

**FABRIKASI 3D MODEL PERIFER ARTERI MENGGUNAKAN  
PERMESINAN CNC 3-AXIS**

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh:**

**Nama : NUR IKHWAN ADITYA UTAMA**  
**No. Mahasiswa : 18525053**  
**NIRM : 1801290088**

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

**2025**

# LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

## Fabrication of a Peripheral Artery 3D Model Using 3-Axis CNC- Machining

### TUGAS AKHIR

**Disusun Oleh:**

**Nama : NUR IKHWAN ADITYA UTAMA**  
**No. Mahasiswa : 18525053**  
**NIRM : 1801290088**



Yogyakarta, 14 Juli 2025

Pembimbing I,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Irfan Aditya Dharma', is placed over a light blue rectangular background.

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

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**Fabrikasi 3D Model Perifer Arteri Menggunakan Permesinan  
CNC 3-Axis**

**TUGAS AKHIR**


**Disusun Oleh :**

**Nama : NUR IKHWAN ADITYA UTAMA**  
**No. Mahasiswa : 18525053**

Tim Penguji

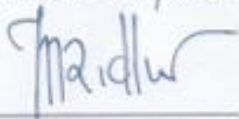
Irfan Aditya Dharma, S.T., M. Eng., Ph.D.

Ketua

  
Tanggal : 31/07/2025


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

Anggota 1

  
Tanggal : 31/07/2025

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

Anggota 2

  
Tanggal : 30/7/2025

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

## PERNYATAAN KEASLIAN

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

Yogyakarta, 14 Juli 2025

A 10,000 Rupiah Indonesian postage stamp is placed over the signature. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10000', 'REPUBLIK INDONESIA', and 'METRAL TEMPAK'. The serial number 'C18PEAMX352 170215' is visible at the bottom of the stamp.

NUR IKHWAN ADITYA UTAMA

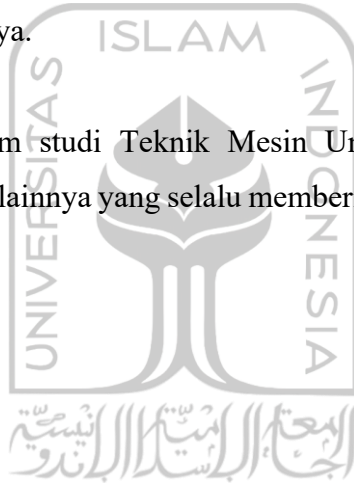
## HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, dan Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada:

Kedua orang tua penulis bapak H. Supariyo, S.TP. dan Ibu Hj. Maskanah serta kepada adik-adik saya, yang selalu senantiasa memberikan doa dan dukungan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Bapak Irfan Aditya Dharma S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing, penguji, dosen pengajar yang selama ini telah membimbing, membantu dan ikhlas dalam memberikan ilmunya.

Rekan-rekan dari program studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia mentor, dan teman-teman lainnya yang selalu memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis.



## HALAMAN MOTTO

“Life is like an experience, it keeps going and won’t stop until you die, so don’t waste your life thinking about things that are not important so that you will continue to gain useful experience for the future”

-Aditya Lubis, 2025-

“Setiap tindakan harus teliti, hati-hati, dan cek kembali”

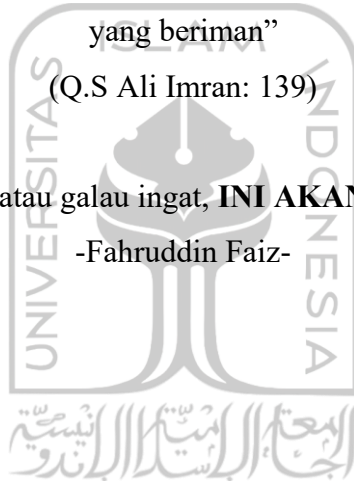
-Ayah & Mama-

“Janganlah kamu bersikap lemah, dan jangan pula kamu bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi (derajatnya), jika kamu orang-orang yang beriman”

(Q.S Ali Imran: 139)

“Mau senang atau galau ingat, **INI AKAN BERLALU**”

-Fahruddin Faiz-



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah* rabbil 'alamin, puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Fabrikasi 3D Model Perifer Arteri Menggunakan Permesinan CNC 3-Axis” dengan lancar.

Tugas akhir ini disusun sebagai bagian dari pemenuhan syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia. Dalam proses penyusunannya, penulis mendapat banyak dukungan dan doa dari berbagai pihak, yang kerennya penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memparingi rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menjalankan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua, Bapak Supariyo dan Ibu Maskanah yang selalu memberikan dukungan dan doanya kepada penulis, sehingga penulis dapat menjalankan dan menyelesaikan Tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Irfan Aditya Dharma S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang elalu memberikan bimbingan dan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir dan selama penyusunan Laporan Tugas Akhir.
5. Seluruh dosen dan staf program studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
6. Rekan- rekan seperjuangan Teknik Mesin UII, teman-teman “WARUNG COPAS” dan semua rekan-rekan Teknik Mesin yang telah memberikan dukungan.
7. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis berupaya semaksimal mungkin untuk menyajikan dengan baik. Tiada gading yang tak retak, di bumi mana yang tak hujan, penulis sadar bahwa selama mengerjakan laporan ini masih memiliki berbagai kekurangan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna memperbaiki dan menyempurnakan karya ini di masa mendatang. Penulis juga berharap laporan ini dapat memberikan manfaat, baik bagi pembaca maupun bagi penulis sendiri.

Yogyakarta, 14 Juli 2025

  
NUR IKHWAN ADITYA UTAMA



## ABSTRAK

Transformasi model digital ke bentuk fisik presisi tinggi merupakan tahapan penting dalam pembuatan prototipe teknik. Penelitian ini membahas proses rekonstruksi model 3D pembuluh darah berformat STL menjadi model *solid* yang siap difabrikasi menggunakan mesin CNC. Model yang digunakan sebagai prototipe saluran darah untuk simulasi aliran adalah *peripheral artery disease* dan perifer arteri normal. Proses ini dimulai dari pengelolaan file STL yang dihasilkan dari rekonstruksi model 3D, kemudian dilakukan konversi ke format *solid* dengan koreksi *mesh* dan penyempurnaan permukaan menggunakan perangkat lunak CAD. Hasil model *solid* tersebut difabrikasi dengan mesin CNC *milling 3-Axis*, memanfaatkan parameter permesinan yang diatur secara optimal untuk menjaga ketelitian bentuk. Evaluasi dimensi dilakukan dengan membandingkan hasil ukur manual terhadap ukuran pada gambar CAD serta pengujian visual tranparan menggunakan sinar *laser sheet*. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi antara rekonstruksi digital dan permesinan presisi dapat menghasilkan prototipe yang akurat serta mendukung pengembangan model teknik dan medis secara efisien.

Kata kunci: rekonstruksi STL, permesinan CNC, CAD/CAM, *laser sheet*, akurasi dimensi

## ABSTRACT

*The transformation of digital models to high-precision physical forms is an important stage in engineering prototyping. This research discusses the process of reconstructing 3D blood vessel model in stl format into solid models that are ready to be fabricated using CNC machines. The models used as blood vessel prototypes for flow simulation are peripheral artery disease and normal peripheral artery. This process starts from management of STL files generated from 3D model reconstruction then conversion to solid format with mesh correction and surface refinement using CAD software . The resulting solid model was fabricated with a 3-Axis cnc milling machine. Utilizing optimally set macining parametes to maintain shape accuracy. Dimensional evaluation was performed by comparing the manual meansurement against the size on the CAD drawing as well as transparent visual testing using a laser light sheet. This research shows that the combination of digital reconstruction and precision machining can produce accurate prototypes and support the efficient develoement of engineering and medical models.*

*Keywords :*

*STL reconstruction, CNC machining, CAD/CAM, laser sheet, dimensional accuracy*

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>2</b>
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Perancangan.....	4
1.5 Manfaat Perancangan .....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Kajian Pustaka.....	6
2.2 Dasar Teori .....	8
2.2.1 Kardiovaskular.....	8
2.2.2 Pembuluh Darah Perifer Arteri .....	8
2.2.3 Konversi <i>Mesh</i> menjadi <i>Solid</i> .....	9
2.2.4 Akrilik.....	10
2.2.5 Computer Numerical Control (CNC) .....	11
2.2.6 3D <i>Printing</i> .....	12
2.2.7 Metode PIV.....	13
2.2.8 CAD/CAM.....	14
2.2.9 Purwarupa/Prototipe.....	16
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>17</b>
3.1 Alur Penelitian .....	17
3.2 Kriteria Desain .....	18
3.3 Alat dan Bahan .....	19
3.4 Proses Rekonstruksi Desain Pembuluh Darah .....	21
3.4.1 Proses Pemilahan dan Penghalusan Model 3D.....	21
3.4.2 Pembuatan Strategi Permesinan .....	27
3.5 Pembuatan Alat Bantu Perancangan.....	30
3.5.1 <i>Jig</i> .....	31
3.5.2 Height adjustment base.....	32
3.5.3 Pengunci pengganti Mata Pahat.....	33
3.5.4 Kontur Amplas.....	34
3.6 Pembuatan Purwarupa .....	35
3.6.1 Pemotongan Material Purwarupa .....	35
3.6.2 Proses Permesinan CNC <i>Milling 3-Axis</i> .....	36
3.6.3 Proses Pengamplasan, Pemolesan dan Perekatan .....	44
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>47</b>
4.1 Hasil Penggunaan Alat Bantu Perancangan .....	47

4.1.1	<i>Jig</i> .....	47
4.1.2	Height adjustment base .....	50
4.1.3	Pengunci penganti Mata Pahat .....	53
4.1.4	Kontur Amplas .....	54
<b>4.2</b>	<b>Hasil Strategi Permesinan</b> .....	<b>55</b>
<b>4.3</b>	<b>Hasil Pembuatan Purwarupa</b> .....	<b>55</b>
4.3.1	Pengamplasan .....	55
4.3.2	Pemolesan .....	56
4.3.3	Perekatan .....	57
<b>4.4</b>	<b>Pengujian Purwarupa</b> .....	<b>60</b>
4.4.1	Pengukuran Perbandingan Geometri .....	60
4.4.2	Pengujian Visual .....	63
<b>BAB 5</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>66</b>
5.1	Kesimpulan .....	66
5.2	Saran Bagi Penelitian Selanjutnya .....	67



## DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2 - 1 PERIFER ARTERI NORMAL DAN <i>PERIPHERAL ARTERY DISEASE</i> .....	6
GAMBAR 2 - 2 HASIL PROTOTIPE BAHAN RESIN SLA.....	7
GAMBAR 2 - 3 PROSES <i>REMASH</i> PADA FILE STL.....	10
GAMBAR 2 - 4 HASIL G-CODE PADA PERMESINAN CNC.....	12
GAMBAR 2 - 5 MESIN 3D PRINTING.....	13
GAMBAR 2 - 6 PENERAPAN METODE PIV.....	14
GAMBAR 2 - 7 PENGGUNAAN STRATEGI PADA PERMESINAN.....	15
GAMBAR 3 - 1 ALUR PENELITIAN.....	17
GAMBAR 3 - 2 ALUR PENGORASIAN REKONSTRUKSI DENGAN AUTODESK MESHMIXER.....	22
GAMBAR 3 - 3 ALUR REKONSTRUKSI AWAL DENGAN APLIKASI FUSION 360.....	24
GAMBAR 3 - 4 HASIL REKONSTRUKSI DENGAN APLIKASI FUSION 360.....	25
GAMBAR 3 - 5 PROSES PEMBUATAN STRATEGI PERMESINAN DI FUSION 360.....	28
GAMBAR 3 - 6 HASIL PROSES PEMBUATAN G-CODE DI FUSION 360.....	29
GAMBAR 3 - 7 MODEL 3D <i>JIG</i> .....	31
GAMBAR 3 - 8 PENERAPAN <i>JIG</i> PADA PERMESINAN.....	31
GAMBAR 3 - 9 PERANCANGAN MODEL 3D <i>HEIGHT ADJUSTMENT BASE</i> .....	32
GAMBAR 3 - 10 PENGGUNAAN <i>HEIGHT ADJUSTMENT BASE</i> PADA RAGUM UNTUK PERMESINAN.....	32
GAMBAR 3 - 11 PERANCANGAN MODEL CAD UNTUK PENGATUR KETINGGIAN MATA PAHAT.....	33
GAMBAR 3 - 12 CARA PENGGUNAAN PENGATURAN MATA PAHAT UNTUK PERMESINAN.....	33
GAMBAR 3 - 13 PROSES PERANCANGAN MODEL KONTUR AMPLAS SECARA BERTAHAP DIMULAI DARI KIRI KE KANAN.....	34
GAMBAR 3 - 14 HASIL PEMBUATAN KONTUR AMPLAS DENGAN 3D PRINT.....	34
GAMBAR 3 - 15 PROSES PENGGUNAAN MESIN LASER CUTTING.....	35
GAMBAR 3 - 16 STRATEGI TAMBAHAN PADA PERMESINAN.....	37
GAMBAR 3 - 17 MODEL STRATEGI PERMESINAN PERIPHERAL ARTERY DISEASE SEGMENT ATAS DAN BAWAH.....	39
GAMBAR 3 - 18 PERANCANGAN STRATEGI PERMESINAN PERIPHERAL ARTERY DISEASE SEGMENT TENGAH BAGIAN TERBESAR.....	40
GAMBAR 3 - 19 PROSES STRATEGI PERMESINAN PERIPHERAL ARTERY DISEASE SEGMENT TENGAH BAGIAN TERKECIL.....	41
GAMBAR 3 - 20 MODEL STRATEGI PERMESINAN SEGMENT ATAS DAN BAWAH PERIFER ARTERI NORMAL.....	42
GAMBAR 3 - 21 MODEL STRATEGI PERMESINAN SEGMENT TENGAH TERBESAR PERIFER ARTERI NORMAL.....	43
GAMBAR 3 - 22 PROSES PENGOPRASIAN PROGRAM PADA APLIKASI MACH3MILL.....	46
GAMBAR 4 - 1 PROSES PERATAAN PERMUKAAN AKRILIK DENGAN MELAKUKAN PENGAMPLASAN BERTEKSTUR GRIT 150.....	47

GAMBAR 4 - 2 PENARIKAN MATA PAHAT DARI <i>JIG</i> SEBAB TERGESERNYA BENDA KERJA .....	48
GAMBAR 4 - 3 PENGUBAHAN ULANG DESAIN TITIK ORIGIN PADA STRATEGI PERMESINAN DAN PENEMPATAN <i>JIG</i> .....	48
GAMBAR 4 - 4 PROSES PERMESINAN PADA AKRILIK DISERTAI <i>JIG</i> .....	49
GAMBAR 4 - 5 PERANCANGAN AWAL <i>HEIGHT ADJUSTMENT BASE</i> .....	50
GAMBAR 4 - 6 HASIL DAN PENERAPAN <i>HEIGHT ADJUSTMENT BASE</i> .....	51
GAMBAR 4 - 7 PENGUKURAN KETINGGIAN UNTUK PENGGUNAAN <i>HEIGHT ADJUSTMENT BASE</i> .....	51
GAMBAR 4 - 8 PENGGUNAAN SLICER PADA APLIKASI CURA .....	52
GAMBAR 4 - 9 TAMPAK PENGGUNAAN PENGATUR KETINGGIAN.....	53
GAMBAR 4 - 10 TAHAPAN PENGGUNAAN ALAT PENGATUR KETINGGIAN..	53
GAMBAR 4 - 11 ALUR PENGGUNAN KONTUR AMPLAS .....	54
GAMBAR 4 - 12 HASIL PERMESINAN CNC MILLING 3-AXIS .....	55
GAMBAR 4 - 13 ALUR PENGAMPLASAN .....	56
GAMBAR 4 - 14 ALUR PEMOLESAN.....	57
GAMBAR 4 - 15 PROSES PEMILIHAN BAHAN PEREKAT .....	58
GAMBAR 4 - 16 PROSES PEREKATAN DENGAN LEM .....	59
GAMBAR 4 - 17 HASIL PEREKATAN TIAP SEGMENT ANTARA PAD DAN PERIFER ARTERI NORMAL .....	59
GAMBAR 4 - 18 PENGUKURAN DIMENSI LUBANG BAWAH PAD DAN PERIFER ARTERI NORMAL DENGAN CAD .....	60
GAMBAR 4 - 19 PENGUKURAN DIMENSI LUBANG ATAS PAD DAN PERIFER ARTERI NORMAL DENGAN CAD.....	61
GAMBAR 4 - 20 PENGUKURAN PURWARUPA DENGAN JANGKA SORONG...	63
GAMBAR 4 - 21 HASIL DARI PENGUJIAN DENGAN SHEET LASER .....	64
GAMBAR 4 - 22 PENGUJIAN VISUAL DENGAN LASER TANPA LENS DAN DENGAN LENS POLA BINTIK.....	65



## DAFTAR TABEL

TABEL 3 - 1 TABEL BAHAN.....	20
TABEL 3 - 2 TAHAPAN STRATEGI PERMESINAN PERIPHERAL ARTERY DISEASE SEGMENT ATAS DAN BAWAH.....	39
TABEL 3 - 3 TAHAPAN STRATEGI PERMESINAN PERIPHERAL ARTERY DISEASE SEGMENT TENGAH BAGIAN TERBESAR.....	40
TABEL 3 - 4 TAHAPAN STRATEGI PERMESINAN PERIPHERAL ARTERY DISEASE SEGMENT TENGAH BAGIAN TERKECIL.....	41
TABEL 3 - 5 PARAMETER STRATEGI PERMESINAN SEGMENT ATAS DAN BAWAH PERIFER ARTERI NORMAL.....	42
TABEL 3 - 6 PARAMETER STRATEGI PERMESINAN SEGMENT ATAS DAN BAWAH PERIFER ARTERI NORMAL.....	43
TABEL 3 - 7 PARAMETER STRATEGI PERMESINAN SEGMENT TENGAH TERKECIL PERIFER ARTERI NORMAL.....	44
TABEL 4 - 1 PENGATUARAN PERCETAKAN DENGAN MESI 3D PRINTING.....	52
TABEL 4 - 2 HASIL PENGUKURAN ANTARA CAD DAN MANUAL.....	61
TABEL 4 - 3 HASIL PERHITUNGAN AKURASI.....	62



## DAFTAR NOTASI

<b>CAD</b>	= Computer Aided Design
<b>CAM</b>	= Computer Aided Manufacture
<b>PIV</b>	= Particle Image Visual
<b>PAD</b>	= Peripheral artery disease
<b>CFD</b>	= Computing Fluid Dynamic
<b>CNC</b>	= Computer Numeric Control
<b>UV</b>	= Ultraviolet
<b>3D</b>	= 3 Dimension
<b>PMMA</b>	= Polimetil Metakrilat
<b>SLA</b>	= Stereolitografi Apparatus
<b>AM</b>	= Additive Manufacture



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi manufaktur dan rekayasa medis telah membawa inovasi penting dalam memahami dan menangani penyakit kardiovaskular, salah satunya *peripheral artery disease* (PAD). PAD merupakan gangguan pada pembuluh darah arteri perifer, terutama di bagian kaki, yang menyebabkan nyeri, kram, hingga gangguan fungsi organ. Untuk memahami dinamika aliran darah pada kondisi ini, diperlukan media simulasi karena studi langsung pada tubuh manusia menghadapi ketebatasan etika, biaya dan risiko.

Upaya penemuan solusi yang dikembangkan adalah pembuatan model 3D fisik pembuluh darah yang dapat memperlihatkan aliran darah dalam kondisi normal maupun terganggu akibat PAD. Teknologi CNC (*Computer Numerical Control*) menjadi pilihan ideal karena mampu memproduksi bentuk geometri kompleks dengan presisi tinggi. Dengan menggabungkan data medis dan teknik manufaktur, model arteri dapat difabrikasi secara akurat dan digunakan untuk simulasi fluida maupun edukasi medis.

Sayangnya, beberapa model 3D sebelumnya menggunakan bahan resin dari teknologi SLA (*Stereolithography Apparatus*) mengalami perubahan warna menjadi kekuningan atau *yellowing* saat terpapar cahaya, khususnya sinar UV. Perubahan ini mengganggu visibilitas aliran dan merurunkan akurasi pengamatan serta daya tahan model.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan memfabrikasi model arteri perifer yang lebih tahan terhadap penguningan dan tetap transparan dalam jangka panjang, sehingga dapat memenuhi kebutuhan pengguna akan media uji yang mampu memvisualkan aliran darah secara jelas, akurat, dan dapat digunakan berulang kali dalam lingkungan laboratorium.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini terdiri dari:

1. Bagaimana cara merekonstruksi prototipe pembuluh darah arteri perifer normal dan *peripheral artery disease* (PAD)?
2. Bagaimana cara membuat model 3D prototipe aliran darah transparan tahan dengan penguningan (yellowing)?
3. Apakah terdapat perbedaan signifikan antara desain model 3D dengan hasil prototipe model 3D dari segi geometri?
4. Bagaimana hasil pengujian prototipe jika diamati secara visual?

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian berikut disertakan beberapa Batasan masalah, yaitu:

1. Bahan yang digunakan adalah akrilik bening dengan ketebalan 10 mm dan 8 mm.
2. Rekonstruksi didasarkan pada hasil 3D yang berasal dari MRI/CT dengan menggunakan Software Autodesk Inventor 2024, Autodesk fusion 360, Autodesk Meshmixer, mach3mill, & Ultimaker Cura Versi 5.8.
3. Bentuk mengacu pada aliran darah arteri perifer normal dan PAD.
4. Pada proses rekonstruksi file sudah dalam bentuk 3 dimensi dengan format STL hingga menjadi solid body yang dapat dilakukan permesinan dalam pembentukannya.
5. Pembuatan model 3D menggunakan alat 3D printer, CNC milling, & CNC laser atau laser cutting.
6. Tidak melibatkan analisis berbasis komputasi seperti Computational Fluid Dynamic (CFD).

