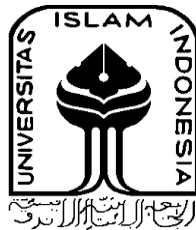


**PEMANFAATAN 3D *PRINTING* TIPE FDM UNTUK
PEMBUATAN ALAT PERAGA MESIN JET *TURBOPROP*
ALLISON T56**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

**Nama : Muhammad Nur Fauzi
No. Mahasiswa : 17525103
NIRM : 2017023640**

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

2022

PERNYATAAN ORISINALITAS TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, Muhammad Nur Fauzi menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “Pemanfaatan 3D *Printing* Tipe FDM Untuk Pembuatan Alat Peraga Mesin Jet *Turboprop* Allison T56” adalah hasil tulisan saya sendiri. Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan, pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui sebagai tulisan saya sendiri atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis lainnya.

Yogyakarta, 8 April 2022



Muhammad Nur Fauzi

NIM 17525103

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PEMANFAATAN 3D *PRINTING* TIPE FDM UNTUK
PEMBUATAN ALAT PERAGA MESIN JET *TURBOPROP*
ALLISON T56**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Nur Fauzi
No. Mahasiswa : 17525103
NIRM : 2017023640

Yogyakarta, 21 Maret 2022

Pembimbing I,



Faisal Arif Nurgasang, S.T., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PEMANFAATAN 3D *PRINTING* TIPE FDM UNTUK PEMBUATAN ALAT PERAGA MESIN JET *TURBOPROP* ALLISON T56

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Nur Fauzi
No. Mahasiswa : 17525103
NIRM : 2017023640

Tim Penguji

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

Ketua

Tanggal : 7 April 2022

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

Anggota I

Tanggal : 7 April 2022

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

Anggota II

Tanggal : 5 April 2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam, Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan dan ucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan segenap keluarga penulis yang telah senantiasa memberikan dukungan moral dan material sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Bapak dan Ibu dosen yang telah senantiasa memberikan ilmu serta membimbing penulis sehingga dapat menjadi seorang Sarjana.
3. Teman-teman penulis baik itu teman satu angkatan maupun teman dari satu daerah. Terimakasih teman-teman yang telah senantiasa memberikan semangat, menemani, juga membantu penulis.

HALAMAN MOTTO

“Raihlah ilmu dan untuk meraih ilmu belajarlah tenang dan sabar.”

(Umar bin Khattab)

“Sukses berjalan dari satu kegagalan ke kegagalan yang lain, tanpa kita kehilangan semangat.”

(Abraham Lincoln)

“Barang siapa keluar untuk mencari sebuah ilmu, maka ia akan berada di jalan Allah hingga ia kembali.”

(HR Tirmidzi)

“Apapun yang menjadi takdirmu, akan mencari jalannya menemukanmu.”

(Ali bin Abi Thalib)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan Karunia-Nya lah penulis dapat melaksanakan kegiatan Tugas Akhir dan menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “PEMANFAATAN 3D PRINTING TIPE FDM UNTUK PEMBUATAN ALAT PERAGA MESIN JET TURBOPROP ALLISON T56” dengan baik. Shalawat serta salam tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, sahabatnya, dan pengikutnya hingga akhir zaman. Tugas Akhir ini merupakan syarat yang harus ditempuh untuk memperoleh gelar sarjana.

Harapannya dengan penulisan Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri, pembaca, pihak Universitas Islam Indonesia khususnya jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan serta doa dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua yang telah senantiasa memberikan dukungan penuh serta doa-doa sehingga penulis dapat menyelesaikan kegiatan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Faisal Arif Nurgasang S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah senantiasa memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan kegiatan tugas akhir.
5. Teman-teman penulis, yang telah senantiasa memberikan semangat, menemani, juga membantu penulis dalam menyelesaikan rangkaian kegiatan tugas akhir.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlimbah, rahmat, kurnia

dan kelapangan hati kepada pihak-pihak yang telah banyak memberikan doa dan supportnya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih ada kekurangan, untuk itu penulis mohon kritik, saran dan masukan yang bersifat membangun demi penulisan yang lebih baik dimasa yang akan datang. Akhir kata, semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 21 Maret 2022



