunakan *filament Polylactic Acid (PLA+)* lalu didapatkan hasil 3D *printing puzzle mold* dan *puzzle mold* komposit. Selanjutnya, melakukan proses pendempulan untuk hasil 3D *printing puzzle mold* komposit kemudian hasil tersebut dilakukan proses permesinan CNC untuk mendapatkan bentuk geometri sesuai dengan desain utama. Setelah itu, melakukan proses *scanning* pada *puzzle mold* 3D *printing* dan *puzzle mold* komposit kemudian hasil dari proses *scanning* digunakan untuk melakukan perbandingan geometri.

Berdasarkan hasil pembuatan *puzzle mold* 3D *printing* dan *puzzle mold* komposit dapat diketahui bahwa masing-masing memiliki permukaan yang berbeda-beda. Pada hasil *puzzle mold* 3D *printing* memiliki permukaan yang kurang halus dibandingkan dengan hasil *puzzle mold* komposit. Hal tersebut dapat terjadi karena hasil *puzzle mold* 3D *printing* menggunakan proses 3D *printing* saja dan pasti memiliki *void* atau rongga-rongga sehingga membuat permukaan kurang halus, sedangkan hasil *puzzle mold* komposit menggunakan proses permesinan CNC yang membuat permukaan lebih halus. Namun, pada hasil *puzzle mold*

komposit terdapat lubang-lubang yang disebabkan oleh proses pendempulan yang terlalu tebal atau terdapat partikel debu sehingga membuat adanya lubang-lubang pada permukaan *puzzle mold* komposit.

Dalam penelitian ini *puzzle mold* komposit kombinasi antara *3D printing Fused Deposition Modelling* dan *milling CNC* dapat dilakukan untuk mendapatkan bentuk geometri yang lebih akurat atau tidak memiliki penyimpangan geometri yang tinggi. Berdasarkan hasil perbandingan geometri dapat diketahui bahwa penyimpangan geometri yang terjadi pada *puzzle mold* komposit lebih kecil dibandingkan *puzzle mold 3D printing*. Penyimpangan geometri dapat terjadi karena beberapa faktor, seperti *filament* yang memiliki titik leleh sehingga akan menimbulkan penambahan atau pengurangan ukuran dimensi, alat *3D scanner Sense Pro* yang memiliki akurasi pindai tunggal 0,3 mm dan akurasi volume 0,5 mm/m, serta proses *3D scanning* yang terlalu cepat sehingga *frame count* yang didapatkan sedikit. Dengan demikian, *puzzle mold* komposit dapat membantu untuk membuat produk komposit yang membutuhkan ketelitian tinggi.

#### 4.8 Biaya Pembuatan *Puzzle Mold* Komposit

Selama pembuatan terdapat biaya yang dibutuhkan untuk membuat *puzzle mold* komposit dengan kombinasi antara *3D printing Fused Deposition Modelling* dan *milling CNC*. Estimasi biaya yang dikeluarkan untuk membuat *puzzle mold* komposit tercantum pada tabel 4-1. Dapat diketahui bahwa estimasi yang dihitung hanya untuk pembuatan sepasang *puzzle mold* komposit.

Tabel 4-1 Estimasi Biaya

No	Nama Barang	Harga	Banyaknya	Jumlah
1	<i>3D printing PLA+</i>	Rp165 per gr	280 gram	Rp46.200
2	<i>Polyester putty</i>	Rp42.000	1 kg	Rp42.000
3	Kape	Rp5.000	1	Rp5.000
4	<i>End Mill 4 mm</i>	Rp85.500	1	Rp85.500
5	<i>Balnose 3 mm</i>	Rp55.500	1	Rp55.500
Total				Rp234.200

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil yaitu:

1. Pembuatan *puzzle mold* komposit menggunakan kombinasi antara 3D *printing Fused Deposition Modelling* dan *milling* CNC melewati berbagai macam proses, seperti proses desain *puzzle mold*, proses 3D *printing*, proses pendempulan, proses simulasi permesinan CNC, dan proses permesinan CNC. Proses pembuatan *puzzle mold* komposit telah berhasil tercapai sesuai keinginan.
2. Dari hasil analisis perbandingan geometri pada desain utama dengan *puzzle mold* 3D *printing* dan desain utama dengan *puzzle mold* komposit masing-masing memiliki penyimpangan geometri di beberapa titik. Penyimpangan geometri setengah bola pada *puzzle mold* 3D *printing* yang terjadi sangat dominan berwarna biru dengan penyimpangan geometri terbesar sekitar 0,26 mm dan penyimpangan geometri terkecil sekitar 0,09 mm, sedangkan penyimpangan geometri setengah bola pada *puzzle mold* komposit yang terjadi sangat dominan berwarna hijau dengan penyimpangan geometri terbesar sekitar 0,26 mm dikarenakan adanya lubang dan penyimpangan geometri terkecil sekitar 0,00 mm.
3. Pada hasil *puzzle mold* komposit terdapat lubang-lubang yang disebabkan oleh proses pendempulan yang terlalu tebal atau terdapat partikel debu sehingga membuat adanya lubang-lubang pada permukaan *puzzle mold* komposit.
4. Berdasarkan hasil perbandingan geometri dapat diketahui bahwa penyimpangan geometri yang terjadi pada *puzzle mold* komposit lebih kecil dibandingkan *puzzle mold* 3D *printing*.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk dapat menyempurnakan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat memberikan tambahan sambungan pengunci pada *puzzle mold* agar mendapatkan permukaan yang sejajar dengan bagian lainnya.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan mampu melakukan proses pendempulan dengan sangat tipis dan tidak terlalu tebal agar hasil *puzzle mold* komposit tidak terdapat lubang-lubang pada permukaan *puzzle mold* komposit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M. R. (2022). *Pembuatan Cetakan Menggunakan Teknologi 3D Printing untuk Memproduksi Helm Sepeda Lipat Komposit Karbon Fiber dengan Metode Vacuum Infusion*. Universitas Islam Indonesia. <https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/42067/18525099.pdf?sequence=1>
- Ali, K. (2022). *Perancangan Soft Mold yang Dibuat Menggunakan Fused Filament Fabrication Bermaterial Thermoplastic Polyurethane sebagai Perbaikan pada Proses Vacuum Infusion*. Universitas Islam Indonesia.
- Arefin, A. M. E., Khatri, N. R., Kulkarni, N., & Egan, P. F. (2021). Polymer 3D Printing Review: Materials, Process, and Design Strategies for Medical Applications. *Polymers*, 13(9), 1–24. <https://doi.org/10.3390/polym13091499>
- Baraja, A. D. (2021). *Pengaruh Proses Komposit Sandwich Metode Vacuum Infusion terhadap 3D Printed Core Geometri Kompleks*. Universitas Islam Indonesia.
- Eryildiz, M. (2022). Comparison of Maximum Number of Walls and 100% Infill Density Parameters on Flexural Strength to Obtain FDM Build 3D Solid Parts. *Journal of Engineering and Applied Natural Sciences*. <https://www.researchgate.net/publication/360808856>
- Ferretti, P., Santi, G. M., Leon-Cardenas, C., Freddi, M., Donnici, G., Frizziero, L., & Liverani, A. (2021). Molds with Advanced Materials for Carbon Fiber Manufacturing with 3D Printing Technology. *Polymers*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/polym13213700>
- Firdaus, F. N., & Susanti, N. A. (2021). Pengaruh Kecepatan Putar dan Penyayatan Endmill Cutter Type HSS terhadap Tingkat Kekasaran Alumunium pada Mesin CNC. *Jurnal Pembelajaran Dan Teknik Mesin*, 10(2), 103–110.
- Haleem, A., Javaid, M., Goyal, A., & Khanam, T. (2022). Redesign of Car Body by Reverse Engineering Technique Using Steinbichler 3D Scanner and Projet 3D Printer. *Journal of Industrial Integration and Management*, 7(2), 171–182. <https://doi.org/10.1142/S2424862220500074>
- Hartanto, A. T. (2022). *Pemanfaatan Produk Additive Manufacturing (Fused*

- Filament Fabrication) untuk Molding Komposit Metode Vacuum Infusion.* Universitas Islam Indonesia.
- Hasdiansah, Masdani, Feriadi, I., & Pristiansyah. (2020). Optimasi Parameter Proses terhadap Akurasi Dimensi PLA Food Grade Menggunakan Metode Taguchi. *NCIET*, 1, 175–186. <http://conf.nciet.id/index.php/nciet/article/view/150%0A>
- Johnson, G. A., & French, J. J. (2018). Evaluation of Infill Effect on Mechanical Properties of Consumer 3D Printing Materials. *Journal of Advances in Technology Innovation*, 3(4), 179–184.
- Julian. (2022). Pengembangan Material Komposit Berpenguat Serat Alami untuk Aplikasi Bumper Mobil. *Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan*, 10(2), 92–98. <https://doi.org/10.47662/alulum.v10i2.239>
- Muslimin, Ridlwan, H. M., Rosidi, Pambudi, B., & Luqyana, D. (2022). Modifikasi Mekanisme Ejecting Produk pada Dies Compression Molding. *Journal of Engineering and Science*, 8(1), 17–24.
- Putra, O. A. (2020). Pengembangan Produk Ukir Berbasis 3 Dimensi untuk Mesin CNC. *Jurnal KomtekInfo*, 7(4), 293–301. <https://doi.org/10.35134/komtekinfo.v7i4.91>
- Sofyandi, M. R., Kurniawan, E., & Wicaksono, R. A. (2022). Rancang Bangun 3D Scanner sebagai 3D Metrologi dengan Metode Fotogrametri Rentang Dekat. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, 3(1), 56–61.
- Syaukani, M., Paundra, F., Qalbina, F., Dwi Arirohman, I., & Yunesti, P. (2021). Desain dan Analisis Mesin Press Komposit Kapasitas 20 Ton. *Journal of Science, Technology, and Virtual Science*, 1(1), 29–34.
- Triyono. (2019). *Perancangan dan Pembuatan Cetakan Komposit untuk Metode Vacuum Infusion Menggunakan Penekan Elastomer Bag.* Universitas Islam Indonesia.
- Wirawan, & Pratama, N. S. (2023). Analisis Ketebalan Layer dan Kecepatan Nozzle Produk 3D Printing Berbahan Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 2(2), 56–62.
- Yin, Y., & Antonio, J. (2020). Application of 3D Laser Scanning Technology for Image Data Processing in The Protection of Ancient Building Sites Through

Deep Learning. *Journal of Image and Vision Computing*, 102.  
<https://doi.org/10.1016/j.imavis.2020.103969>

Yuliardi, T. P., Basri, I. Y., Hernando, F., & Afrizal, A. (2022). Penerapan Pembelajaran Berbasis STEAM (Science, Technology, Engineering, Art Mathematic) pada Mahasiswa Mata Kuliah CAD. *Journal of Research in Education and Technology*, 1(1), 60–67.

## **LAMPIRAN**