## 1.4 Tujuan Perancangan

Adapun tujuan dari perancangan adalah sebagai berikut:

1. Mampu merekonstruksi model 3D pembuluh darah perifer arteri normal dan PAD.
2. Merancang purwarupa dengan mempertimbangkan potensi ketahanan terhadap penguningan (yellowing), serta memastikan model 3D memiliki sifat transparan agar cahaya laser dapat menembus fluida di dalamnya.
3. Membandingkan pengukuran geometri pada desain permodelan 3D terhadap prototipe model 3D.
4. Membuktikan pengujian prototipe berdasarkan pengamatan secara visual dengan cahaya laser dapat menembus model secara jelas.

## 1.5 Manfaat Perancangan

Terdapat manfaat yang diberikan dalam penelitian berikut, seperti:

1. Sebagai bahan pembelajaran untuk mengetahui aliran pada fluida dengan menggunakan metode *Particle Image Velocimetry* (PIV).
2. Memiliki ketahanan optik dari bahan yang menggunakan akrilik transparan terhadap penguningan dibandingkan dengan bahan resin sebelumnya.
3. Dapat dijadikan sebagai contoh dalam pembuatan model yang berkaitan dengan rekayasa biomedis.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Pada bagian ini disajikan urutan dari laporan tugas akhir. Setiap bab dalam laporan ini akan dijelaskan secara umum untuk memberikan gambaran menyeluruh dari masing-masing bab secara berurutan. Penulisan sistematika laporan tugas akhir ini bertujuan untuk mempermudah pembahasan dalam laporan tersebut.

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

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

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

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

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

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

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

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

### **BAB V PENUTUPAN**

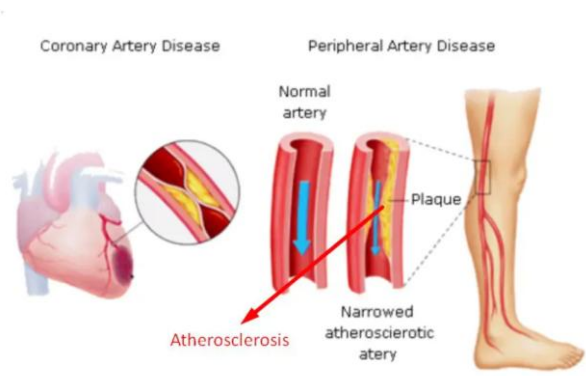
Bagian ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan yang dilakukan serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

*Peripheral artery disease* (PAD) merupakan salah satu gangguan sistem peredaran darah yang terjadi akibat penyempitan atau penyumbatan bagian arteri perifer berupa lemak di sekitar dinding pembuluh darah. Penyakit ini merupakan salah satu bentuk penyumbatan pembuluh darah yang umum dialami oleh orang usia lanjut, terutama yang merokok atau memiliki diabetes yang dicantumkan pada gambar 2-1 (Blanes et al., 2009a).



Gambar 2 - 1 Perifer arteri normal dan *Peripheral artery disease*

Sumber: (Harvi Sutariya, 2023)

Secara teknis, peneliti mempelajari aliran darah ini menggunakan salah satu metode yaitu dengan simulasi berbasis komputer *Computation Fluid Dynamics* (CFD), namun untuk meningkatkan ketepatan pengamatan, pembuatan benda prototipe sangat dibutuhkan agar dapat mengetahui fenomena yang terjadi secara langsung.

Penelitian sebelumnya dari (Hernández-Ortiz et al., 2022) yang berjudul yang berjudul “*Computer Numerical Control Micromilling of a Microfluidic Acrylic Device with a Staggered Restriction for Magnetic Nanoparticle-based Immunoassays*” telah melakukan penelitian dengan membuat prototipe menggunakan mesin CNC *micromilling*, yang memiliki keunggulan membentuk benda prototipe dengan ukuran kecil dan rapi khususnya membentuk saluran,

dengan menggunakan bahan akrilik bening (PMMA) untuk membuat alat tes imun yang memakai partikel magnetik sangat kecil. Namun dalam pembuatannya kontur model tidak seperti aliran darah namun hanya berfokus pada pengamatan partikel pada imunisasi ezimatik.

Dalam penelitian (Tateshima et al., 2001) memiliki penelitian yang sama dengan mengambil model aneurisma basilar arteri berbasis akrilik transparan yang dibuat dari data CT angiografi 3D, dengan menggunakan *stereolithography* (percetakan 3D berbasis cahaya), namun karena perlu peralatan khusus dalam pembuatannya seperti resin khususnya berbahan resin PMMA, dan printer 3D tertentu yang memiliki tingkat ketelitian yang tinggi, membuatnya sukar untuk dibuat pada laboratorium berskala kecil.

Di kasus sebelumnya, terdapat kendala saat membuat model pembuluh darah dengan menggunakan teknik *stereolithography* berbahan resin yang memiliki kelemahan berubah menjadi kuning warnanya sebab terkena panas atau cahaya terus menerus adapun kasusnya tertera pada gambar 2-2.



Gambar 2 - 2 Hasil prototipe bahan resin SLA

Sumber: (Lab. Teknik Mesin UII, 2024)

Ini tentu saja menyulitkan pengamatan aliran karena bagian transparannya menjadi buram. Dari bahan resin juga didapati bahwa resin bisa rusak secara optik karena sinar UV, sehingga menyebabkan warna berubah dan mengurangi kejelasan tampilan.

Sebagai solusinya, penggunaan bahan akrilik transparan dipilih karena lebih tahan terhadap perubahan warna dan memiliki kejernihan yang baik. Dengan menggabungkan bahan ini dan proses permesinan presisi CNC 3-Axis, diharapkan dapat dibuat model pembuluh darah buat yang tidak hanya presisi dan tahan lama, tetapi cocok untuk penggunaan eksperimen dan pelatihan visual tentang aliran fluida di dalam saluran khususnya pipa.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Kardiovaskular**

Sistem kardiovaskular adalah semacam aktivitas dalam tubuh manusia yang berfungsi untuk mendistribusikan darah keseluruh jaringan tubuh. Sistem ini terdiri dari jantung sebagai pusat pemompaan darah, serta jaringan pembuluh darah yang mencakup arteri, vena, dan kapiler. Jantung bertanggung jawab untuk menghasilkan tekanan yang diperlukan agar darah dapat mengalir melalui pembuluh-pembuluh darah dan mencapai seluruh organ serta jaringan tubuh. Darah yang dipompa oleh jantung membawa oksigen dan nutrisi penting yang dibutuhkan oleh sel-sel tubuh, serta mengangkut limbah metabolik seperti karbon dioksida dan urea untuk dikeluarkan melalui paru-paru dan ginjal (Fikriana et al., 2018).

Dalam perkembangan teknologi medis dan teknik biomedik, pemahaman mendalam mengenai sistem kardiovaskular sangat penting dalam perancangan alat bantu, model simulasi aliran darah, serta prototipe transparan yang memungkinkan visualisasi sirkulasi darah. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan saat ini adalah pengembangan prototipe transparan dengan kanal fluida yang dapat dilalui oleh cahaya laser. Teknologi ini sangat bermanfaat dalam studi eksperimental aliran fluida, simulasi hemodinamik, serta pengujian perangkat medis seperti katater, stent, dan pompa darah (Carroll dkk., 2012).

### **2.2.2 Pembuluh Darah Perifer Arteri**

Sistem pembuluh darah perifer arteri mencakup seluruh pembuluh darah yang berada di luar jantung dan otak, termasuk arteri, vena, dan kapiler yang bertanggungjawab atas distribusi darah ke seluruh tubuh (Hunt,1995). Struktur pembuluh darah perifer umumnya terdiri dari tiga lapisan utama: tunika intima (lapisan dalam), tunika media (lapisan otot polos), dan tunika adventitia (lapisan luar) yang masing-masing berperan penting sebagai pertahanan elastisitas dan kekuatan pembuluh darah (Standring, 2016).

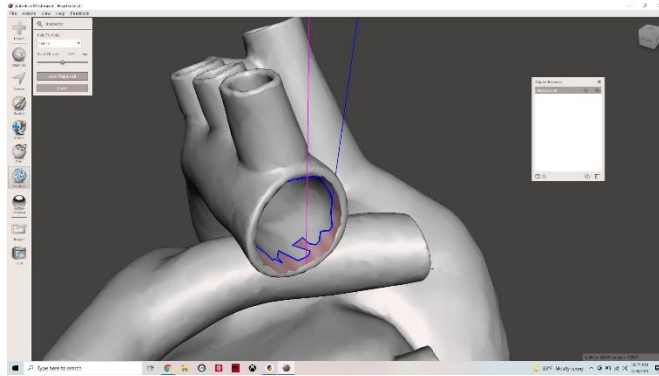
Dalam kasusnya, perifer arteri memiliki gangguan seperti penyempitan diameter yang diberi nama penyakit perifer arteri atau *peripheral artery disease* (PAD). PAD pada umumnya disebabkan penyempitan pembuluh darah arteri secara bertahap, terutama di bagian kaki. Penyempitan ini disebabkan dari penumpukan lemak atau plak (aterosklerosis) di dalam dinding arteri, seperti aliran fluida yang terganggu kerna saluran pipa yang mulai menyempit (Selvin & Erlinger, 2004).

Akibatnya, muncul berbagai gejala klinis tergantung tingkat keparahannya. Secara global, PAD bisa ditemukan baik pada orang yang tidak menunjukkan gejala maupun yang menunjukkan gejala. Sekitar 0,9% sampai 22% kasus PAD mungkin tidak terlihat secara klinis, tapi tetap bisa menyebabkan peningkatan risiko kerusakan pembuluh darah dan kematian akibat gangguan sirkulasi (Blanes et al., 2009b).

### 2.2.3 Konversi *Mesh* menjadi *Solid*

Dalam dunia desain berbantuan CAD (*Computer Aided Design*), file dengan format STL (*Stereolithography*) umumnya digunakan untuk mempresentasikan permukaan objek 3 dimensi dalam bentuk "*mesh* segitiga". Namun, format ini hanya menyimpan informasi geometri permukaan tanpa menyertakan struktur topologi yang memungkinkan pengeditan parametrik seperti pada *solid* model atau dengan singkatnya hanya menyimpan bentuk dari permukaannya saja.

Agar file STL ini dapat diedit, maka perlu dilakukan proses mengubah bentuk *mesh* menjadi benda padat, yang disebut konversi *mesh* ke Brep (*Boundary Representation*). Setelah diubah, objek bisa di ubah sesuai yang diinginkan dalam perangkat lunak CAD (Autodesk, 2023).



Gambar 2 - 3 Proses *remash* pada file STL

Sumber: (Autodesk Community, 2021)

Pada gambar 2-3, proses konversi dalam hal ini dari *mesh* ke *solid* tidak hanya terbatas pada perangkat lunak CAD seperti *fusion 360* atau *solidwork*, tetapi juga dapat dilakukan di berbagai platform permodelan lain seperti FreeCAD, Rhino, Autodesk Inventor. Beberapa dari perangkat lunak ini menyediakan fitur lanjutan untuk mengidentifikasi dan menyatukan permukaan-permukaan *mesh* agar membentuk model *solid* yang bisa diukur, dianalisis, dan dimodifikasi secara parametrik. Fitur ini sangat penting dalam proses desain produk yang membutuhkan presisi tinggi, seperti di industri otomotif dan kedirgantaraan (Li et al., 2025).

Dalam praktiknya, keberhasilan konversi juga sangat dipengaruhi oleh kualitas awal file STL. File yang berasal dari pemindaian 3D sering memiliki *noise* atau ketidakaturan permukaan akibat resolusi *scanner* yang kurang tajam atau refleksi cahaya yang tidak merata. Oleh karena itu, pra-pemrosesan seperti *smoothing* (penghalusan) dan *remashing* (penyusunan ulang *mesh*) biasanya diperlukan sebelum masuk tahap konversi. Langkah ini berguna untuk memperbaiki ketidaksempurnaan dan membuat *mesh* lebih “bersih” agar proses konversi berjalan lancar (Zarrabi et al., 2025a).

#### 2.2.4 Akrilik

Akrilik atau lebih tepatnya *polimetil metakrilat* (PMMA) adalah polimer sintetis yang dikenal karena transparansinya yang tinggi, ringan, dan tahan terhadap pecah. Dengan kemampuan menransmisikan hingga 92% cahaya tampak, akrilik sering digunakan sebagai alternatif kaca dalam berbagai aplikasi teknik

dan arsitektur. Selain itu, akrilik memiliki ketahanan terhadap sinar ultraviolet dan cuaca, menjadikannya pilihan populer untuk penggunaan luar ruangan seperti jendela, pelindung cahaya, dan panel iklan (Ajekwene, 2020).

Pada bidang medis, khususnya dalam studi sistem arteri perifer, akrilik digunakan dalam pembuatan model anatomis transparan yang berguna untuk sistem aliran darah dan pengujian alat bantu medis seperti kateter atau stent. Kejernihan optik akrilik memungkinkan visualisasi langsung terhadap jalur aliran fluida di dalam sistem pembuluh darah buatan, sehingga banyak dimanfaatkan dalam penelitian hemodinamika dan pengembangan perangkat medis berbasis Teknik. (Zulaika Harissya dkk., 2023).

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

CNC secara maksud berarti suatu sistem otomasi mesin perkakas yang dikenal oleh komputer menggunakan intruksi numerik. Instruksi ini, dikenal sebagai “G-code”, mengarahkan mesin untuk melakukan operasi seperti pemotongan, pengeboran, atau pembentukan material dengan tingkat presisi tinggi. Dengan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak, CNC memungkinkan produksi komponen dengan konsistensi dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan metode manual. Sebagai alat bantu, CNC merupakan mesin perkakas yang dilengkapi dengan sistem mekanik dan kontrol berbasis komputer yang mampu membaca instruksi kode N, G, F, T dan sebagainya, dimana kode-kode tersebut menginstruksikan mesin CNC agar bekerja sesuai dengan program benda kerja yang akan dibuat (Nadhif et al., 2021).

Prinsip kerja mesin melibatkan tiga komponen utama: “komputer sebagai pengendali, motor penggerak, dan sistem mekanik mesin”. Dari poin tersebut peran komputer menginterpretasikan G-code dan mengirimkan sinyal ke motor penggerak untuk menggerakkan alat potong sesuai dengan jalur yang telah diprogram dan terlihat pada gambar 2-4.

```

(CEUcar1.0)
(T16 D=1.6 CR=0.5 TAPER=2.5deg - ZMIN=-2.528 - tapered mill)
G90
(-Attention- Property Safe Retracts is set to Clearance Height.)
(Ensure the clearance height will clear the part and or fixtures.)
(Raise the Z-axis to a safe height before starting the program.)

(Paralle16)
T16 M6 (tapered mill D=1.6 tungsten carbide tapered ball 0.5)
S14000 M3
G64
G90 G94
G54
G43 H16
G0 X34.975 Y0.001
Z15.
G0 Z.
G1 Z1.16 F333.3
X34.967 Z1.111 F1000
X34.944 Z1.066
X34.909 Z1.031
X34.865 Z1.008

```

Gambar 2 - 4 Hasil G-code pada permesinan CNC

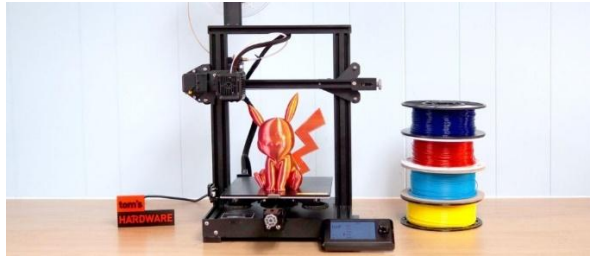
Sumber: (Lab.Teknik mesin UII, 2024)

Salah satu keunggulan utama dari teknologi CNC adalah kemampuannya dalam produksi massal dengan kualitas yang konsisten. Dengan menggunakan program yang sama, mesin CNC dapat memproduksi ribuan komponen identik tanpa penurunan kualitas. Hal ini sangat bermanfaat dalam industri manufaktur yang memerlukan standar kualitas tinggi dan toleransi yang ketat (Jufrizalddy dkk., 2020.).

### 2.2.6 3D Printing

Berbeda dari CNC, *3D Printing* atau dikenal dalam industri yaitu *Additive Manufacturing* (AM), yaitu suatu metode pencetakan objek tiga dimensi dari komputer secara bertahap, lapis demi lapis. Dalam dunia manufaktur, alat ini sangat membantu dalam membuat benda sesuai keinginan pembuat dengan waktu yang relatif cepat dibandingkan dengan CNC dan adapun bentuk fisiknya tercantum pada gambar 2-5.

Dalam dunia medis, teknologi ini membantu mencetak alat-alat kesehatan seperti tangan buatan (prostetik), tulang pengganti, bahkan bagian organ tubuh. Karena bentuknya bisa disesuaikan langsung dengan tubuh pasien, alat-alat ini menjadi lebih nyaman dan pas digunakan. Pada teknologi *3D Printing* ini, banyak dipakai untuk membuat alat medis yang lebih efisien dan terjangkau, serta bisa disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing pasien (Mamo et al., 2023).

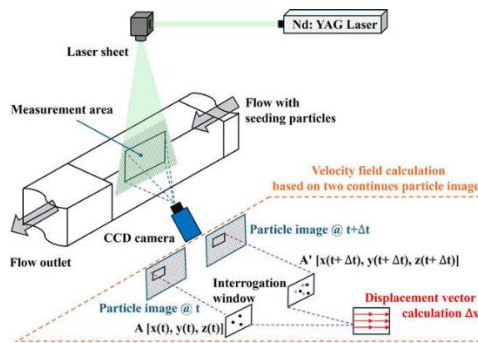


Gambar 2 - 5 Mesin 3D Printing  
Sumber: (PT. Taesin Indonesia,2024)

### 2.2.7 Metode PIV

*Particle Image Velocity* (PIV) merupakan metode non-invasif (tidak merusak objek) untuk mengukur kecepatan dan arah aliran fluida dengan cara menganalisis pergerakan partikel kecil yang tersuspensi di dalam fluida. Metode ini bekerja dengan cara menerangi aliran fluida menggunakan sinar laser dan mengambil citra (gambar) partikel-partikel yang tersebar dalam fluida tersebut dengan kamera berkecepatan tinggi. Dari perbedaan posisi pada gambar, sistem komputasi dapat menghitung arah dan kecepatan aliran fluida secara dua dimensi (2D) atau tiga dimensi (3D). Karena hasilnya berupa visualisasi aliran, metode ini sangat berguna dalam berbagai bidang teknik dan biomedis, terutama dalam memahami pola aliran di dalam pembuluh darah atau alat medis.

Dalam konteks biomedis, PIV sering digunakan untuk menganalisis aliran darah, baik pada pembuluh darah alami seperti arteri perifer maupun pada alat bantu medis seperti stent atau pompa jantung. Penggunaan metode PIV di bidang ini memungkinkan peneliti mengamati secara langsung bagaimana turbulensi, percepatan, atau hambatan dalam aliran bisa terjadi. Dalam penerapannya, PIV juga digunakan secara luas untuk mengevaluasi kondisi aliran pada model pembuluh darah yang dibuat menggunakan teknik cetak 3D, karena memberikan gambar yang detil tentang distribusi kecepatan dan pola aliran di dalamnya (Mori, 2021).



Gambar 2 - 6 Penerapan metode PIV

Sumber: (Oxford Instrument, 2025)

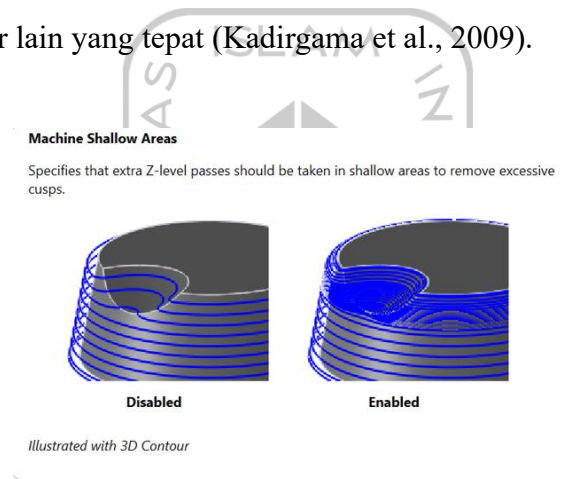
Pada gambar 2-6, disebutkan bahwa PIV merupakan salah satu metode paling andal dan presisi tinggi dalam pengukuran kecepatan fluida karena mampu menangkap perubahan aliran dalam skala yang sangat kecil dan waktu yang sangat singkat (Bu et al., 2014).

### 2.2.8 CAD/CAM

Dalam dunia teknik dan rekayasa, CAD (*Computer-Aided Design*) dan CAE (*Computer-Aided Engineering*) merupakan dua teknologi yang penting digunakan dalam mendesain dan menganalisis suatu produk sebelum dibuat secara fisik. CAD digunakan untuk membuat gambar atau model digital suatu produk, baik dalam dua dimensi (2D) maupun tiga dimensi (3D). Dengan CAD, seorang perancang bisa membuat bentuk, ukuran, dan fitur dari komponen dengan presisi tinggi, seperti menggambar diatas kertas, namun jauh lebih cepat dan efisien. Salah satu keunggulan utama CAD adalah kemudahan dalam mengedit desain serta integrasi langsung dengan proses manufaktur seperti CNC dan 3D *Printing* (Romero et al., 2025).

Dalam proses CAM khususnya proses permesinan CNC, pemilihan parameter permesinan yang tepat merupakan kunci untuk mencapai hasil akhir yang presisi, efisiensi waktu produksi, dan umur pahat yang optimal. Parameter utama dalam permesinan meliputi kecepatan pemotongan (*cutting speed*), kecepatan pemakanan (*feedrate*), kedalaman pemotongan (*depth of cut*), dan kecepatan spindel (*spindel speed*). Setiap parameter ini memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas permukaan benda kerja, akurasi dimensi, dan tingkat keausan alat potong (Rodriguez dkk., 2016).