Muhammad Nur Fauzi

17525103

ABSTRAK

Mesin jet *turboprop* merupakan jenis mesin pesawat yang menggunakan pembangkit turbin gas untuk menggerakkan baling-baling. Untuk mempermudah mempelajari mesin tersebut diperlukan sebuah alat peraga yang dapat diwujudkan menggunakan teknologi 3D *printing*. Jenis mesin jet *turboprop* yang dibuat merupakan mesin jet Allison T56 yang digunakan pada pesawat Hercules C-130. Pada penelitian ini, parameter proses untuk pembuatan spesimen dievaluasi terlebih dahulu untuk mendapatkan penyimpangan ukuran terkecil dan kekuatan luluh tertinggi yaitu suhu *nozzle* dan kecepatan cetak. Suhu *nozzle* divariasikan pada 230 °C, 240 °C, dan 250 °C, sedangkan kecepatan cetak divariasikan pada 30 mm/s, 40 mm/s, dan 50 mm/s. Berdasarkan pengujian geometri dan pengujian tarik yang telah dilakukan, didapatkan parameter proses terbaik yaitu dengan suhu *nozzle* 250 °C dan kecepatan cetak 30 mm/s dengan nilai persentase penyusutan ukuran sisi depan 0,056, sisi atas -0,362, sisi samping -0,027 dan nilai kekuatan luluh sebesar 27,557 MPa. Dari parameter terbaik tersebut digunakan untuk mewujudkan alat peraga mesin jet *turboprop*. Hasilnya, 12,5% dari responden cukup memahami, 62,5% dari responden sudah memahami, dan 25% dari responden sangat memahami cara kerja alat peraga mesin jet *turboprop* Allison T56.

Kata kunci: *Turboprop*, Alat Peraga, 3D *Printing*

ABSTRACT

A turboprop jet engine is a type of aircraft engine that uses a gas turbine generator to drive the propellers. To make it easier to learn the machine, we need a prop that can be realized using 3D printing technology. The type of turboprop jet engine made is the Allison T56 jet engine used on the Hercules C-130 aircraft. In this study, the process parameters for the manufacture of specimens were evaluated first to obtain the smallest size deviation and the highest yield strength, namely nozzle temperature and printing speed. The nozzle temperature was varied at 230 , 240 , and 250 , while the print speed was varied at 30 mm/s, 40 mm/s, and 50 mm/s. Based on the geometry testing and tensile testing that has been carried out, the best process parameters obtained are with a nozzle temperature of 250 and a print speed of 30 mm/s with a percentage value of shrinkage of the front side of 0.056, the top side of -0.362, the side of -0.027 and the yield strength value of 27,557 MPa. The best parameters are used to realize turboprop jet engine props. As a result, 12.5% of respondents quite understand, 62.5% of respondents already understand, and 25% of respondents really understand how the Allison T56 turboprop jet engine props work.

Keywords : Turboprop, Props, 3D Printing

DAFTAR ISI

Pernyataan Orisinalitas Tugas Akhir	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak	ix
<i>Abstract</i>	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar	xv
Daftar Notasi	xviii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	4
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
Bab 2 Tinjauan Pustaka	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 <i>Rapid Prototyping (RP)</i>	8
2.2.2 <i>Computer Aided Design (CAD)</i>	9
2.2.3 <i>3D Printing</i>	10
2.2.4 <i>Fused Deposition Modelling (FDM)</i>	11
2.2.5 <i>Flashforge Creator Pro</i>	11
2.2.6 <i>Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG)</i>	13
2.2.7 <i>Alat Peraga</i>	14
2.2.8 <i>Turboprop</i>	15

2.2.9 Allison T56	16
2.2.10 Lockheed C-130 Hercules	18
2.2.11 Pengujian Geometri	19
2.2.12 Pengujian Tarik	20
Bab 3 Metode Penelitian	22
3.1 Alur Penelitian	22
3.2 Kriteria Desain	24
3.3 Peralatan dan Bahan.....	24
3.3.1 Peralatan	24
3.3.2 Bahan	28
3.4 Pengujian Geometri	32
3.5 Pengujian Tarik.....	35
3.6 Pembuatan Produk Alat Peraga	36
Bab 4 Hasil dan Pembahasan	38
4.1 Hasil Perancangan Desain Produk.....	38
4.2 Hasil Pengujian	43
4.2.1 Hasil Pengujian Geometri.....	43
4.2.2 Hasil Pengujian Tarik	48
4.3 Analisis dan Pembahasan.....	51
4.3.1 Variasi Parameter Pencetakan Terbaik.....	51
4.3.2 Hasil Pencetakan Produk Alat Peraga	53
4.3.3 Kecepatan Putaran Mesin Allison T56.....	54
4.3.4 Sistem Penggerak Alat Peraga.....	55
4.3.5 Rangkaian Elektrik	58
4.3.6 Hasil Perakitan Produk Alat Peraga	60
4.3.7 Cara Kerja Produk Alat Peraga	64
4.3.8 Optimalisasi Desain Produk	65
4.3.9 Pengujian Alat Peraga	67
4.3.10 Pemenuhan Kriteria Desain	74
Bab 5 Penutup.....	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	76

Daftar Pustaka	77
Lampiran.....	80

DAFTAR TABEL

Tabel 3- 1 Variasi Parameter Suhu <i>Nozzle</i> Pencetakan Uji Geometri.....	33
Tabel 3- 2 Variasi Parameter Kecepatan Pencetakan Uji Geometri.....	34
Tabel 3- 3 Variasi Parameter Kecepatan Pencetakan Uji Tarik	36
Tabel 3- 4 Variasi Parameter Suhu Pencetakan Uji Tarik.....	36
Tabel 3- 5 Daftar Perancangan Desain Komponen Produk yang Akan Dibuat .	37
Tabel 4- 1 Data Hasil Pengujian Geometri Variasi Parameter Suhu <i>Nozzle</i>	45
Tabel 4- 2 Persentase Penyusutan atau Pertambahan Ukuran Spesimen Uji Geometri Parameter Suhu <i>Nozzle</i>	45
Tabel 4- 3 Data Hasil Pengujian Geometri Variasi Parameter Kecepatan Cetak.	47
Tabel 4- 4 Persentase Penyusutan atau Pertambahan Ukuran Spesimen Uji Geometri Parameter Kecepatan Cetak.....	47
Tabel 4- 5 Data Hasil Pengujian Tarik Variasi Parameter Kecepatan Cetak	49
Tabel 4- 6 Data Hasil Pengujian Tarik Variasi Parameter Suhu <i>Nozzle</i>	50
Tabel 4- 7 <i>Scoring</i> Penentuan Parameter Pencetakan Produk Terbaik	52
Tabel 4- 8 Data Spesifikasi Mesin Allison T56	55
Tabel 4- 9 Hasil Pengecekan Kecepatan Aktual Motor Penggerak.....	57
Tabel 4- 10 Rangkaian antara LCD dengan Arduino	59
Tabel 4- 11 Rangkaian antara L298N <i>Motor Driver Module</i> dengan Arduino....	59
Tabel 4- 12 Rangkaian antara L298N <i>Motor Driver Module</i> dengan Motor DC	59
Tabel 4- 13 Rangkaian antara Potensio dengan Arduino	59
Tabel 4- 14 Rangkaian antara LED dengan Arduino	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1- 1 Tampilan mesin pesawat <i>turboprop</i> Allison T56.....	2
Gambar 2- 1 Klasifikasi <i>Rapid Prototyping</i>	9
Gambar 2- 2 <i>Computer Aided Design</i>	9
Gambar 2- 3 Diagram Alir Proses <i>3D Printing</i>	10
Gambar 2- 4 Skematik <i>Fused Deposition Modelling</i>	11
Gambar 2- 5 <i>Flashforge Creator Pro</i>	12
Gambar 2- 6 <i>Build Volume</i>	12
Gambar 2- 7 Spesifikasi <i>Flashforge Creator Pro</i>	13
Gambar 2- 8 <i>Polyethylene Terephthalate Glycol</i> (PETG).....	13
Gambar 2- 9 <i>PETG Data Sheet</i>	14
Gambar 2- 10 Diagram Skematik Turboprop Sederhana	15
Gambar 2- 11 Diagram Skematik Allison T56.....	16
Gambar 2- 12 <i>Reduction Gear Assembly</i> (RGA)	17
Gambar 2- 13 Spesifikasi Mesin Allison T56	17
Gambar 2- 14 Lockheed C-130 Hercules	18
Gambar 2- 15 Spesifikasi Lockheed C-130 Hercules	18
Gambar 2- 16 Jangka Sorong dengan dua jenis skala	20
Gambar 3- 1 Diagram Alur Penelitian.....	23
Gambar 3- 2 Laptop Msi <i>Prestige Ps42-8ra</i>	24
Gambar 3- 3 <i>Software Solidworks</i> 2017	25
Gambar 3- 4 Mesin <i>3D printing Flashforge Creator Pro</i>	25
Gambar 3- 5 <i>Software Flashprint</i>	26
Gambar 3- 6 Jangka Sorong <i>Digital</i> 0,02 mm.....	26
Gambar 3- 7 Mesin Uji Tarik JTM-UTC 220 <i>Serial</i> 6604.....	27
Gambar 3- 8 Mesin <i>CNC Laser Cutting</i>	27
Gambar 3- 9 <i>Software Arduino</i>	28
Gambar 3- 10 <i>Filament</i> PETG.....	28
Gambar 3- 11 Akrilik a) Ketebalan 2 mm; b) Ketebalan 5 mm; (c Ketebalan 10 mm.....	29
Gambar 3- 12 Papan Kayu 5 mm	30