Terdapat beberapa parameter penting yang dimasukkan dalam melakukan permesinan seperti kecepatan pemotongan, adalah kecepatan liniel antara alat potong dan permukaan benda kerja, biasanya diukur dalam meter per menit (m/min) dan contoh penggunaan terlihat pada gambar 2-7. Pemilihan kecepatan pemotongan yang sesuai bergantung pada jenis material benda kerja, material alat potong, dan jenis proses atau strategi permesinan yang dilakukan. Lalu ada *feedrate*, adalah kecepatan pergerakan alat potong ke arah benda kerja selama proses pemotongan berdasarkan jarak yang ditentukan, serta menentukan seberapa cepat material diangkat dari benda kerja. Kedalaman pemotongan, menggambarkan seberapa dalam alat potong menembus material dalam satu lintasan. Semakin besar kedalaman pemotongan, semakin tinggi beban yang diterima alat potong, yang bisa mempercepat keausan alat potong jika dikompensasi dengan parameter lain yang tepat (Kadrigama et al., 2009).



Gambar 2 - 7 Penggunaan strategi pada permesinan

Sumber: (Autodesk Fusion 360 Community, 2024)

Adapun parameter tambahan seperti arah pemotongan (konvensional atau *climb milling*), jenis pendingin atau pelumas yang digunakan, serta strategi lintasan alat (*toolpath strategy*) juga sangat mempengaruhi efisiensi dan kualitas proses. Dalam aplikasi CNC modern, parameter-parameter ini tidak hanya diatur secara manual, tetapi juga tetap dioptimalkan menggunakan perangkat lunak CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) untuk menghasilkan lintasan alat dan pemotongan yang paling efektif sesuai desain 3D model (Wang et al., 2016).

### 2.2.9 Purwarupa/Prototipe

Dalam pembelajaran keteknikan khususnya pada teknik mesin, prototipe diibaratkan seperti “jembatan” antara imajinasi dan kenyataan yang mengubah gambar statis di layar CAD menjadi bentuk nyata yang bisa disentuh, diuji, dan dievaluasi. Prototipe adalah model awal atau versi percobaan dari suatu produk yang dirancang untuk menguji konsep, fungsi, atau desain mekanis sebelum diproduksi secara massal. Ini adalah tahapan penting dalam *product development*, dimana insinyur tidak hanya melihat bentuk, tetapi juga bagaimana suatu komponen bekerja di bawah kondisi nyata (Zarrabi et al., 2025b).

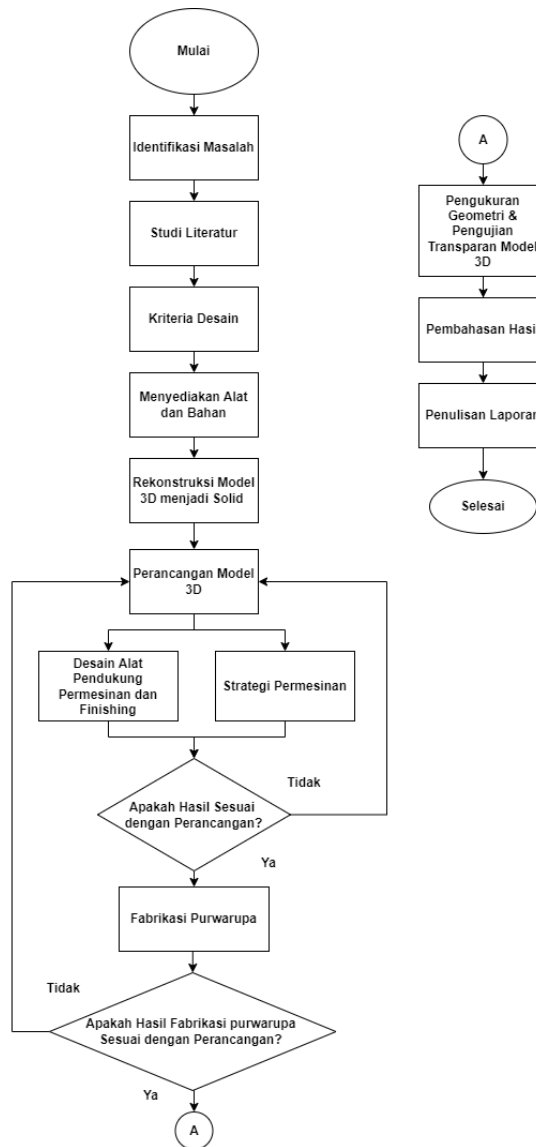
Dalam konteks teknik mesin, prototipe dapat berupa bagian yang dicetak 3D, dikontrol dengan CNC, atau dibentuk secara manual yang semuanya bertujuan untuk mengevaluasi aspek fungsional, kekuatan material, geometri, dan kemudian perakitan. Pembuatan prototipe sangat penting untuk menghindari kesalahan desain dan meminimalkan risiko kegagalan produk akhir (Zhang & Bai, 2024).



# BAB 3

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian



Gambar 3 - 1 Alur penelitian

Diagram alur ini pada gambar 3-1 menjelaskan tahapan dalam proses penelitian dan fabrikasi model 3D arteri perifer, dimulai dari identifikasi masalah, studi literatur, hingga pembuatan model 3D fisik yang sesuai dengan rancangan. Setelah menentukan kriteria desain dan menyiapkan alat serta bahan, model 3D

direkonstruksi menjadi bentuk *solid*. Kemudian dilakukan perancangan model yang mencakup strategi permesinan dan desain alat pendukung.

Proses evaluasi dilakukan dua kali, yaitu saat desain dan setelah fabrikasi, untuk memastikan kesesuaian hasil dengan rancangan. Jika sesuai, proses dilanjutkan ke tahap pengukuran geometri dan pengujian visual transparansi, pembahasan hasil dan penulisan laporan hasil.

### 3.2 Kriteria Desain

Kriteria desain yang dirumuskan harus mencerminkan kebutuhan akan kejelasan visual (karena akan digunakan bersama cahaya laser), ketahanan material terhadap pengaruh lingkungan (seperti sinar ultraviolet), serta kemudahan dalam proses fabrikasi menggunakan mesin mesin CNC 3-Axis. Berikut kriteria yang harus dipenuhi pada tahapan ini seperti:

1. Purwarupa pembuluh darah perifer arteri normal dan *peripheral artery disease* (PAD) memiliki kontur permukaan yang sama dengan model CAD.
2. Purwarupa pembuluh darah perifer arteri normal dan *peripheral artery disease* (PAD) memiliki fisik yang dapat dipantau dengan visual jernih/transparan sehingga membantu pengamat melihat fenomena aliran fluida berjalan secara langsung.
3. Purwarupa memiliki diameter inlet ke outlet dengan deviasi kurang dari  $\pm 5\%$  dibandingkan ukuran diameter arteri perifer normal dan PAD pada perangkat lunak CAD.

### 3.3 Alat dan Bahan

Dalam perancangan alat peraga ini, terdapat alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melakukan perancangan, disebutkan pada tabel 3-1 dan tabel 3-2 yang berisi alat dan bahan yang terdiri dari:

Tabel 3-1 Alat

NO	Nama Alat	Fungsi
1	Mata Pahat D3 1 set	Sebagai pemotong dan mengukir material pada mesin CNC 3-Axis pada alat peraga dengan diameter 3 mm
2	Mesin Amplas	Penghalus permukaan alat peraga dengan kertas amplas
3	Senter UV	Pengeras penggunaan pada lem UV
4	Leptop	Perangkat keras untuk rekonstruksi file, pembuatan perancangan, & dokumentasi hasil penelitian
5	Autodesk Mesh-mixer	Perangkat lunak untuk menghaluskan permukaan pada file model 3D
6	Autodesk Inventor	Perangkat lunak untuk perancangan desain berbasis CAD untuk rekayasa dan manufaktur
7	Autodesk Fusion 360	Perangkat lunak online untuk merancang strategi permesinan dan desain
8	Mach3mill	Perangkat lunak simulasi file gcode permesinan pada mesin CNC untuk oprasi <i>milling</i>
9	3D Printing	Alat untuk mencetak desain dengan metode <i>aditive</i> (mencetak lapisan demi lapisan)
10	Laser cutting	Alat pemotongan material dengan panas laser dengan tingkat presisi tinggi
11	Mesin CNC <i>milling</i> 3-Axis	Alat permesinan untuk membentuk model desain dengan sumbu x, y, dan z
12	Ultimaker Cura	<i>Software</i> untuk mengkonversi model 3D menjadi instruksi cetak bagi printer 3D
13	Jangka Sorong	Alat ukur dengan besaran 0,01 mm ntuk mengukur panjang, kedalaman, atau diameter benda

14	Smartphone	Perangkat keras untuk komunikasi dan pengambilan gambar secara instan
15	Kunci Pas	Alat tangan untuk mengencangkan atau melepas baut pengencang mata pahat dengan ukuran tertentu
16	Mistar	Alat untuk mengukur atau menarik garis lurus
17	Palu karet	Palu dengan kepala karet untuk memukul tanpa merusak permukaan benda

Tabel 3 - 1 Tabel bahan

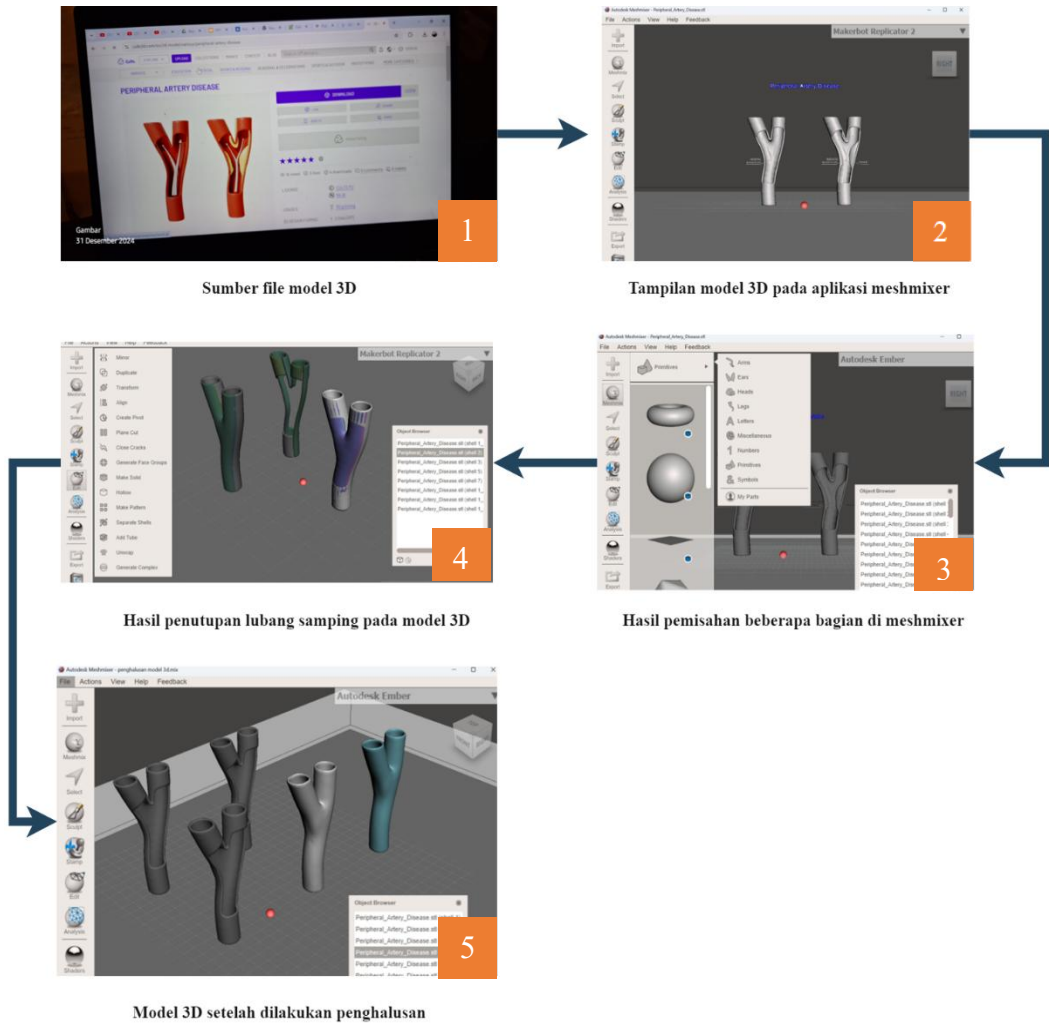
No	Nama Bahan	Fungsi
1	File model 3D pada perifer arteri dan <i>peripheral artery disease</i>	File model 3D (format STL) yang memodel pembuluh darah arteri perifer, digunakan untuk simulasi atau studi <i>peripheral artery disease</i> (PAD/Penyakit arteri perifer)
2	Akrilik	Bahan berbasis akrilik (plastik transparan/tahan cuaca), sering digunakan untuk <i>laser cutting</i> , dan kerajinan
3	Amplas grit 150, 800, 1000, 2000 dan 5000	Kertas amplas dengan tingkat kekasaran berbeda, semakin besar nilai gritnya, semakin halus permukaan yang dihasilkan
4	<i>Turtle wax polishing compound</i>	Pasta poles ( <i>compound</i> ) dari merek Turtle wax untuk menghilangkan goresan halus dan mengkilapkan permukaan (logam/cat/akrilik)
5	Filament 3D <i>Printing</i>	Bahan cetak 3D dengan pengemasan digulung, yang dilelehkan untuk dicetak lapisan demi lapisan
6	Lem UV akrilik	Perekat khusus untuk akrilik yang mengeras ketika terkena sinar UV

7	Cooling water	Air pendingin untuk mencegah panas berlebih pada mesin CNC
8	Menzena HCC 400 250 gram	Pasta poles yang digunakan untuk memoles permukaan akrilik menjadi permukaan yang bersih, sehingga terlihat sifat transparan dari akrilik.
9	Menzena HCC 1000 100 gram	Pasta poles yang digunakan untuk memoles permukaan akrilik yang sudah di poles dengan menghilangkan gorsan halus hasil pemolesan
10	Plastisin	Sebagai perekat pada penggunaan <i>Jig</i>
11	Gliserin	Cairan bening pengganti darah sebagai bahan simulasi

### 3.4 Proses Rekonstruksi Desain Pembuluh Darah

#### 3.4.1 Proses Pemilahan dan Penghalusan Model 3D

Pada tahapan pertama ini, dilakukan proses menghaluskan model 3D agar memiliki permukaan yang lebih presisi dan siap untuk diproduksi. Model 3D yang digunakan mengacu pada desain dari sumber Cults3D dengan judul model “*Peripheral artery disease*” dari website <https://cults3d.com/en/3D-model/various/peripheral-artery-disease>, dengan format data yang diberikan salah satunya yaitu STL dan OBJ yang bisa dibuka dalam laptop. Di dalam website ini, juga disediakan model 3D dengan bentuk perifer arteri yang sehat sehingga dapat dilakukan perbandingan ketika melakukan pengujian secara aktual yang dijelaskan pada gambar 3-2.



Gambar 3 - 2 Alur pengorasiannya rekonstruksi dengan autodesk meshmixer

Model 3D yang sudah dimiliki, selanjutnya dilakukan pemisahan model 3D yang dibutuhkan dalam hal ini file yang asli, menulis memilah kembali agar mendapat bagian dalam dari file asli tersebut yang bertujuan sebagai jalur fluida agar dapat mengalir dan mudah dilakukan pengamatan. Dalam pengerjaannya, menggunakan autodesk *meshmixer* untuk menghilangkan bagian yang tidak diperlukan.

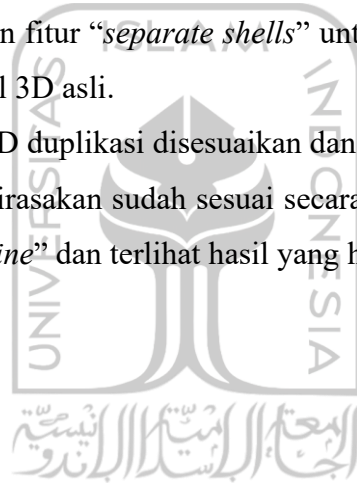
Pengelolaan model 3D menghasilkan permukaan yang halus dan lubang yang sudah tertutup menjadikan pemisahan bagian yang dibutuhkan menjadi mudah serta, permukaan lebih rapi dan model jadi lebih mudah dipisahkan sesuai kebutuhan. Dengan model 3D yang sudah bersih dan utuh, pekerjaan seperti pengeditan, dan persiapan untuk proses permesinan menjadi lebih mudah.

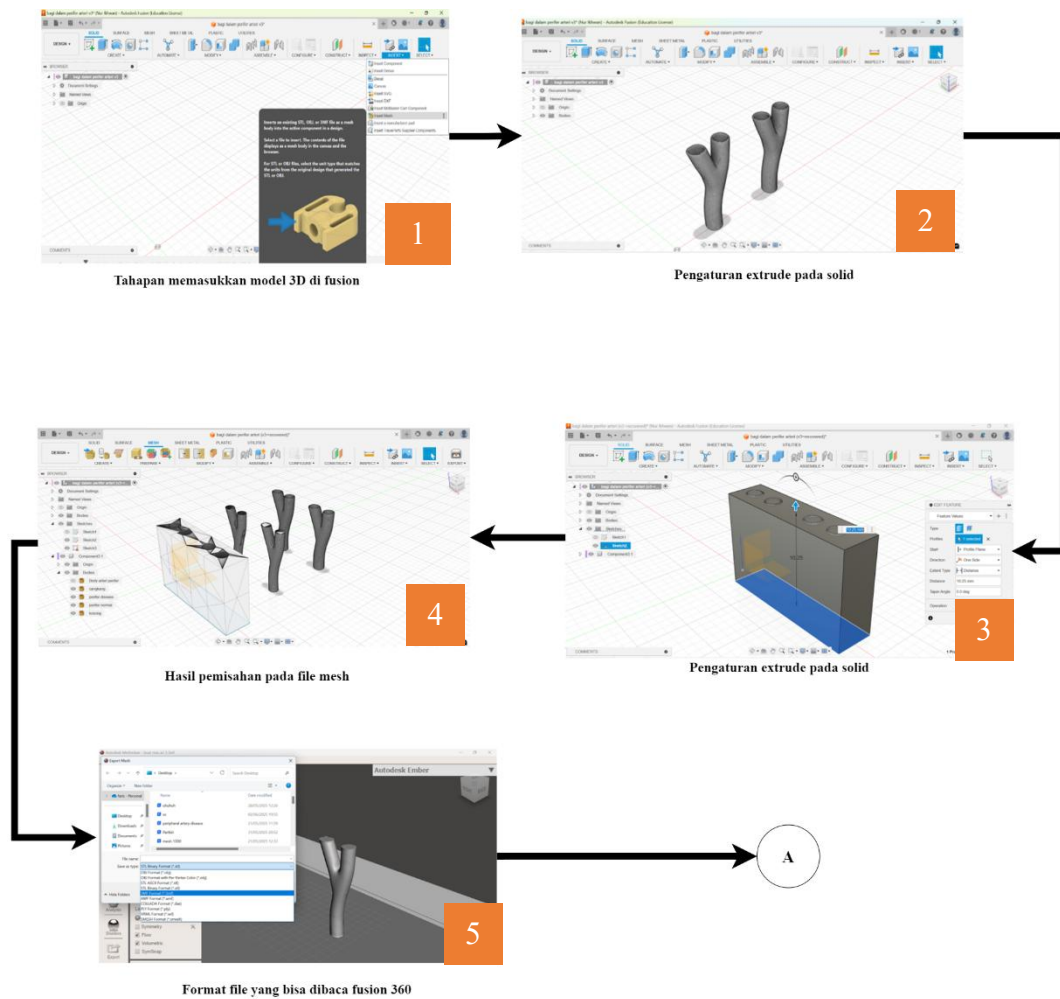
Untuk proses penghalusannya, pertama pilih menu edit pada aplikasi yang didalamnya berisi salah satu fitur “*separate shells*” agar model 3D yang awalnya berkumpul menjadi satu dapat dipisahkan sehingga bagian yang berfungsi untuk dijadikan alat peraga dapat tercapai.

Dalam tahapan ini digunakan fitur “*sculp*” yang berisi fitur “*move*” untuk merapikan model 3D menjadi lebih rapi dan menghasilkan bentuk yang mudah diolah ketika melakukan pemisahan bagian serta mencegah permukaan yang rusak.

Pengeditan untuk tahapan selanjutnya, dilakukan pemisahan dengan metode “*separate*” pada menu *mesh* di *fusion 360*. Di dalam tahapan ini, yang selanjutnya dilakukan adalah membuat pengisi bagian yang berlubang pada dinding model 3D dengan fitur “*mirror*” untuk menduplikasi bagian yang berlubang dan kembali menggunakan fitur “*separate shells*” untuk memisahkan hasil yang di duplikasi dengan model 3D asli.

Dari sini, model 3D duplikasi disesuaikan dan dipilah menggunakan fitur “*plane cut*” dan setelah dirasakan sudah sesuai secara pandangan, kembali disatukan dengan fitur “*combine*” dan terlihat hasil yang halus seperti gambar 3-3.