Gambar 3- 13 Poros Besi 8 mm	30
Gambar 3- 14 <i>Bearing</i>	31
Gambar 3- 15 <i>Rigid Flange Coupling</i> M8 & M3.....	31
Gambar 3- 16 Baut Mur M2, M3, M4.....	32
Gambar 3- 17 Ukuran Spesimen Uji Geometri	32
Gambar 3- 18 Garis Pengukuran Uji Geometri	33
Gambar 3- 19 Standar Ukuran Spesimen Uji ASTM D 638-02 Tipe I.....	35
Gambar 4- 1 Hasil Perancangan Desain Komponen Rakit a) <i>Propeller</i> ; b) <i>Reduction Gearbox Housing</i> ; c) <i>Engine Housing</i> ; d) <i>14 Stage Axial-Flow Compressor</i> ; e) <i>6 Cylindrical Through-Flow Combustion Liner</i> ; f) <i>4 Stage Axial Turbine</i> ; g) <i>Penyangga</i> ; h) <i>Tower Box</i> Rangkaian Elektrik; i) <i>Cover Pelindung Reduction Gearbox</i> ; j) <i>Cover Pelindung Compressor</i> ; k) <i>Cover Pelindung Turbine</i> ; l) <i>Cover Pelindung Spur Gear</i>	40
Gambar 4- 2 Hasil Perancangan Desain <i>Reduction Gearbox Assembly</i> (RGA)...	41
Gambar 4- 3 Hasil Perancangan Desain Produk	42
Gambar 4- 4 Spesimen Uji Geometri	44
Gambar 4- 5 Grafik Hasil Pengujian Geometri Variasi Parameter Suhu <i>Nozzle</i> .	46
Gambar 4- 6 Grafik Hasil Pengujian Geometri Variasi Parameter Kecepatan Cetak	48
Gambar 4- 7 Proses Pengujian Tarik.....	49
Gambar 4- 8 Grafik Hasil Pengujian Tarik Variasi Parameter Kecepatan Cetak	50
Gambar 4- 9 Grafik Hasil Pengujian Tarik Variasi Parameter Suhu <i>Nozzle</i>	51
Gambar 4- 10 Hasil Pencetakan Produk.....	53
Gambar 4- 11 Kegagalan dalam Proses Pencetakan Produk.....	53
Gambar 4- 12 Akrilik a) Ketebalan 5 mm; b) Ketebalan 10 mm	54
Gambar 4- 13 Proses Pengecekan kecepatan Aktual Motor Penggerak.....	56
Gambar 4- 14 Skematik Rangkaian Elektrik Arduino.....	58
Gambar 4- 15 Hasil Perakitan Dudukan Alat Peraga & <i>Tower Box</i>	61
Gambar 4- 16 Hasil Perakitan a) <i>Propeller</i> ; b) <i>Reduction Gearbox</i> ; (c) Mesin....	61
Gambar 4- 17 Hasil Peletakan Perakitan Produk pada Dudukan Alat Peraga	62
Gambar 4- 18 Hasil Perakitan <i>Cover LED</i> dan Rangkaian Elektrik	62
Gambar 4- 19 Hasil Perakitan <i>Spur Gear</i>	63