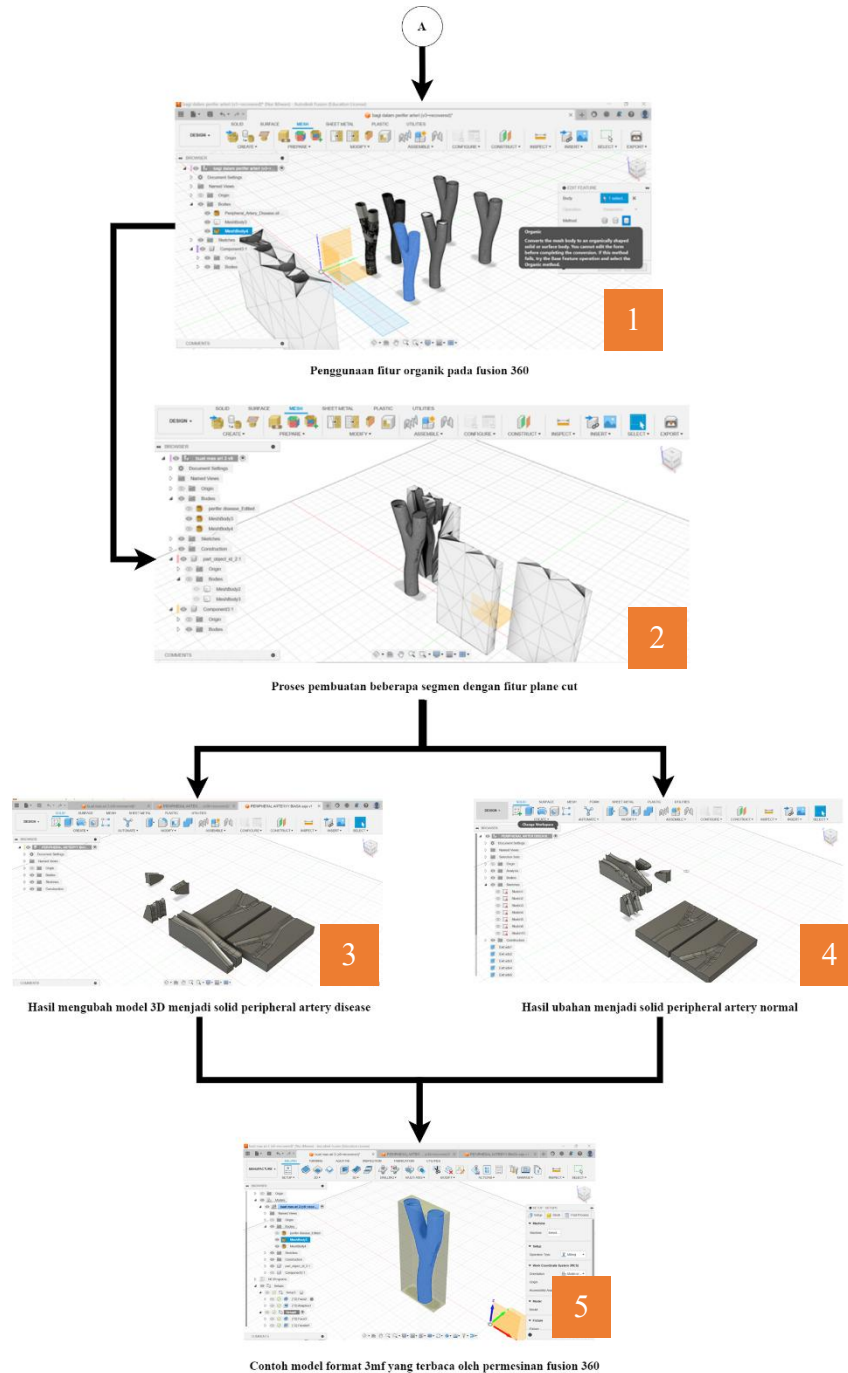


Gambar 3 - 3 Alur rekonstruksi awal dengan aplikasi fusion 360

Dengan selesainya penghalusan model 3D, yang dilakukan selanjutnya yaitu pengambilan permukaan yang dibutuhkan untuk alat kerja, dalam hal ini diartikan bagian dalam dinding model 3D sebab permukaannya yang terpakai untuk penerapan pengamatan fluida menggunakan aplikasi *fusion 360* sebagai pembantu dalam proses pemisahannya. Untuk tahap ini, masukkan file model 3D yang sudah disimpan dalam format STL ke *fusion* dengan memilih *solid->insert->insert mesh*.

Untuk alasan kenapa digunakan format STL karena kemudahannya yang bisa digunakan di banyak *software* desain maupun mesin seperti 3D atau CNC. File STL menyimpan bentuk benda dengan cara yang sederhana, sehingga mudah dilihat dan diproses, bahkan untuk bentuk yang rumit. Di *fusion 360*, terdapat keunggulan ketika mengedit file STL menjadi bentuk yang bisa diedit lebih lanjut,

misalnya untuk memperbaiki desain atau menambah komponen lain serta menghindari masalah saat membuka desain di *software* lain, menjadikannya lebih aman dan praktis untuk berbagai keperluan dalam mendesain model 3D.



Gambar 3 - 4 Hasil rekonstruksi dengan aplikasi fusion 360

Dari penjelasan gambar 3-4, selanjutnya file diperbesar dengan fitur “scale” dengan perbandingan 1:9,329 untuk keamanan ketika digunakan

pengamatan dan penghematan bahan baku. Pada tahap ini, model 3D diisi bagian dalam dengan *mesh* dimulai membuat balok *solid* dengan panjang 16 mm x 4 mm. lalu di “*extrude*” dengan tinggi 95 mm yang ketika di *extrude*, pilih “componen” pada menu operation. Dengan dipilihnya menu komponen membuat pemisahan bagian yang diperlukan menjadi mudah sehingga pemilahan menjadi cepat dan tepat.

Pada tahapan mengubah balok menjadi *mesh*, pilih fitur “tensellate” untuk mengubah file *solid* menjadi *mesh*. Selanjutnya, pilih “combine” pada grup *modify* sebagai pemisah bagian *mesh* yang diperlukan dan didalam pemilihannya, pakai fitur *cut* dan *keep tool* agar file yang tidak terpilih tetap ada dan pemilihan menjadi mudah.

Melalui terpisahnya file *mesh*, dipilih model 3D dengan permukaan bagian dalam sebagai master atau cetakan untuk proses pembentukan metode permesinan. Pada tahapan ini terdapat masalah dalam membaca data model 3D yaitu tidak dapat terdeteksi format STL, sehingga diperlukan format lain sebagai penunjang dalam pembacaan data model 3D.

Dari beberapa percobaan, terdapat 2 cara dalam melakukan hal diatas yaitu dengan mengubah file menjadi format 3mf dan mengubah kembali file *mesh* menjadi *solid* dengan fitur *organic* pada *modify*, untuk penggunaan format 3mf, syarat yang perlu dilakukan yaitu komputer pernah menyimpan format file sebelumnya atau pernah “mengitip” bagian dalam file untuk mengenali jenis dan versinya.

Untuk *software fusion 360* yang bisa membaca file 3mf menjadikan format ini sebagai acuan untuk membaca format file yang sudah diedit dari aplikasi sebelumnya karena keunggulannya memiliki detail sempurna untuk proses produksi yang akurat. Atau dengan cara termudah yaitu dengan fitur “organik” pada *convert mesh* di dalam grup *modify*, namun fitur ini memiliki akses berbayar sehingga dilakukan cara lain dengan menggunakan layanan “trial” untuk mendeteksi permukaan *mesh* tersebut.

Namun untuk mempermudah pembuatan cetakan sangat mudah dibuat dengan model 3D dalam bentuk *mesh*, adapun caranya yaitu dengan membuat balok seperti cara sebelumnya dengan balok yang sudah menjadi *mesh* dipisahkan

menjadi 3 bagian atau segmen dengan fitur “plane cut dengan jarak pemisahan 10 mm. Alasan mengisi jarak tersebut karena ketersediaan akrilik untuk permesinan yang paling sesuai dengan ukuran tersebut sehingga diperlukan menyesuaikan desain sesuai bahan yang tersedia. Dengan hasil cetakan yang sudah terbentuk, selanjutnya mengatur posisi arah permesinan untuk pemilihan penggunaan strategi permesinan yang dipakai.

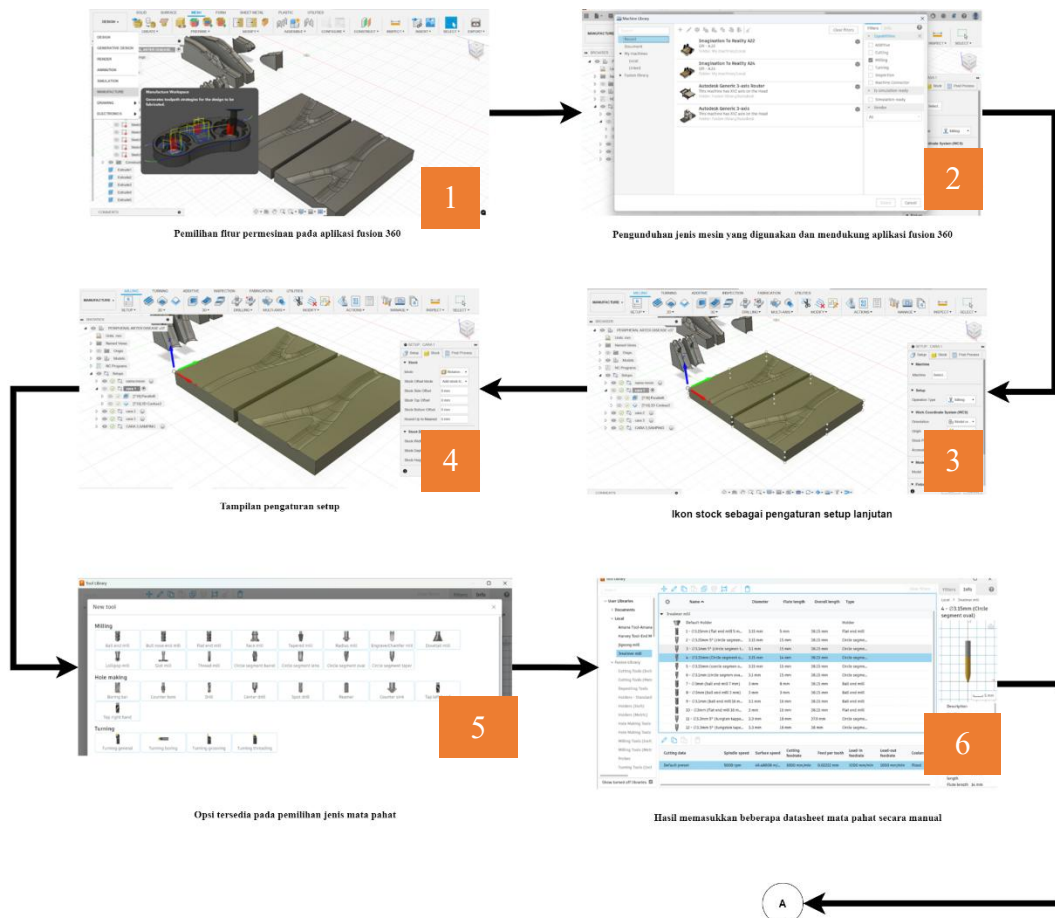
Untuk proses ini bidang datar berada pada sumbu x-y, untuk proses pembuatan permesinan dilakukan perubahan bentuk file dari *mesh* ke *solid* dengan menggunakan fitur “convert to mesh” dan memilih pada beberapa pilihan di dalam fitur yang bernama “organic” agar bentuk *solid* menyesuaikan berdasarkan file *mesh* terakhir dan memiliki keunggulan permukaan yang halus, sehingga mempermudah dalam melakukan permesinan seperti metode mengubah bentuk model 3D sebelumnya.

Dari cara ini ada cara alternatif agar model 3D yang masih berbentuk *mesh* bisa di baca di permesinan yaitu dengan mengubah file *mesh* menjadi format 3mf, adapun hasilnya seperti gambar di atas.

### 3.4.2 Pembuatan Strategi Permesinan

Pada tahapan ini, pertama yang perlu dilakukan yaitu dengan mencari strategi permesinan yang tepat untuk menghasilkan pemotongan yang tepat dan cepat, sedangkan parameter yang mempengaruhi pembentukan permesinan terdiri dari: jenis mata pahat, strategi, *feedrate*, *spindel speed*, *cutting speed*, dan waktu, adapun parameter tambahan merupakan rincian dari parameter yang sudah dijelaskan sebelumnya. Untuk memulai permesinan klik menu design (menu pada *change workspace*) dan pilih “manufacture” pada baris pilihan yang tertera.

Selanjutnya yang dilakukan memilih menu “setup” sebagai pengatur batas dimensi permesinan, di dalam pengaturan ini, yang perlu diisikan seperti sudah mengunduh jenis mesin yang digunakan yang mendukung untuk *fusion 360*, pengaturan koordinat, dan pemilihan titik origin dan pemilihan model yang terdeteksi dengan menggunakan mesin dengan nama “*imagination to reality A22*” di *fusion 360* dan terlihat pada gambar 3-5.



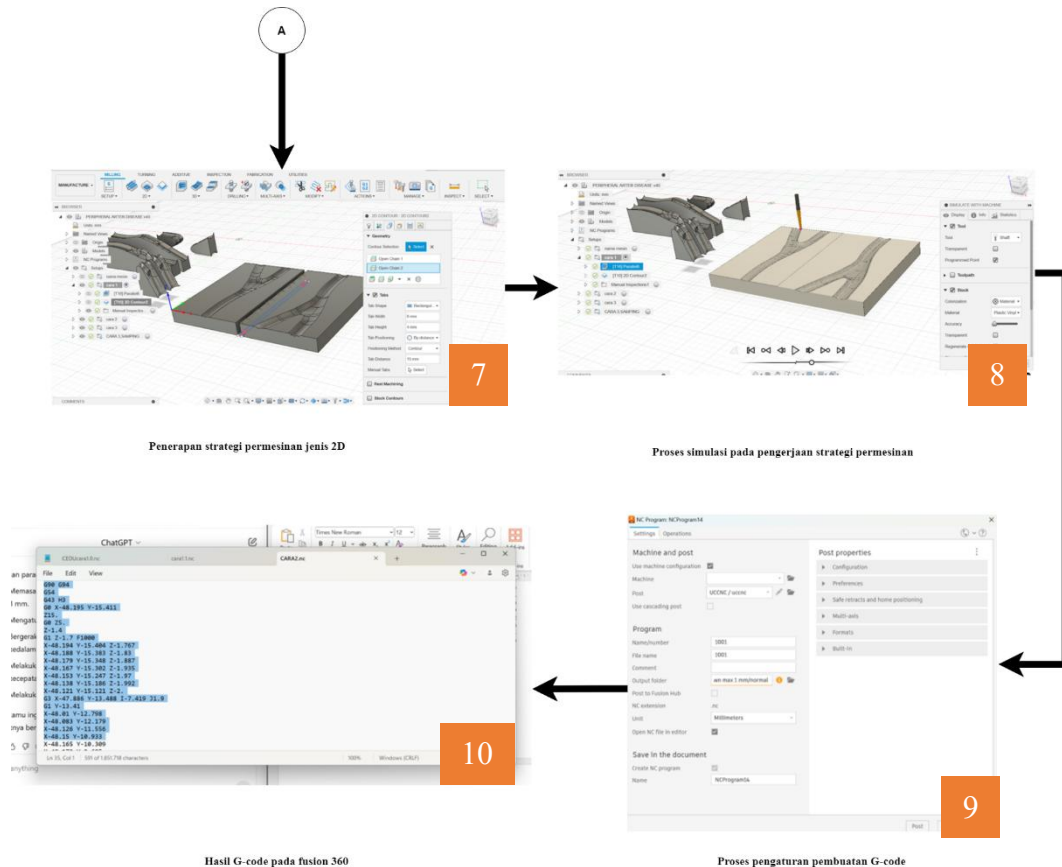
Gambar 3 - 5 Proses pembuatan strategi permesinan di fusion 360

Di dalam ikon *stock*, dapat memilih beberapa fitur untuk mengatur mode batas pada permesinan, adapun fitur yang dipilih yaitu “*relative size box*” karena rancangan diharuskan membuat bahan alat peraga yang berbentuk persegi panjang mengikuti bentuk model 3D yang di masukkan serta kemudahan memantau dimensi yang dihasilkan, menjadikan kesalahan pemotongan dapat dikurangi.

Bagian untuk mata pahat, dilakukan masukkan secara manual berdasarkan datasheet mata pahat yang tersedia berdasarkan jenis-jenisnya. Hal pertama adalah dilakukan dengan memilih “*tool library*” pada menu “*manage*” setelah masuk klik ikon “+” untuk menambahkan mata pahat dan pilih jenis mata pahat yang ingin diberikan seperti salah satu contohnya “*tapper mill*” setelah selesai cukup keluar dan lanjut memilih strategi permesinan.

Setelah proses ini berikutnya melakukan pemilihan strategi pemilihan, strategi permesinan *fusion 360* terdiri dari 2 jenis *toolpath* yaitu “2D dan 3D *milling*”, 2D *milling* adalah proses permesinan yang dilakukan hanya pada dua sumbu

utama umumnya sumbu x dan y dengan kedalaman potong tetap pada sumbu z. Proses ini digunakan untuk oprasi pemotongan dasar seperti *contour* (memotong tepi luar) *Pocketing* (mengongkan area dalam), *faceing* (meratakan permukaan atas), dan *drilling* (pengeboran). *Toolpath 2D* biasanya diterapkan pada alat peraga datar dan cocok untuk membuat bentuk sederhana seperti lubang, slot, dan permukaan rata tanpa variasi tinggi yang kompleks.



Gambar 3 - 6 Hasil proses pembuatan G-code di fusion 360

3D *milling* memiliki keunggulan yaitu alat potong bergerak lebih bebas di ketiga sumbu (x, y, dan z), sehingga dapat mengikuti kontur permukaan yang tidak rata atau bentuk kompleks seperti lengkungan dan permukaan organik. *Toolpath 3D* digunakan untuk membuat model dengan permukaan lengkung, cekungan, atau desain ergonomis yang tidak bisa diselesaikan hanya dengan proses 2D. Operasi ini sering digunakan dalam pembuatan cetakan, model 3D, dan komponen teknik presisi yang membutuhkan detail bentuk rumit.

Dengan dipilihnya beberapa strategi yang sesuai untuk tiap *part*, dilakukan simulasi berupa tampilan gerakan permesinan apakah sesuai dengan keinginan. Tujuan dari tindakan ini agar dapat mengoreksi bagian mana saja yang terdapat masalah, tabrakan atau bagian yang belum terpotong, serta mengoptimalkan waktu dan efisiensi permesinan tanpa membuang material atau merusak alat khususnya mata pahat.

Dari semua proses diatas, terdapat kendala dalam proses implementasinya pada permesinan yaitu mempunyai mesin membaca data dalam bentuk G-code. G-code bisa ditulis secara manual, tetapi umumnya dihasilkan secara otomatis oleh aplikasi CAM setelah simulasi dan pemilihan jalur pahat selesai dan untuk *fusion 360* sendiri, format yang dihasilkan untuk permesinan adalah “.nc”.

### **3.5 Pembuatan Alat Bantu Perancangan**

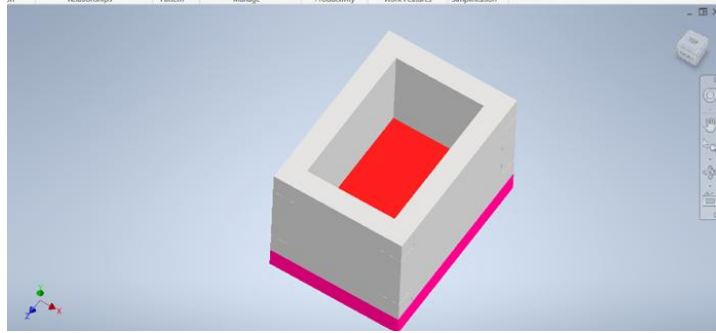
Perancangan alat bantu ini dimaksudkan untuk membantu proses pengerjaan permesinan dengan CNC *milling 3-Axis* sebab dalam praktiknya, dibutuhkan ketepatan dalam pemegangan alat peraga serta kestabilan selama proses pemotongan berlangsung. Tanpa alat bantu yang tepat, alat peraga bisa mengalami pergeseran, getaran berlebih, atau bahkan kesalahan posisi yang dapat mempengaruhi kualitas hasil akhir. Oleh karena itu, alat bantu ini dirancang dengan mempertimbangkan bentuk dan dimensi alat peraga, jenis pahat yang digunakan, serta arah pemakanan mesin agar dapat menunjang proses permesinan secara efisien dan presisi.

Selain itu, alat bantu ini juga diharapkan mampu mempercepat waktu setup, mempermudah proses penjepitan, serta meningkatkan keselamatan kerja operator. Dengan sistem penjepitan yang ergonomis dan kokoh, risiko kegagalan proses seperti alat peraga terlepas atau posisi tidak konsisten dapat diminimalkan. Dalam perancangan ini juga diperhatikan aspek modularitas agar alat bantu dapat digunakan untuk beberapa jenis alat peraga serupa, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi penggunaan mesin.

Secara keseluruhan, alat bantu ini menjadi komponen penting dalam menunjang keberhasilan proses CNC *milling 3-Axis* yang menuntut akurasi tinggi

dan produktivitas optimal. Untuk alat bantu yang sudah dirancang terdapat beberapa jenis penggunaan yaitu:

### 3.5.1 *Jig*



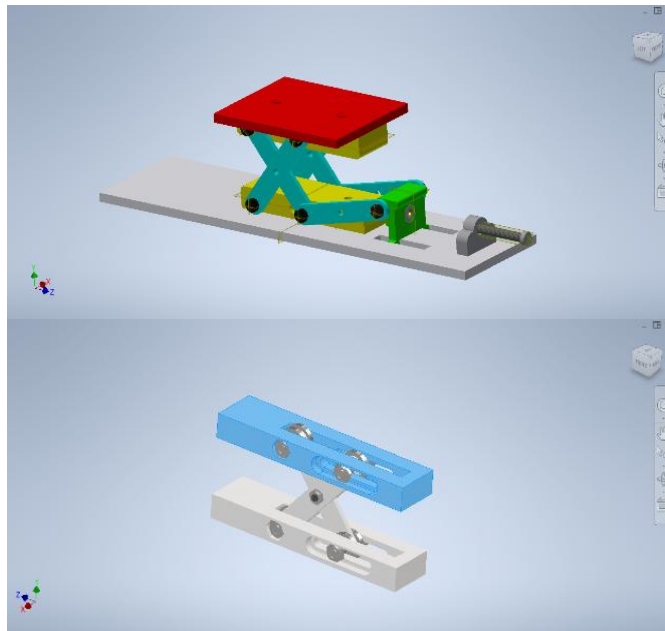
Gambar 3 - 7 Model 3D *Jig*



Gambar 3 - 8 Penerapan *Jig* pada permesinan

*Jig* ini untuk penggunaannya berfungsi mempermudah proses pengerjaan dengan memberikan panduan yang tepat bagi alat potong, sehingga hasil pemotongan menjadi lebih stabil, presisi, dan efisien, dengan menggunakan *Jig* kemungkinan kesalahan posisi atau pergeseran benda kerja dapat diminimalkan, terutama saat produksi costume yang membutuhkan keseragaman untuk ukuran. Gambar di atas menunjukkan salah satu contoh *Jig* yang digunakan pada proses CNC *milling*, dimana posisi alat peraga ditahan dengan plastisin dengan bagian datar menempel pada dinding vertikal *Jig* dengan kuat untuk menjaga akurasi permesinan dengan dimensi panjang lebar dan tinggi yaitu 35 mm, 25 mm dan 21 mm yang ditampilkan pada gambar 3-7 dan 3-8.

### 3.5.2 Height adjustment base



Gambar 3 - 9 Perancangan Model 3D *Height adjustment base*

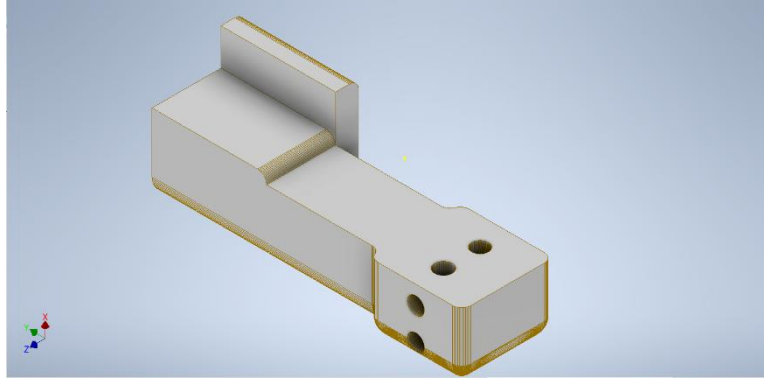


Gambar 3 - 10 Penggunaan *Height adjustment base* pada ragum untuk permesinan

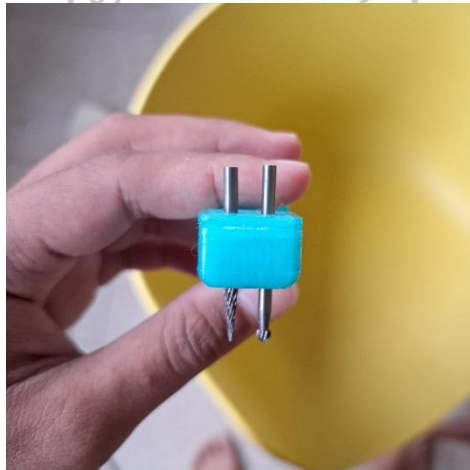
*Height adjustment base* adalah komponen bu dalam proses permesinan yang berfungsi untuk mengatur dan menyesuaikan ketinggian alat peraga agar tetap sejajar dan stabil selama proses pemotongan berlangsung. Alat ini untuk peletakkannya berada di bawah alat peraga dalam ragum/*vise* seperti terlihat pada gambar, untuk memastikan posisi alat peraga sejajar terhadap alat potong dan ditampilkan pada gambar 3-9 dan 3-10.

Dengan menggunakan alat ini, benda kerja yang memiliki ketebalan yang tidak rata dapat diposisikan secara presisi, sehingga hasil permesinan majadi lebih akurat dan meminimalkan risiko mengalami pergeseran selama proses kerja.

### 3.5.3 Pengunci pengganti Mata Pahat



Gambar 3 - 11 Perancangan model CAD untuk pengatur ketinggian mata pahat

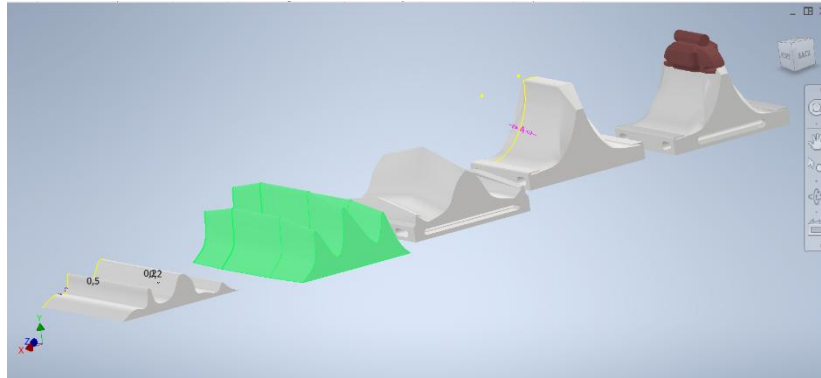


Gambar 3 - 12 Cara penggunaan pengaturan mata pahat untuk permesinan

Pengatur ketinggian mata pahat pada mesin *milling* digunakan untuk menyamakan tinggi ujung pahat agar proses pemotongan berjalan presisi, terutama ketika menggunakan mata pahat agar proses pemotongan sama dengan sebelumnya ketika menggunakan dua mata pahat yang berbeda secara bergantian dari proses permesinan sebelumnya. Untuk pemasangannya, masukkan kedua pahat ke dalam dudukan yang tersedia, lalu gunakan “kunci 12 dan 14” untuk mengencangkan baut penjepit hingga pahat terkunci kuat dan tidak bergerak. Saat ingin menukar salah satu pahat, cukup lepas mata pahat lalu pasang ke alat bantu

dengan kunci L ukuran 3 mm untuk pengencangannya. Proses ini memungkinkan penyesuaian ketinggian secara praktis dan ditampilkan pada gambar 3-12.

### 3.5.4 Kontur Amplas



Gambar 3 - 13 Proses perancangan model kontur amplas secara bertahap dimulai dari kiri ke kanan



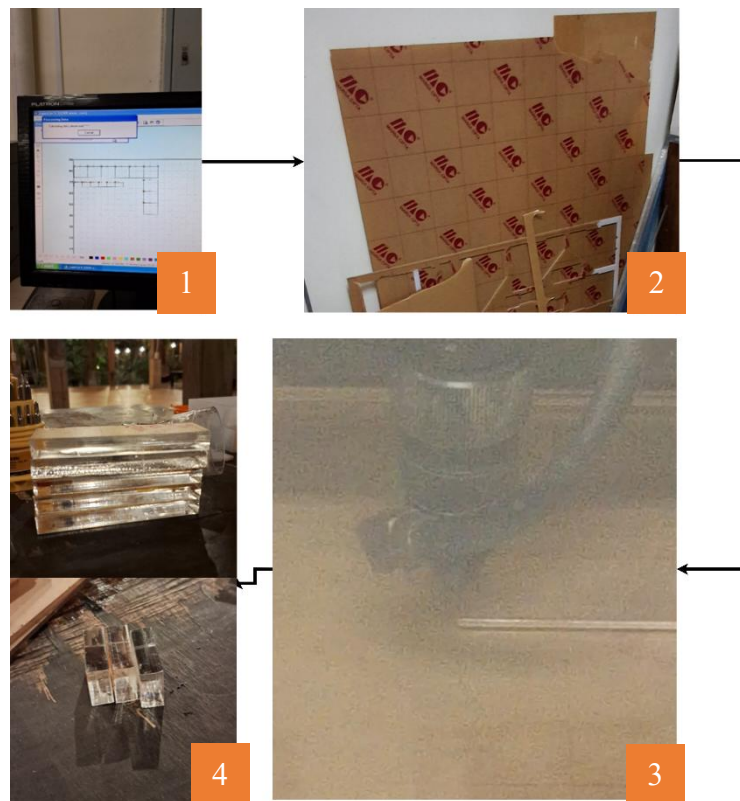
Gambar 3 - 14 Hasil pembuatan kontur amplas dengan 3D print

Proses perancangan model kontur amplas ini dimulai dengan membuat sketsa profil lengkung sesuai bentuk permukaan alat peraga yang akan diampas, dalam hal ini pada bagian tengah alat peraga yang memiliki kelengkungan permukaan yang tajam, kemudian dikembangkan menjadi model 3D menggunakan fitur *sweep* atau *loft* untuk menghasilkan bentuk kontur yang ergonomis terhadap alat peraga. Dimensi dasar model ini adalah panjang dan lebar adalah 95 mm agar pas dengan ukuran standar dudukan mesin. Setelah kontur terbentuk, bagian

bawah model dirancang rata dapat “diletakkan dan terpasang dengan stabil pada mesin amplas”, memastikan posisi amplas tetap presisi saat digunakan. Selanjutnya, ditambahkan lubang di kedua sisi kontur agar dapat terpasang dengan kuat dengan bantuan kawat sebagai pengencang.

### 3.6 Pembuatan Purwarupa

#### 3.6.1 Pemotongan Material Purwarupa



Gambar 3 - 15 Proses penggunaan mesin laser cutting

Hal yang perlu dilakukan pada tahapan ini yaitu, melakukan pemotongan bahan akrilik dengan mesin *laser cutting* dengan parameter yang dibutuhkan terdiri dari power satuan persen (%) dan speed dengan satuan mm/s. dari masing ketebalan berdasarkan beberapa kali percobaan didapat satuan yang dibutuhkan untuk **power adalah 100%** dan **speed sebesar 2.96 mm/s**, dan mengapa dilakukan beberapa kali percobaan sebab, pengalaman percobaan jika kecepatan terlalu cepat maka akrilik tidak dapat memotong dengan tajam namun, ketika terlalu lambat

akrilik menjadi cepat cair dan hasil pemotongan bisa menjadi miring dan permukaan tidak rapi seperti gambar 3-15.

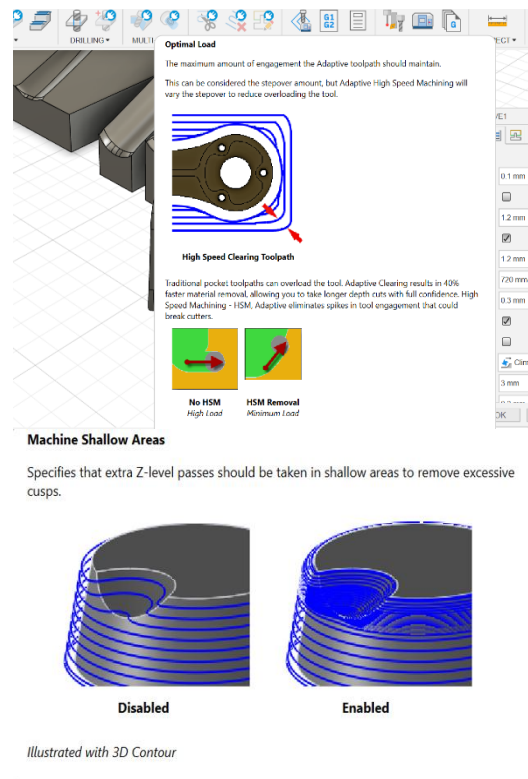
### 3.6.2 Proses Permesinan CNC *Milling 3-Axis*

Untuk proses ini, dilakukan permesinan untuk tahap awal, dilakukan pembuatan strategi permesinan sebanyak 2 model 3D menggunakan aplikasi *fusion 360*, dengan pemakaian strategi menggunakan beberapa jenis yang dipisahkan antara 2D dan 3D. pada penerapan strateginya, digunakan beberapa jenis terdiri dari:

1. *2D Contour*, merupakan jenis permesinan yang digunakan untuk memotong permukaan datar pada bagian kerja tanpa gerakan vertikal. Alat ini memotong mengikuti jalur yang telah ditentukan pada bidang *xy*.
2. *Parallel*, salah satu permesinan yang dapat digunakan untuk semi-finishing dan finishing. jalur ini membuat potongan dengan baris yang berjarak sama dikenal sebagai potongan “lace” yang berarti, potongan-potongan ini sejajar pada bidang *xy* dan mengikuti permukaan pada arah *z*.
3. *Adaptive*, merupakan metode yang umumnya dilakukan pada proses awal (*roughing*) model 3D. Strategi ini sangat efektif untuk model 3D dengan pemakanan yang lembut sehingga meminimalkan perubahan arah mendadak dan mata pahat tetap awet.
4. *Pocket*, strategi permesinan yang digunakan untuk mengosongkan area dalam pada suatu permukaan benda kerja secara bertahap pada satu level ketinggian sumbu *z*, dengan jalur potong mengikuti bentuk kontur batas desain, baik berbentuk persegi, lingkaran, maupun bentuk bebas.

Pada strategi tambahan, terdapat strategi tambahan yang bernama “*machine shallow area*” yang difungsikan dalam hal ini untuk melakukan pemotongan secara rinci dengan memperapat jarak *stepdown* di area yang sempit sehingga hasil menjadi lebih detil dan menambahkan strategi “*optimal load*” yang dikhususkan pada strategi permesinan *Adaptive* yang bertujuan agar beban potong

tetap konstan, optimal, dan alat potong tidak terbebani berlebih yang membuat mata pahat mudah patah.



Gambar 3 - 16 Strategi tambahan pada permesinan

Pada tahapan ini, dilakukan juga penempatan proses di awal karena kerumitan yang lebih banyak dibandingkan model 3D yang lain sehingga diharapkan ketika melakukan kesalahan menjadi lebih kecil dan menghemat bahan uji. Untuk permesinan terbagi terdiri dari 3 segmen yaitu atas tengah dan bawah. Untuk spindle, besar RPM yang dibutuhkan untuk akrilik adalah sebesar 24000 RPM (Setiawan et al., 2013).

Namun pada pemesinan CNC besaran kecepatan yang tertera adalah 400 Hz, sehingga diperlukan kalibrasi ulang apakah putaran spindle mencukupi untuk memenuhi syarat pemotongan akrilik dengan menggunakan referensi ISO 80000 – 3: 2019, yang berisi:

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ siklus (detik}^{-1}\text{)}$$

$$1 \text{ menit} = 60 \text{ detik}$$

Maka,

$$RPM = \text{Frekuensi (Hz)} \times 60$$

$$RPM = 400 \text{ (Hz)} \times 60$$

$$RPM = 24000$$

Sehingga cukup memasukkan besaran nilai putaran spindel ke dalam permesinan *fusion 360*. Pada proses permesinan, terdapat beberapa parameter dalam persiapan dan pengoperasiannya, adapun tahapannya yaitu:

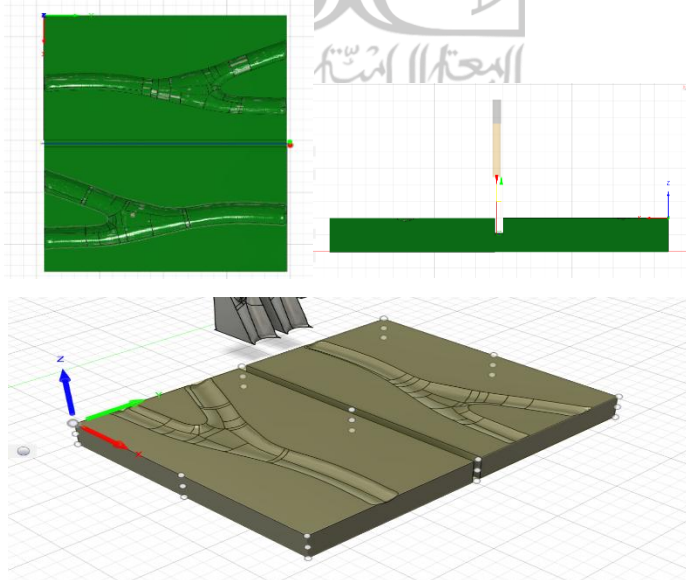
1. Pemotongan akrilik sebagai bahan alat peraga dengan *laser cutting*.
2. Pemasangan *Height adjustment base* dan alat peraga ke dalam ragum.
3. Pemasangan mata pahat dengan *collet* lalu kencangkan ke spindel.
4. Pengaturan titik tumpuan permesinan berdasarkan hasil perancangan strategi permesinan.
5. Nyalakan mesin CNC milling dengan menyalakan komputer dan melepaskan tombol "*emergancy*" dan menghidupkan motor spindel.
6. Membuka aplikasi mach3mill.
7. Memasukkan G-code ke aplikasi dengan klik "load G-code" dan mengatur tingkat kecepatan.
8. Memulai permesinan dengan klik tombol "*reset*" lalu klik tombol "*recyle start*".
9. Menunggu dan mengamati proses permesinan dengan menambahkan "*cool-ant*" sebagai pendingin mata pahat.

Untuk parameter tiap segmen dihasilkan tahapan sebagai berikut dimulai strategi permesinan PAD lalu strateg permesinan perifer arteri normal:

Tabel 3 - 2 Tahapan strategi permesinan peripheral artery disease segmen atas dan bawah

Parameter	<i>Finishing 1</i>	<i>Finishing 2</i>
Mata Pahat	<i>Tapper bull nose 0.5</i>	<i>Flat end mill</i>
Strategi	<i>Parallel</i>	<i>2D Contour</i>
<i>Step Over</i>	0.14 mm	-
<i>Step Down</i>	1 mm	4 mm
<i>Feedrate</i>	1000 mm/min	1000 mm/min
<i>Spindel speed</i>	24000 RPM	24000 RPM
Toleransi	0.01 mm	0.01 mm
Waktu	00.38.17	00.00.50

Akrilik p\*l\*t = 123.114 mm \* 95.5 mm \* 8 mm.



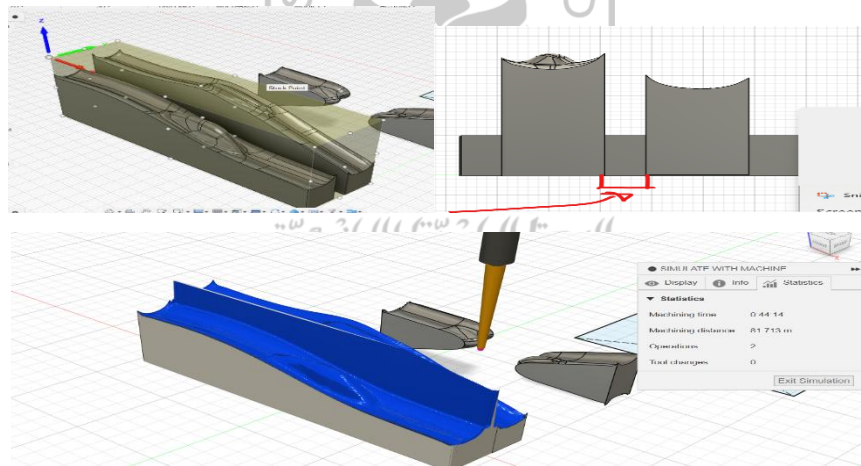
Gambar 3 - 17 Model strategi permesinan peripheral artery disease segmen atas dan bawah

Tabel 3 - 3 Tahapan strategi permesinan peripheral artery disease segmen tengah bagian terbesar

Parameter	<i>Finishing</i>
Mata Pahat	<i>Tapper ball nose 0.75</i>
Strategi	<i>Adaptive</i>
<i>Step Over</i>	0.1 mm
<i>Step Down</i>	3 mm
<i>Feedrate</i>	800 mm/min
<i>Spindel speed</i>	24000 RPM
Toleransi	0.01 mm
Waktu	00.44.14

Akrilik p\*l\*t = 95.5 mm \* 34 mm\* 10,5 mm

\* Sebelum memulai permesinan, pastikan beri akrilik tambahan di bagian Tengah setebal 4 mm.

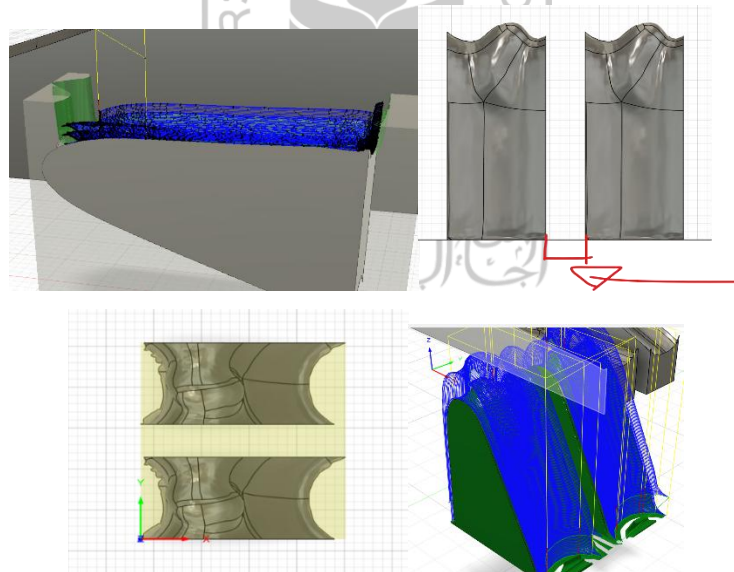


Gambar 3 - 18 perancangan strategi permesinan peripheral artery disease segmen tengah bagian terbesar

Tabel 3 - 4 Tahapan strategi permesinan peripheral artery disease segmen tengah bagian terkecil

Parameter	<i>Roughing</i>	<i>Finishing 1</i>	<i>Finishing 2</i>
Mata Pahat	<i>Tapper ball nosen 0.5</i>	<i>Tapper bull nose 0.25</i>	<i>Tapper bull nose 0.5</i>
Strategi	<i>Pocket</i>	<i>Parallel</i>	<i>Parallel</i>
<i>Step Over</i>	1 mm	0.1 mm	0.1 mm
<i>Step Down</i>	2 mm	1 mm	1 mm
<i>Feedrate</i>	900 mm/min	900 mm/min	1000 mm/min
<i>Spindel speed</i>	24000 RPM	24000 RPM	24000 RPM
Toleransi	0.1 mm	0.1 mm	0.1 mm
Waktu	00.11.25	00.21.09	00.05.06
Shallow speed down	0.2 mm		-

Akrilik p\*l\*t = 25 mm \* 34 mm\* 10,5 mm



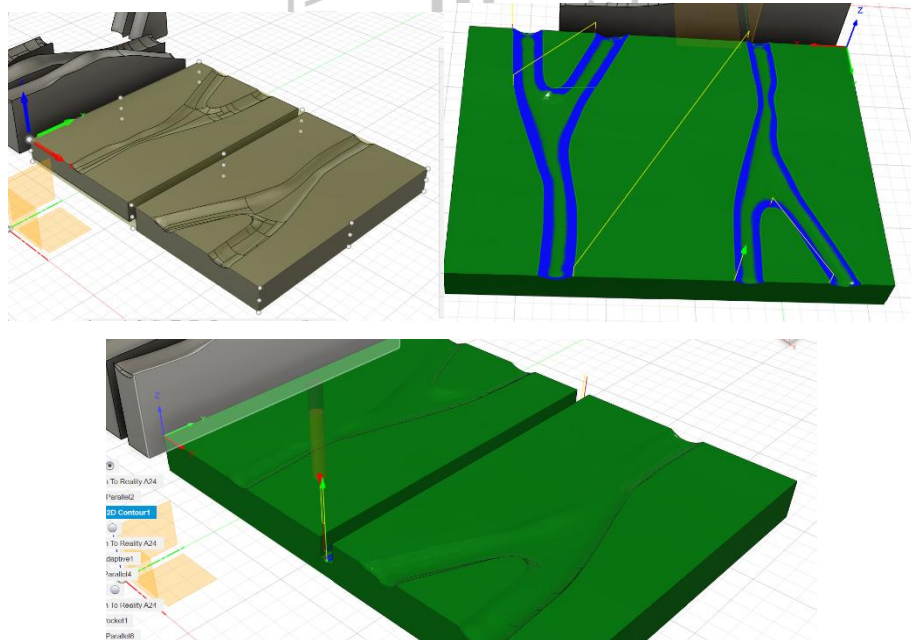
Gambar 3 - 19 Proses strategi permesinan peripheral artery disease segmen tengah bagian terkecil

Tabel 3 - 5 Parameter strategi permesinan segmen atas dan bawah perifer arteri normal

Parameter	<i>Finishing 1</i>	<i>Finishing 2</i>
Mata Pahat	<i>Tapper bull nose 0.5</i>	<i>Flat end mill</i>
Strategi	<i>Parallel</i>	<i>2D Contour</i>
Step Over	0.1 mm	-
Step Down	1 mm	3 mm
Feedrate	1000 mm/min	1000 mm/min
Spindel speed	24000 RPM	24000 RPM
Toleransi	0.1 mm	0.1 mm
Waktu	00.19.52	00.01.59

Dimensi material Akrilik p\*l\*t = 123.114 mm \* 95.5 mm \* 8 mm.

\* Sebelum memulai permesinan, pastikan beri akrilik tambahan di bagian Tengah setebal 4 mm.



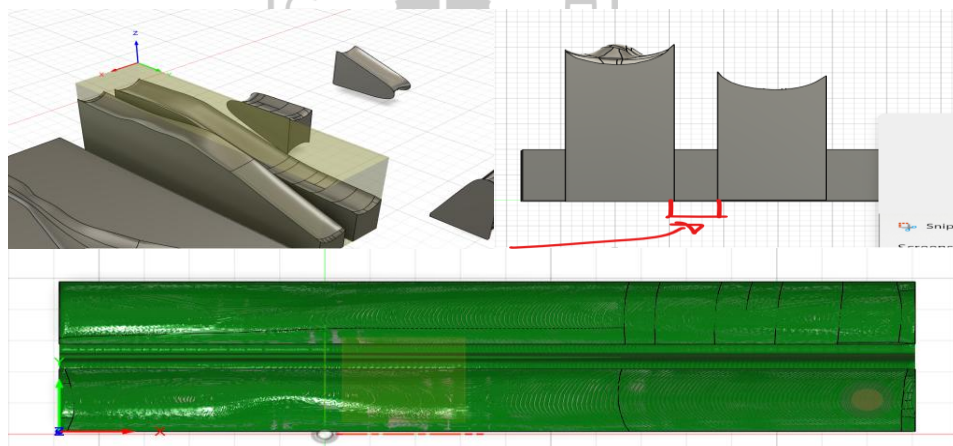
Gambar 3 - 20 Model strategi permesinan segmen atas dan bawah perifer arteri normal.

Tabel 3 - 6 Parameter strategi permesinan segmen atas dan bawah perifer arteri normal.

Parameter	<i>Roughing</i>
Mata Pahat	<i>Tapper ball nose 0.75</i>
Strategi	<i>Adaptive</i>
<i>Step Over/Optimal Load</i>	1.2 mm
<i>Step Down</i>	3 mm
<i>Feedrate</i>	800 mm/min
<i>Spindel speed</i>	24000 RPM
Toleransi	0.1 mm
Waktu	00.49.42

Akrilik p\*l\*t = 95.5 mm \* 34 mm\* 10,5 mm

\* Sebelum memulai permesinan, pastikan berikan akrilik tambahan di bagian Tengah setebal 4 mm.



Gambar 3 - 21 Model strategi permesinan segmen tengah terbesar perifer arteri normal

Tabel 3 - 7 Parameter strategi permesinan segmen tengah tekecil perifer arteri normal

Parameter	<i>Roughing</i>	<i>Finishing 1</i>	<i>Finishing 2</i>
Mata Pahat	<i>Ball end mill 0.5</i>	<i>Tapper bull nose 0.25</i>	<i>Tapper bull nose 0.25</i>
Strategi	<i>Pocket</i>	<i>Parallel</i>	<i>Parallel</i>
<i>Step Over</i>	1 mm	0.2 mm	0.15 mm
<i>Step Down</i>	3 mm	0.25 mm	0.75 mm
<i>Feedrate</i>	900 mm/min	900 mm/min	900 mm/min
<i>Spindel speed</i>	24000 RPM	24000 RPM	24000 RPM
Toleransi	0.1 mm	0.1 mm	0.1 mm
Waktu	00.31.35	00.14.29	00.02.35
Shallow speed down	0.2 mm	0.01 mm	0.01 mm

Akrilik p\*1\*t = 25 mm \* 10.5 mm\* 95.5 mm.

\* Sebelum memulai permesinan, pastikan beri akrilik tambahan di bagian Tengah setebal 4 mm.

### 3.6.3 Proses Pengamplasan, Pemolesan dan Perekatan

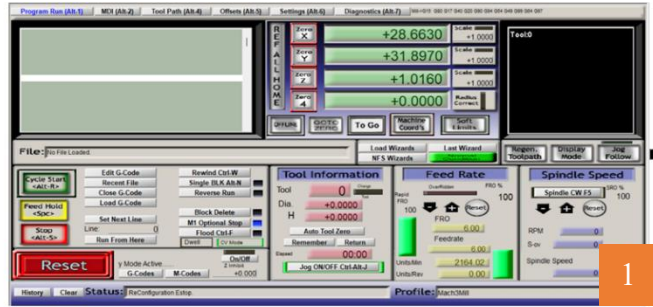
Berikut beberapa cara untuk melakukan proses *finishing* pada purwarupa seperti:

1. Pengamplasan untuk bahan ini, digunakan grit dari 800 hingga 5000, dengan pemberian air sabun sebagai pembersih sisa debu yang menempel.
2. Untuk part yang memiliki bagian lebar, melakukan mengamplas dengan permukaan datar dibantu dengan mesin amplas agar mempercepat proses namun hasil rapi dan rata.
3. Pada bagian yang memiliki permukaan yang memiliki cekungan yang dalam, menggunakan kontur amplas untuk mempermudah pengerjaan dibantu mesin amplas sebagai alat bantu.
4. Setelah selesainya semua penggunaan grit tiap amplas, alat peraga kemudian diberikan pasta poles untuk memperhalus permukaan hasil

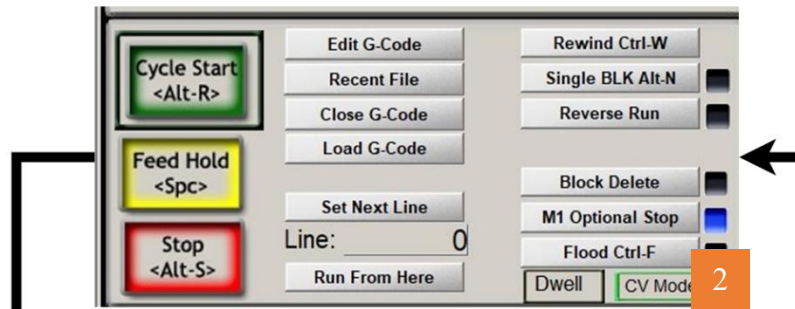
amplas dan memperbaiki hasil potongan yang dihasilkan sehingga alat peraga dari akrilik menjadi transparan.

5. Dari sini, dilakukan perekatan dengan lem UV, dengan penggunaan sentar UV sebagai katalis perekatan dua benda, serta dengan bantuan sinar matahari sebagai metode alternatif perekatan jika proses belum menampakkan hasil.
6. Uji tingkat rekatan dengan memberikan alat peraga dengan air yang mengalir untuk memastikan rekatan menempel tanpa rongga.
7. Uji transparan alat peraga dengan memberikan sinar laser untuk memastikan transparan yang dapat tertembus oleh sinar laser.

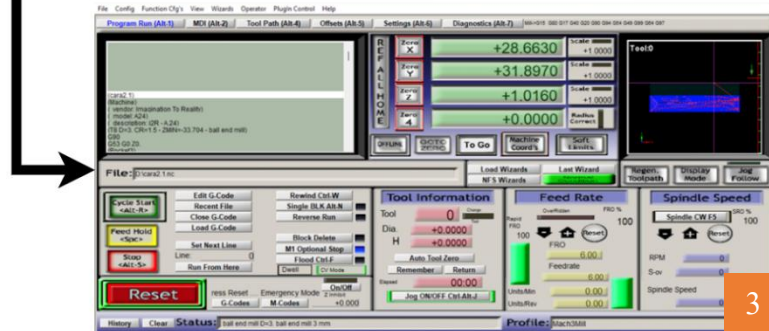




Tampilan pada aplikasi mach3mill



Pengaturan pengoprasian G-code pada mach3mill



G-code sudah terbaca dan program dapat dijalankan

Gambar 3 - 22 Proses pengoprasian program pada aplikasi mach3mill

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penggunaan Alat Bantu Perancangan

##### 4.1.1 *Jig*

Tahapan awal yang dilakukan untuk penggunaan alat ini yaitu mengamplas alas akrilik dengan grit 150 agar permukaan datar dan mampu menentukan titik origin permesinan berdasarkan hasil perancangan strategi permesinan seperti ditunjukkan pada gambar 4-1.



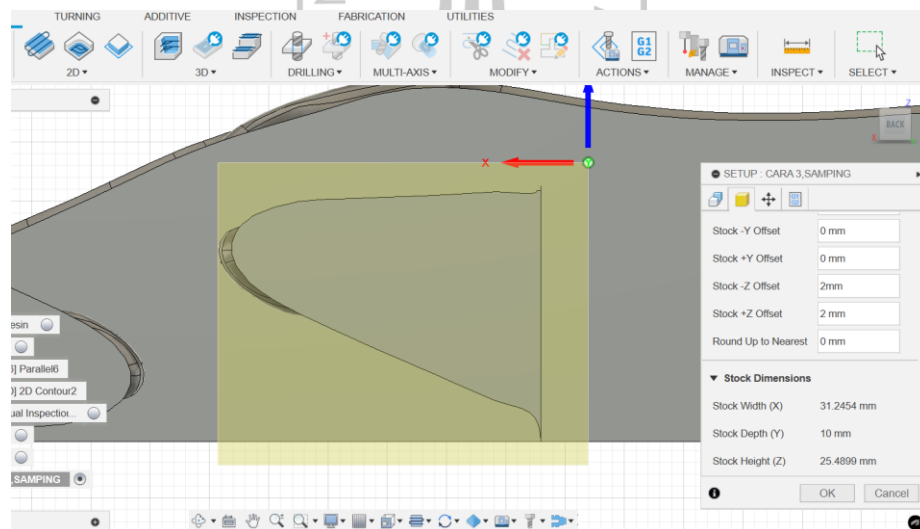
Gambar 4 - 1 Proses perataan permukaan akrilik dengan melakukan pengamplasan bertekstur grit 150

Pada penggunaan *Jig* terdapat beberapa kendala dalam penggunaannya, seperti Pada desain awal dibuat dimensi *Jig* 10 mm agar menyesuaikan dengan ketebalan bahan akrilik, namun dalam peraktiknya benda kerja tidak terkunci dengan kuat sebab dorongan dari arah gerak spindel, membuat pemakanan menjadi terhambat sehingga harus memperlambat kecepatan arah gerak spindel agar proses berjalan dengan lancar.



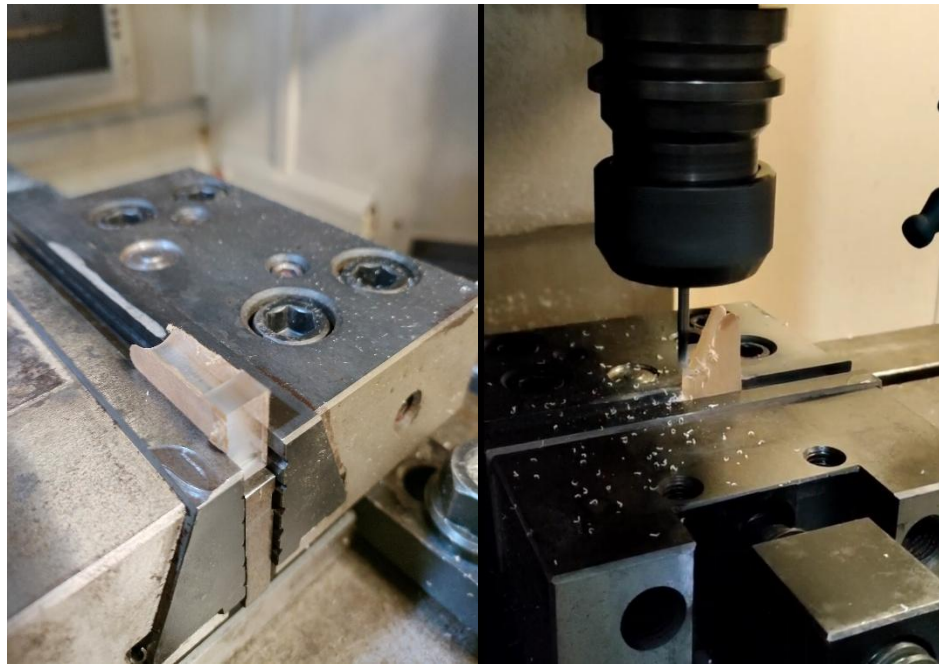
Gambar 4 - 2 Penarikan mata pahat dari *Jig* sebab tergesernya benda kerja

Dengan kondisi demikian, dibuat desain *Jig* lebih lebar agar sebagai penopang benda kerja dapat mencengkram dengan kuat terutama bisa menahan gerakan arah spindel yang cepat namun berdasarkan pengamatan, kesalahan tetap terlihat dan desain ini tidak teruji keunggulannya dan mengharuskan untuk menurunkan kecepatan *feedrate* pada aplikasi mach3mill membuat permesinan tidak efektif dalam pengerjaannya.



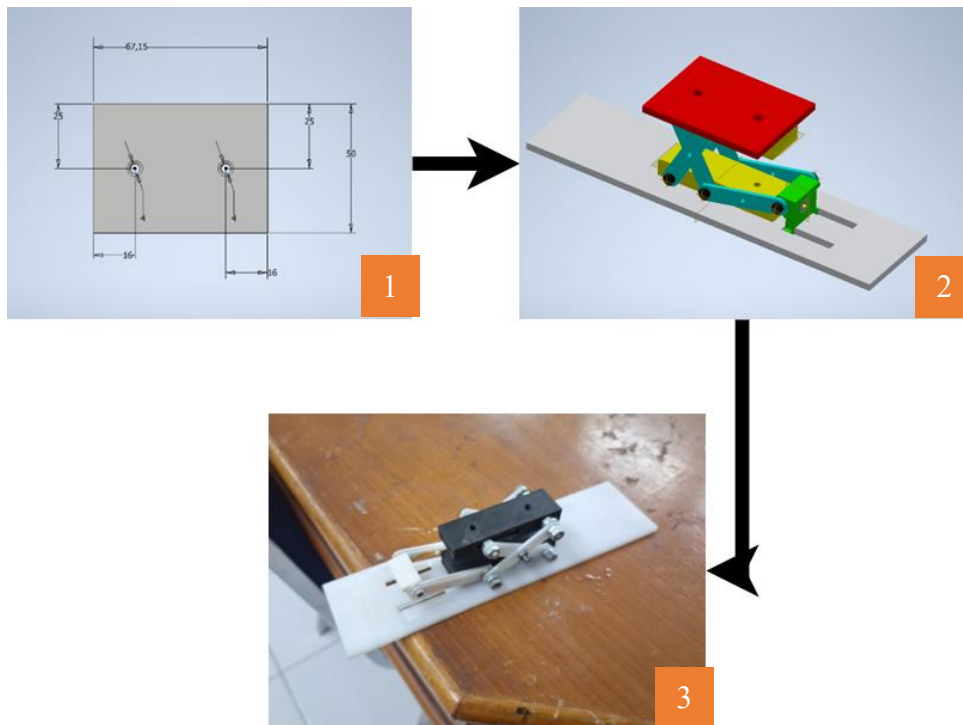
Gambar 4 - 3 Perubahan ulang desain titik origin pada strategi permesinan dan penempatan *Jig*

Sebagai gantinya, dilakukan desain ulang strategi permesinan dengan mengubah penentuan titik origin dengan menyisakan bagian akrilik yang timbul, sebagai tumpuan untuk permesinan ketika disimulasikan di mesin CNC 3-Axis agar setiap pergantian jenis G-code yang berbeda. Untuk mesin yang digunakan pada proses ini adalah merek “Tacamaz GSL 15” dan diharapkan hasil tetap sesuai dengan strategi permesinan yang sudah direncanakan serta ketika hasil permesinan sudah selesai, *Jig* dihilangkan dengan memotong menggunakan mata pahat *flat endmill*



Gambar 4 - 4 Proses permesinan pada akrilik disertai *Jig*

#### 4.1.2 Height adjustment base



Gambar 4 - 5 Perancangan awal *Height adjustment base*

Di awal pembuatannya, dilakukan pembuatan dimensi bidang pada alat ini cukup lebar sekitar 67.15 x 50 mm namun terdapat kesulitan dalam membuat *part* yang lebih tipis atau kurang dari 50 mm serta kelemahan ragum pada mesin CNC 3-*Axis* yang tingkat akurasi yang rendah sehingga kurang cocok untuk pekerjaan presisi tinggi. Ragum ini pada dasarnya tidak dirancang khusus untuk kebutuhan CNC, sehingga dapat menyebabkan deviasi atau pergeseran posisi benda kerja, sulit disesuaikan dengan cepat, dan berpotensi menimbulkan getaran jika pemasangan tidak kaku. Selain itu, proses penjepitan manual membuatnya kurang efisien untuk



Gambar 4 - 6 Hasil dan penerapan *Height adjustment base* produksi massal atau pekerjaan yang membutuhkan peggulangan tinggi. Dari pernyataan ini, memodifikasi dilakukan pada beberapa pengukuran hingga menghasilkan bentuk *Height adjustment base* yang kompetibel seperti gambar di bawah dengan dimensi 72.15 x 20 mm.

Untuk penggunaan alat ini dengan cara menggunakan jangka sorong sebagai pengukur ketinggian yang diinginkan dan kunci L ukuran 3 mm sebagai pengencang baut agar posisi tidak berubah.

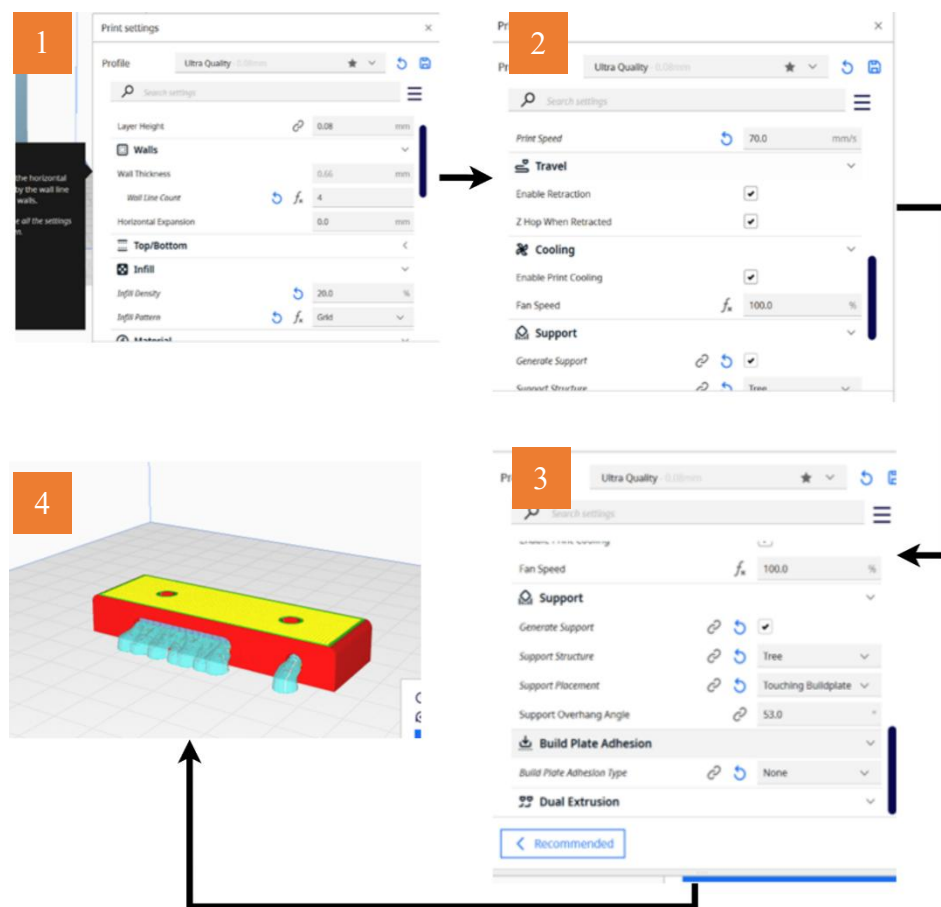


Gambar 4 - 7 Pengukuran ketinggian untuk penggunaan *Height adjustment base*

Untuk komposisi pembuatan alat ini dengan mesin 3D print begitupun untuk alat bantu yang lain menggunakan aplikasi *licer* “cura”, terdapat parameter yang diberikan adapun isinya sebagai berikut:

Tabel 4 - 1 Pengaturan percetakan dengan mesin 3D Printing

<i>Layer high</i>	0.08 mm
<i>Infill</i>	20 %
<i>Print &amp; Build plate (bed) temprature,</i>	218°C, 60 °C
<i>Print speed</i>	70 mm/s
<i>Retraction</i>	<i>Enable</i>
<i>Support</i>	<i>Tree, touching buildplane</i>

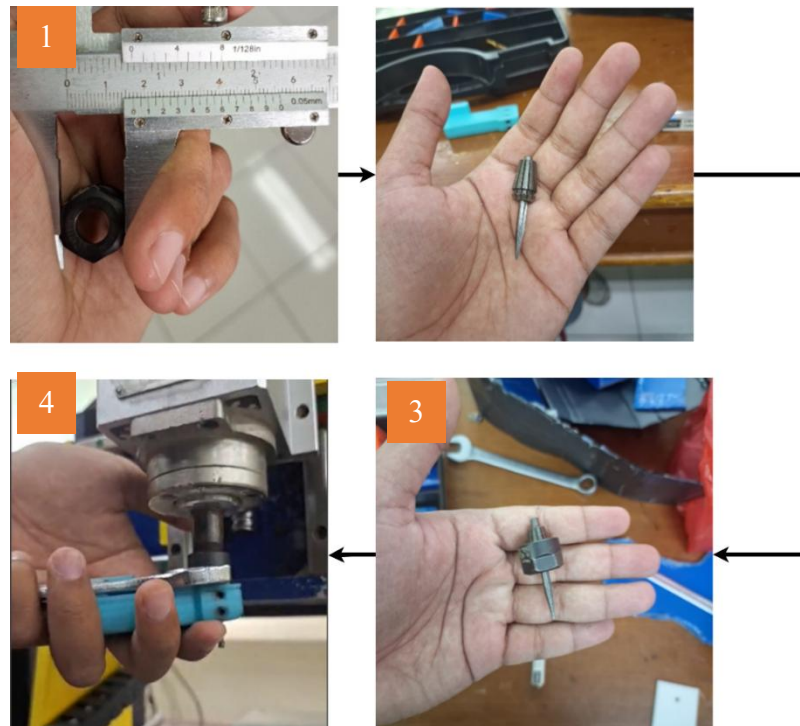


Gambar 4 - 8 Penggunaan slicer pada aplikasi cura

### 4.1.3 Pengunci penganti Mata Pahat



Gambar 4 - 9 Tampak penggunaan pengatur ketinggian



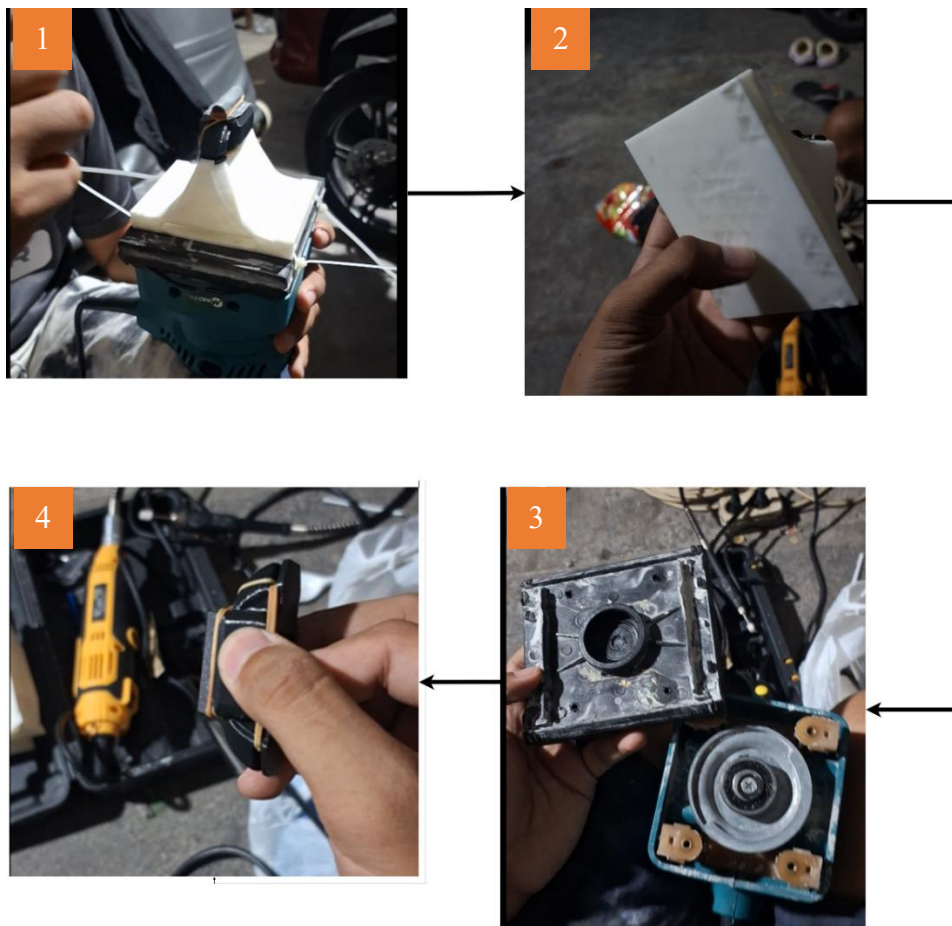
Gambar 4 - 10 Tahapan penggunaan alat pengatur ketinggian

Dalam penerapannya, alat ini mengalami kendala pada pemasangannya berupa pengaturan kekencangan baut, yang harus disesuaikan antara atas dan bawah dan tindakan ini memakan waktu yang lama sebab mata pahat yang tetap miring namun untuk pengaturan ketinggian alat ini cukup membantu serta tidak perlu memakai kertas penanda sebab penggunaannya yang singkat dan banyaknya mata pahat yang diganti cukup banyak. Untuk pemasangan dan pelepasan,

digunakan kunci pas ukuran 12 dan 14 dan alat ini ketika digunakan ditempel dengan kunci 14 agar pemasangan mata pahat lurus ketika mata pahat sudah dicengkram oleh *Collet*.

#### 4.1.4 Kontur Amplas

Perkiraan awal untuk penggunaan alat ini yaitu ketika proses pengamplasan, pengerjaan menjadi lebih cepat namun hasil tetap sama seperti pengerjaan tangan pada bagian yang memiliki sudut yang tajam seperti pada bagian tengah model 3D yang memiliki sudut sempit.

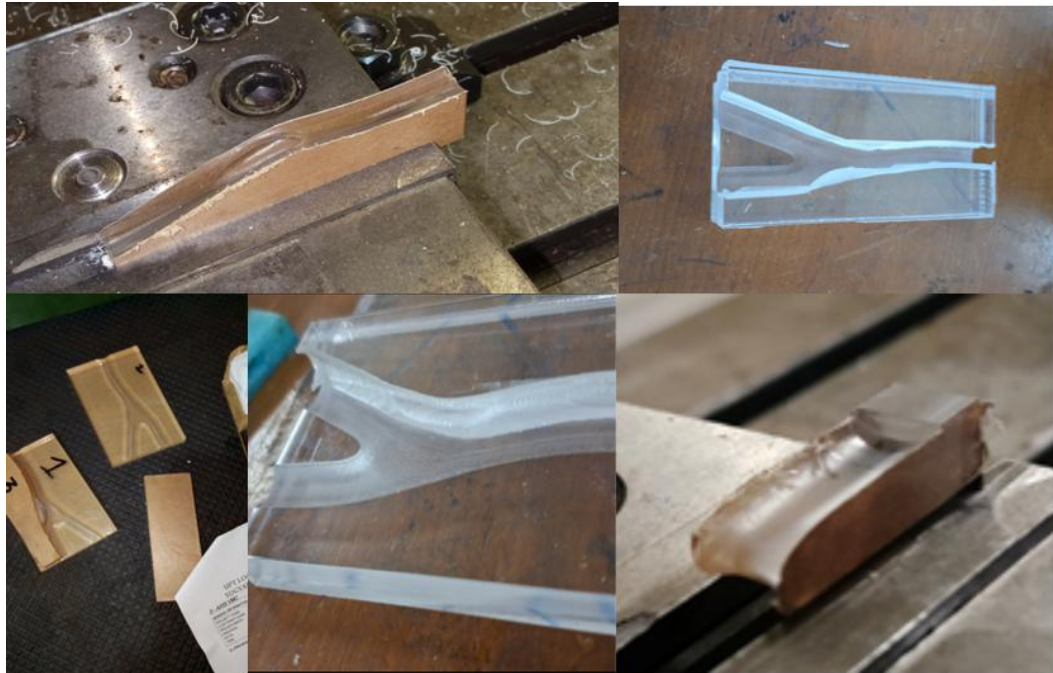


Gambar 4 - 11 Alur penggunaan kontur amplas

Namun pada penerapannya, mesin amplas yang digunakan ternyata memiliki gerakan yang memutar namun dengan jarak gerakan yang kecil dan cepat sehingga penerapan alat yang diperkirakan akan menghasilkan gerak maju mundur menjadi gagal dan diganti dengan metode manual sebagai gantinya.

## 4.2 Hasil Strategi Permesinan

Dari hasil permesinan dihasilkan permukaan yang sesuai CAD berdasarkan pengamatan visual, dan pengecekan kontur dengan manual dengan kondisi permukaan yang masih kasar dan buram, untuk hasilnya akan ditampilkan gambar dibawah ini dengan hasil dari beberapa percobaan permesinan seperti pada gambar 4-12:



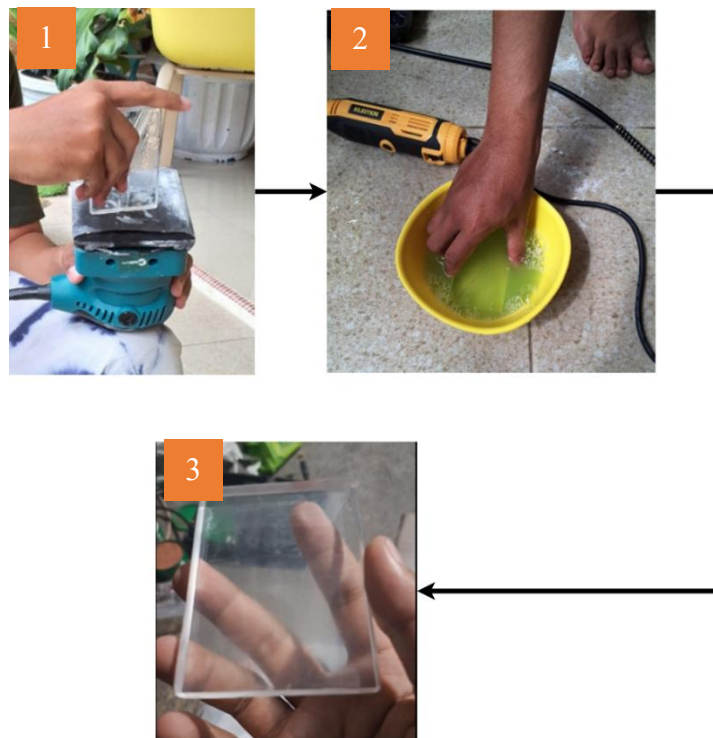
Gambar 4 - 12 Hasil permesinan CNC milling 3-Axis

## 4.3 Hasil Pembuatan Purwarupa

### 4.3.1 Pengamplasan

Pada pengamplasan seperti pada gambar 4-13, dilakukan dalam beberapa tahap dimulai dari grid kasar (grit 800) hingga halus (grit 5000), untuk grit kasar difokuskan pada bagian samping akrilik agar permukaan rata, sedangkan untuk grit besar, semua permukaan diampelas agar hasil menjadi halus dan setiap selesai mengamplas akrilik dibersihkan dengan sabun agar debu terlepas dari akrilik dan hasil pengamplasan menjadi maksimal. Untuk hasilnya terlihat permukaan yang

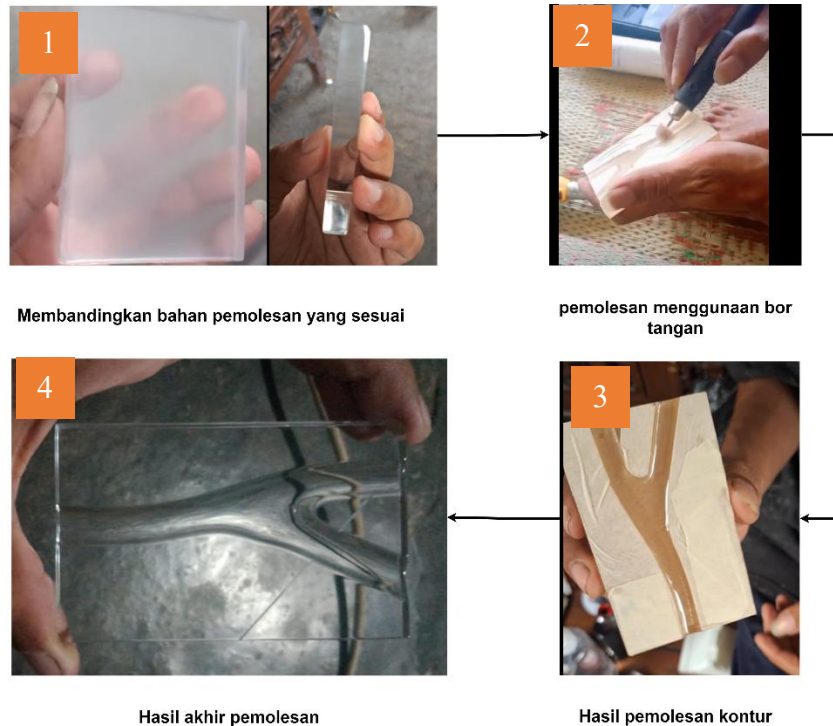
banyak baret sehingga perlu dihilangkan dengan melakukan pemolesan agar timbul buram dan baret dapat dihilangkan.



Gambar 4 - 13 Alur pengamplasan

#### 4.3.2 Pemolesan

Untuk pemolesan dilakukan beberapa cara yang terlihat pada gambar 4-14, yaitu dengan menggunakan turtle wax dan menzena HCC 400 dan 1000 yang tertera pada gambar 4-14. Untuk penggunaan turtle wax, penggunaan awal terlihat bening diawal namun sebab turtle wax memiliki minyak sebagai pemoles dan cepat hilang, menghasilkan permukaan yang tetap buram, beda halnya dengan menggunakan menzena HCC 400 dan 1000, hasil di akrilik terlihat bening dan sesuai dengan kriteria desain, terlihat telah hilang tampak buram pada akrilik dan baret akibat pengamplasan juga sudah berkurang.



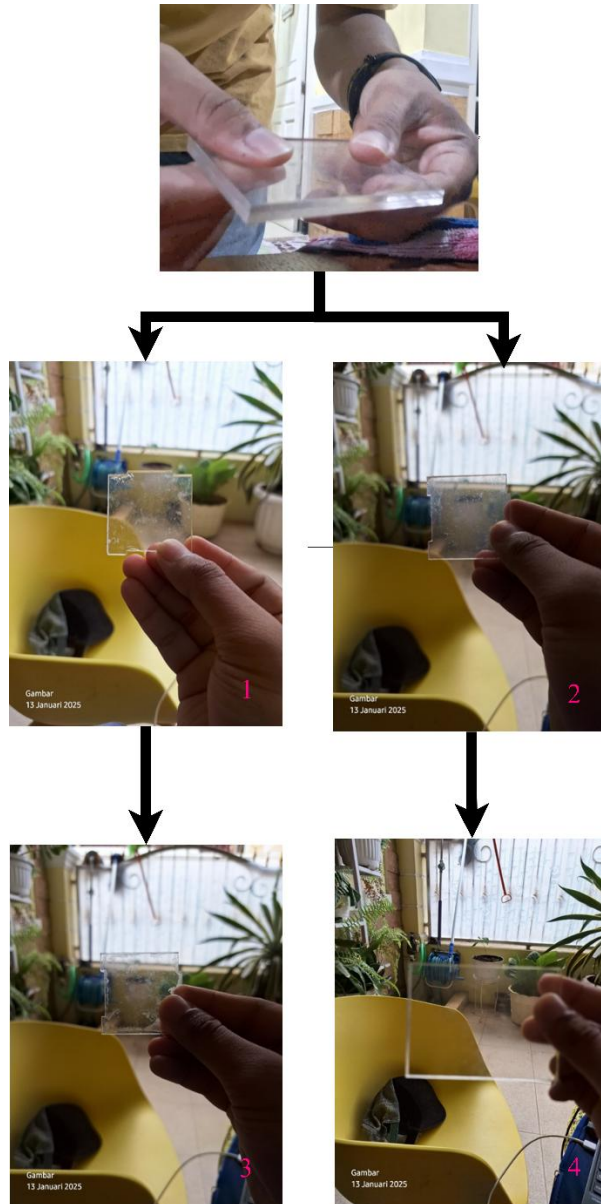
Gambar 4 - 14 Alur pemolesan

### 4.3.3 Perekatan

Pada perekatan, menggunakan senter dan lem UV bening dengan memberi lem pada titik tertentu pada bidang tiap segmen dan setelah selesai, akrilik direkatkan dengan ragum agar rekat dengan kuat dan presisi.

Pada pemilihan jenis perekat, dilakukan percobaan beberapa lem yang terbaik secara manual untuk digunakan dan dihasilkan tampak dalam 4 jenis, dimulai pada Angka pertama bahan yang digunakan adalah *double tipe* bening yang memiliki daya rekat yang instan namun, kekurangannya adalah ketebalan yang besar sekitar 5 mm, membuat jarak tiap segmen menjadi besar dan tidak mendekati dengan ukuran yang ada di desain perancangan CAD. Dari situ juga, lem ini dapat menyusut yang membuat perekatan tidak maksimal dan sewaktu-waktu bisa lepas.

Angka kedua menggunakan lem dengan bahan silikon bening, perkiraan awal sebab tahannya terhadap kebocoran air, dan bentuknya seperti pasta bisa dijadikan sebagai perekat untuk alat peraga namun yang terjadi adalah tampak visual yang buram sehingga tidak cocok terhadap kriteria desain.



Gambar 4 - 15 Proses pemilihan bahan perekat

Angka ketiga penggunaan lem untuk akrilik, pada awalnya dicoba untuk bidang kecil perkatan dapat dilakukan dengan sempurna dan tanpa gelembung, namun ketika diberi pada bidang yang lebih luas, permukaan memiliki tampak seperti retak dan karena kelebihan yang cepat kering, membuat pengerjaan menghilangkan gelembung dengan cara didorong menjadi sulit sehingga tampak menjadi kotor dan tidak merata perekatannya.



Gambar 4 - 16 Proses perekatan dengan lem



Gambar 4 - 17 Hasil perekatan tiap segmen antara PAD dan perifer arteri normal

Angka terakhir, menggunakan lem merek “super glue 116” yang bisa keras dengan menggunakan sinar UV, dari sini terlihat bahwa tampak visual dapat dihasilkan secara transparan tanpa menghilangkan gelembung. Ini disebabkan karena ketika melakukan perekatan lem, bisa mengarahkan gelembung agar keluar dari sambungan dan ketika sudah siap cukup dikeraskan dengan senter UV sekitar 5 menit dan diberi ragam agar perekatan kuat, hasil sudah siap dan tersambung dengan sempurna. Proses perekatan dengan lem.

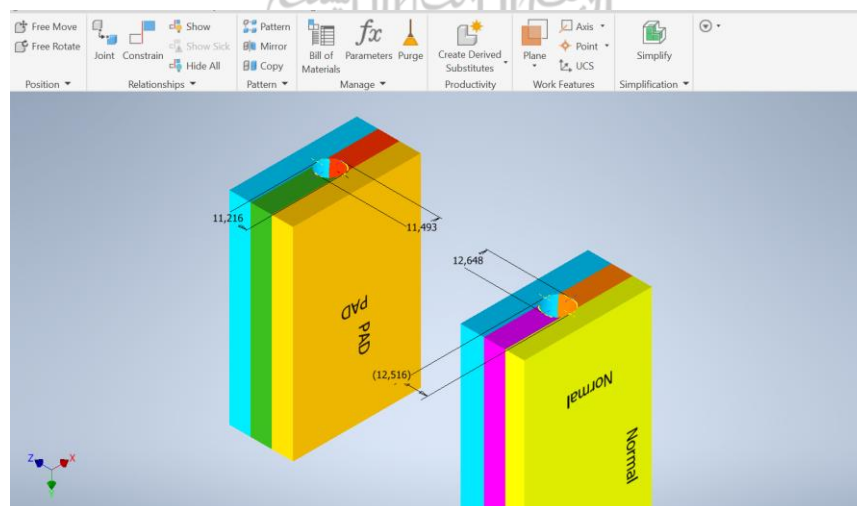
## 4.4 Pengujian Purwarupa

### 4.4.1 Pengukuran Perbandingan Geometri

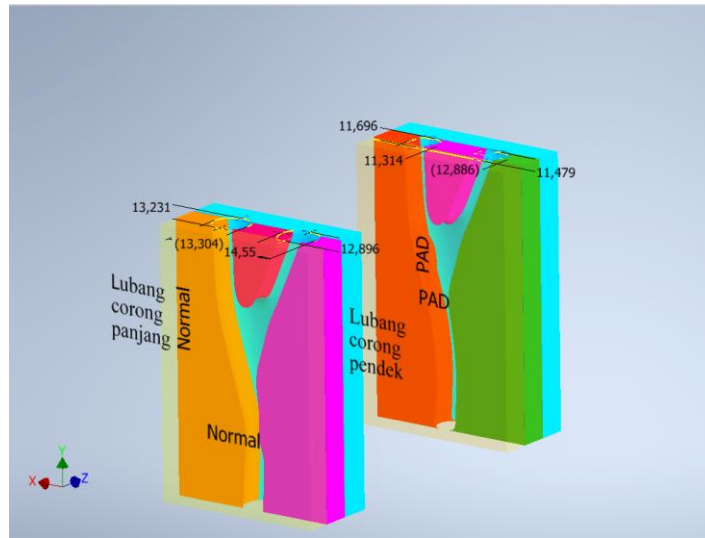
Pada pengujian ini, alasan dilakukan perbandingan antara ukuran diameter pada gambar CAD dengan hasil pengukuran langsung dilakukan untuk memastikan bahwa proses fabrikasi telah sesuai dengan rancangan awal. Hal ini penting untuk mengevaluasi tingkat akurasi permesinan serta mendeteksi adanya penyimpangan dimensi akibat proses permesinan, atau kesalahan dalam proses manufaktur.

Dengan membandingkan kedua data ini, dapat diperoleh validasi apakah prototipe yang dihasilkan benar-benar merepresentasikan desain yang telah direncanakan serta sebagai data untuk melakukan pengujian dengan metode lain salah satunya metode *particle image visual* atau *computing fluid dynamic*. Gambar model CAD menunjukkan dua model model saluran arteri, yaitu model perifer arteri normal dan PAD, yang diletakkan berdampingan pada bidang x-z dengan *inlet* atau masukkan fluida berada pada lubang bawah sedangkan *outlet* atau keluaran berada pada lubang atas.

Dalam orientasi ini, arah “membujur” ditunjukkan oleh sumbu z (atas ke bawah), sedangkan arah “melintang” sejajar dengan sumbu x (kiri ke kanan). Adapun hasil pengukuran CAD ditampilkan dalam gambar 4-18 dan 4-19:



Gambar 4 - 18 Pengukuran dimensi lubang bawah PAD dan perifer arteri normal dengan CAD



Gambar 4 - 19 Pengukuran dimensi lubang atas PAD dan perifer arteri normal dengan CAD

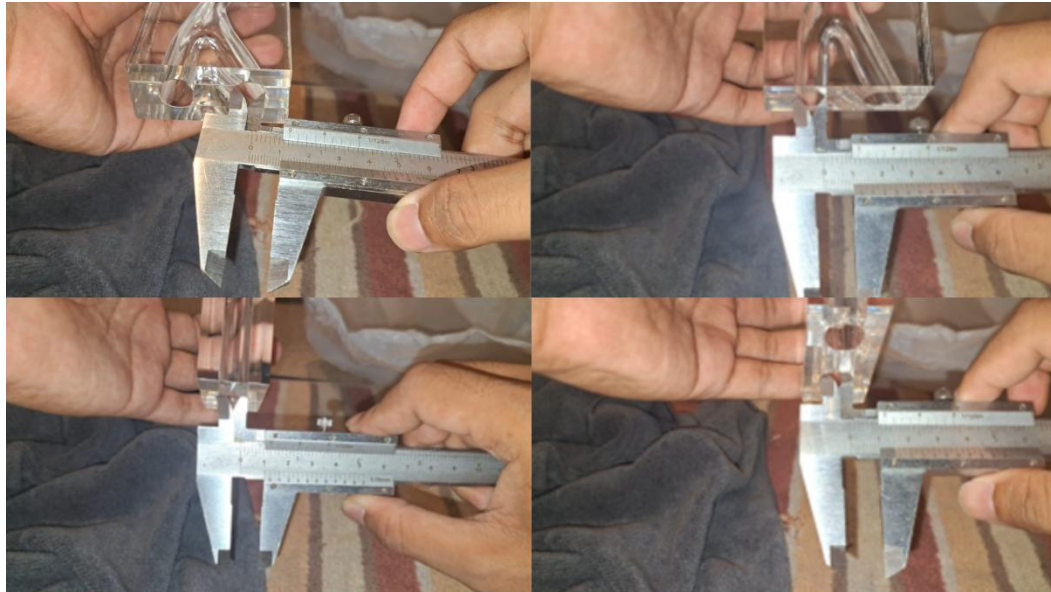
Hasil pengukuran langsung menggunakan jangka sorong secara menyilang dan pengukuran CAD ditunjukkan dalam bentuk tabel dan pada bagian dua lubang terdiri dari lubang corong pendek dan lubang corong panjang, sebagai berikut:

Tabel 4 - 2 Hasil pengukuran antara CAD dan manual

Bagian		PAD		P. A. NORMAL	
		Membujur	Melintang	Membujur	Melintang
Lubang bawah	CAD	11.21 mm	11.49 mm	12.51 mm	12.64 mm
	MANUAL	12.60 mm	13.10 mm	11.95 mm	13.15 mm
Lubang corong panjang	CAD	11.69 mm	11.31 mm	13.23 mm	13.30 mm
	MANUAL	12.45 mm	12.45 mm	12.90 mm	12.65 mm
Lubang corong pendek	CAD	12.89 mm	14.55 mm	11.47 mm	12.88 mm
	MANUAL	12.95 mm	13.00 mm	11.95 mm	13.45 mm

Tabel 4 - 3 Hasil perhitungan akurasi

Jenis	Orientasi	Bagian	CAD (mm)	Manual (mm)	Akurasi (%)
P. A. NOR- MAL	Melintang	Lubang bawah	12,64	13,15	<b>96%</b>
P. A. NOR- MAL	Melintang	Lubang corong panjang	13,3	12,65	<b>95.11%</b>
P. A. NOR- MAL	Melintang	Lubang corong pendek	12,88	13,45	<b>95.76%</b>
P. A. NOR- MAL	Membu- jur	Lubang bawah	12,51	11,95	<b>95.52%</b>
P. A. NOR- MAL	Membu- jur	Lubang corong panjang	13,23	12,9	<b>97.51%</b>
P. A. NOR- MAL	Membu- jur	Lubang corong pendek	11,47	11,95	<b>95.98%</b>
PAD	Melintang	Lubang bawah	11,49	13,1	<b>87.71%</b>
PAD	Melintang	Lubang corong panjang	11,31	12,45	<b>90.84%</b>
PAD	Melintang	Lubang corong pendek	14,55	13	<b>89.35%</b>
PAD	Membu- jur	Lubang bawah	11,21	12,6	<b>88.97%</b>
PAD	Membu- jur	Lubang corong panjang	11,69	12,45	<b>93.90%</b>
PAD	Membu- jur	Lubang corong pendek	12,89	12,95	<b>99.54%</b>



Gambar 4 - 20 Pengukuran purwarupa dengan jangka sorong

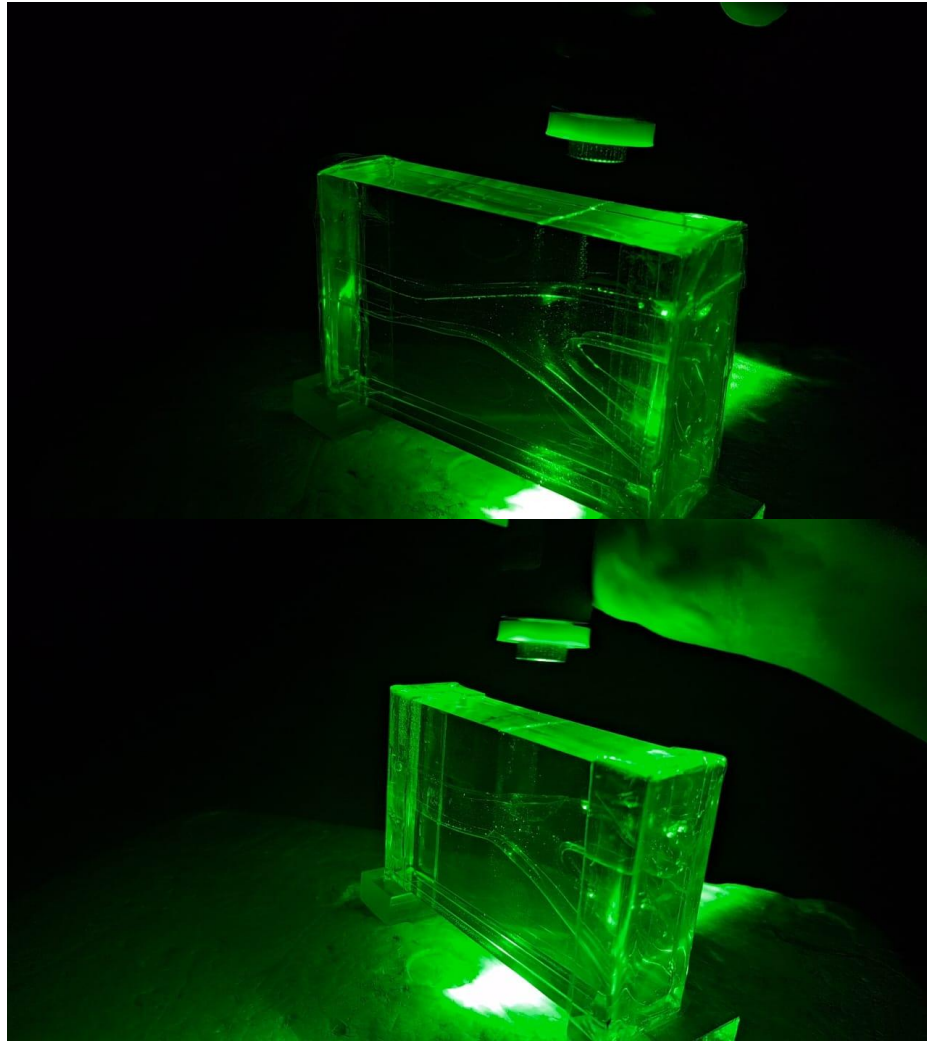
Pada tabel perhitungan diatas, hasil perbandingan didapat tingkat keakuratan antara CAD manual berdasarkan rumus:

$$AKURASI = \left( \frac{\text{Nilai terkecil}}{\text{Nilai terbesar}} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

#### 4.4.2 Pengujian Visual

Untuk hasil pengujian visual laser pada awalnya ditembakkan pada bidang yang memiliki pola garis koak-kotak agar dapat mengetahui seberapa jauh pembelokan cahaya yang dihasilkan namun ketika diuji coba, sinar laser justru terpantul cukup terang dan kamera tidak dapat menampakkan hasil yang optimal walaupun sudah digelapkan tingkat kecerahan pada hasil kamera sehingga opsi ini dihilangkan dan cukup dilakukan hasil transparansi lewat sinar laser.

Pada bentuk sinar laser, digunakan lensa silindris agar cahaya dapat berbentuk seperti *sheet*/lembaran, namun agar dapat terhubung dengan leser uji, dilakukan pembuatan *coupler* atau penghubung antar lensa menggunakan *3D Printing* dan hasil terlihat pada gambar. Adapun hasilnya diberikan berubah gambar dibawah ini:



Gambar 4 - 21 Hasil dari pengujian dengan sheet laser



## **BAB 5 PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat kesimpulan yang dihasilkan, seperti:

1. Penulis telah selesai membuat prototipe PAD dan perifer arteri normal dengan kemampuan tansparansi atau kejernihan yang diinginkan, tahan dengan penguningan, (*yellowing*), dan kontur yang sesuai dengan pernacangan di CAD.
2. Dalam melakukan penelitan ini, timbul beberapa kendala yang terlihat, seperti:
  - Pada pengerjaan permesinan, terdapat kondisi dimana ketika pergantian mata pahat untuk pengerjaan permesinan walaupun sudah menyamakan tinggi mata pahat dengan sebelumnya, masih terjadi kesalahan pengerjaan permesinan, menurut penulis ini disebabkan titik origin yang sudah **terpotong oleh mata pahat sebelumnya**, sehingga ketika penetapan titik origin baru, menyebabkan deformasi yang besar dan seringnya patah mata pahat sebab kedalaman yang besar dan jenis mata pahat yang kurang cocok untuk permesinan akrilik.
  - Pengerjaan kecepatan feedrate permesinan di CAD dan langsung sering kali tidak akurat waktu selesai pengerjaanya sehingga memakan waktu cukup dari yang direncanakan, serta ragam penjepit (*vise*) yang ketika sedang menjepit maerial, sering kali bergeser cukup banyak ketika dilakukan pemakanan yang cukup dalam (sekitar 1,5 - 2 mm).
3. Dari hasil pengukuran geometri, rata-rata akurasi pengukuran model "P. A normal" berada di atas 95%, sedangkan model PAD menunjukkan variasi akurasi antara 87% hingga 99%, dengan nilai tertinggi sebesar 99,54 % pada lubang corong pendek (membujur) dan terendah sebesar 87,71% pada lubang bawah (melintang).
4. Pada prakteknya, penelitian ini belum mencakup pengujian terhadap degradasi warna atau *yellowing* pada material akrillik akibat paparan sinar UV atau faktor lingkungan lainnya. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan

waktu dan biaya dalam pelaksanaannya penelitian. Padahal, uji ini diperlukan untuk membuktikan ketahanan material dalam jangka panjang.

## 5.2 Saran Bagi Penelitian Selanjutnya

Sebagai penulis selama mengerjakan penelitian ini diakui masih terdapat kesalahan dan kekurangan yang dapat diperbaiki dan ditingkatkan lebih lanjut, diantaranya:

1. Untuk proses *convert* file STL ke *solid*, penulis masih menggunakan aplikasi berbasis autodesk yang membuat pengerjaan pada metode ini cukup lama, sehingga dibutuhkan pembelajaran lanjut khususnya metode *reverse engineering* yang lebih matang mengikuti zaman agar proses pembelajaran bisa efektif serta ramah untuk pelajar mendapat akses penuh dalam jangka waktu tertentu.
2. Untuk vise pada mesin dapat ditingkatkan performa kerjanya terhadap protipe yang memiliki dimensi tinggi yang besar.
3. Pada sambungan antar segmen bisa dilakukan pengamplasan dengan grit besar setelah perekatan yang diharapkan bisa mendapat tampilan visual yang bersih dan pengamatan dengan laser bisa dilakukan dengan maksimal.
4. Diharapkan bisa dilakukan percobaan purwarupa oleh pengguna lain sehingga dapat diketahui kemudahan penggunaan, efektivitas desain, dan keamanan alat serta pengujian hasil purwarupa terhadap terhadap lingkungan untuk membuktikan fenomena yang terjadi dalam jangka panjang seperti penggunaan metode metode percepatan penuaan (*accelerated aging test*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajekwene, K. K. (2020). Properties and applications of acrylates. *Acrylate Polymers for Advanced Applications*, 6, 35–46.
- Blanes, J. I., Cairols, M. A., & Marrugat, J. (2009a). M I N E R V A M E D I C A C O P Y R I G H T ® Prevalence of *peripheral artery disease* and its associated risk factors in Spain: The ESTIME Study. In *Int Angiol* (Vol. 28).
- Blanes, J. I., Cairols, M. A., & Marrugat, J. (2009b). M I N E R V A M E D I C A C O P Y R I G H T ® Prevalence of *peripheral artery disease* and its associated risk factors in Spain: The ESTIME Study. In *Int Angiol* (Vol. 28).
- Bu, C., Liu, D., Chen, X., Pallarès, D., & Gómez-Barea, A. (2014). Ignition behavior of single coal *particle* in a fluidized bed under O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> atmospheres: A combination of visual image and *particle* temperature. *Applied Energy*, 115, 301–308. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.040>
- Carroll, D., Ginty, A. T., Der, G., Hunt, K., Benzeval, M., & Phillips, A. C. (2012). Increased blood pressure reactions to acute mental stress are associated with 16-year cardiovascular disease mortality. *Psychophysiology*, 49(10), 1444–1448. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01463.x>
- Fikriana, R., Tinggi, S., & Kepanjen, I. K. (2018). SISTEM KARDIOVASKULER. <https://www.researchgate.net/publication/341179641>
- Hernández-Ortiz, J. A., Guevara-Pantoja, P. E., Andrade-Medina, M., Carrillo-Tripp, M., & Caballero-Robledo, G. A. (2022). Computer Numerical Control Micromilling of a Microfluidic Acrylic Device with a Staggered Restriction for Magnetic Nanoparticle-based Immunoassays. *Journal of Visualized Experiment: JoVE*, 184. <https://doi.org/10.3791/63899>
- Jufrizaldy, M., Prodi, M. D., & Teknologi Rekayasa Manufaktur, I. (n.d.). RANCANG BANGUN MESIN CNC *MILLING* MENGGUNAKAN

## SYSTEM KONTROL GRBL UNTUK PEMBUATAN LAYOUT PCB.

- Kadirgama, K., Noor, M., Rahman, M., Harun, W., & Haron, C. (2009). Finite Element Analysis and Statistical Method to Determine Temperature Distribution on Cutting Tool in End-*Milling* Kumaran Kadirgama Finite Element Analysis and Statistical Method to Determine Temperature Distribution on Cutting Tool in End-*Milling*. In *European Journal of Scientific Research* (Vol. 30, Issue 3). <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>
- Li, X., Lou, Y., Song, Y., & Zhou, X. (2025). Mamba-CAD: State Space Model For 3D Computer-Aided Design Generative Modeling. [www.aaai.org](http://www.aaai.org)
- Mamo, H. B., Adamiak, M., & Kunwar, A. (2023). 3D printed biomedical devices and their applications: A review on state-of-the-art technologies, existing challenges, and future perspectives. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 143, 105930. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.105930>
- Mori, S. (2021). Prototype Development of River Velocimetry using Visual *Particle Image Velocimetry* for Smart Cities and Disaster Area Networks. 2021 20th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), 169–171. <https://doi.org/10.1109/ISCIT52804.2021.9590602>
- Nadhif, M. H., Assyarify, H., Irsyad, M., Pramesti, A. R., & Suhaeri, M. (2021). Recent advances in 3D printed wound dressings. *AIP Conference Proceedings*, 2344. <https://doi.org/10.1063/5.0047183>
- Rodriguez, J., Ikonomov, P., & Choudhury, A. A. (n.d.). Development of a 3-D Printer and CNC *Milling* Desktop Machine for Manu-facturing Labs Development of a 3D Printer and CNC *Milling* Desktop Machine for Manufacturing Labs.
- Romero, A. S., Innocentini, M. D. M., Vladimir Oliveira, J., Lider, A., Fey, T., Travitzky, N., & Hotza, D. (2025). Unveiling the potential of silicon carbide as a support material and membranes for oily wastewater

- remediation. In *Separation and Purification Technology* (Vol. 354). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.129044>
- Selvin, E., & Erlinger, T. P. (2004). Prevalence of and risk factors for peripheral arterial disease in the United States: Results from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999-2000. *Circulation*, 110(6), 738–743. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000137913.26087.F0>
- Setiawan, K., Tambunan, S. T. B., & Yuliana, P. E. (2013). Adjustment of mill CNC parameters to optimize cutting operation and surface quality on acrylic sheet machining. *Applied Mechanics and Materials*, 377, 117–122.
- Tateshima, S., Murayama, Y., Villablanca, J. P., Morino, T., Takahashi, H., Yamauchi, T., Tanishita, K., & Viñuela, F. (2001). Intraaneurysmal flow dynamics study featuring an acrylic aneurysm model manufactured using a computerized tomography angiogram as a mold.
- Wang, X., Xu, S., Zhou, S., Xu, W., Leary, M., Choong, P., Qian, M., Brandt, M., & Xie, Y. M. (2016). Topological design and additive manufacturing of porous metals for bone scaffolds and orthopaedic implants: A review. *Biomaterials*, 83, 127–141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2016.01.012>
- Zarrabi, A., Pérez-Sevilla, M., Rivas-Navazo, F., Latorre-Carmona, P., & Fernández-Zoppino, D. (2025a). Protocol for *Converting* DICOM Files to STL Models Using 3D Slicer and Ultimaker Cura. *J. Pers. Med*, 15, 118. <https://doi.org/10.3390/jpm>
- Zarrabi, A., Pérez-Sevilla, M., Rivas-Navazo, F., Latorre-Carmona, P., & Fernández-Zoppino, D. (2025b). Protocol for *Converting* DICOM Files to STL Models Using 3D Slicer and Ultimaker Cura. *J. Pers. Med*, 15, 118. <https://doi.org/10.3390/jpm>
- Zhang, S., & Bai, J. (2024). Research on CNC programming and machining process based on CAD/CAM technology. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1). <https://doi.org/10.2478/amns-2024-0516>

Zulaika Harissya, N., dr Anggi Setiorini, Mk., & Muji Rahayu, A. (2020).  
ILMU BIOMEDIK UNTUK PERAWAT PENERBIT CV. EUREKA  
MEDIA AKSARA.



# LAMPIRAN