Gambar 4- 20 Hasil Perakitan <i>Cover</i> Pelindung pada Komponen Gerak	64
Gambar 4- 21 Proses Pengambilan Data Pengujian Alat Peraga dengan Responden	67
Gambar 4- 22 Pekerjaan dari Responden Pengujian Alat Peraga	68
Gambar 4- 23 Hasil Data Kuesioner Terkait Pemahaman Terhadap Cara Kerja Mesin Jet <i>Turboprop</i> Allison T56	69
Gambar 4- 24 Komentar Responden Terkait Pemahaman Terhadap Cara Kerja Mesin Jet <i>Turboprop</i> Allison T56	69
Gambar 4- 25 Hasil Data Kuesioner Terkait Kesesuaian Komponen pada Alat Peraga dengan Mesin Asli	70
Gambar 4- 26 Komentar Responden Terkait Kesesuaian Komponen pada Alat Peraga dengan Mesin Asli	71
Gambar 4- 27 Hasil Data Kuesioner Terkait Kesesuaian Mekanisme Kerja Mesin pada Alat Peraga dengan Mesin Asli.....	71
Gambar 4- 28 Komentar Responden Terkait Kesesuaian Mekanisme Kerja Mesin pada Alat Peraga dengan Mesin Asli.....	72
Gambar 4- 29 Hasil Data Kuesioner Terkait Ketertarikan Responden Terhadap Alat Peraga Mesin Jet <i>Turboprop</i> Allison T56	73
Gambar 4- 30 Komentar Responden Terkait Ketertarikan Responden Terhadap Alat Peraga Mesin Jet <i>Turboprop</i> Allison T56	73

DAFTAR NOTASI

σ	: Tegangan (MPa)
E	: Modulus elastisitas tarik (MPa)
ε	: Regangan (mm/mm)
P	: Tekanan (N)
A	: Luas penampang (mm ²)
ΔL	: Pertambahan panjang (mm)
L_0	: Panjang daerah ukur (mm)
$\bar{x}$	: Nilai rata-rata (mm)
$\sum_{i=1}^k x_i$	: Nilai penjumlahan dari semua data (mm)
n	: Banyaknya jumlah data
P	: Nilai penyusutan panjang (%)
x_0	: Nilai yang ada (mm)
x	: Nilai sesungguhnya (mm)
<i>Gear Ratio</i>	: Perbandingan <i>Gear</i>
$n1$	: Banyaknya gigi <i>Gear</i> 1
$n2$	: Banyaknya gigi <i>Gear</i> 2
<i>Rpm Input</i>	: Kecepatan putaran poros penggerak (Rpm)
<i>Rpm Output</i>	: Kecepatan putaran poros yang digerakkan (Rpm)

BAB 1

PENDAHULUAN

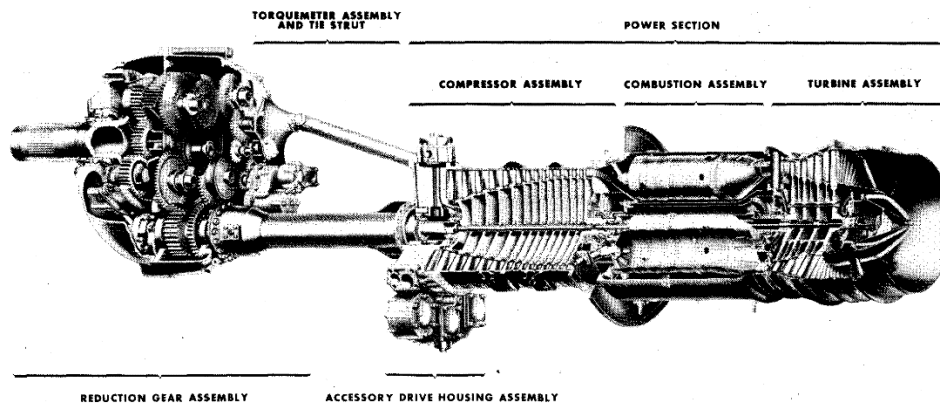
1.1 Latar Belakang

3D *printing* adalah salah satu dari berbagai proses dimana materi bergabung atau dipadatkan di bawah kontrol komputer untuk membuat objek tiga dimensi *Layered manufacture* (Jacobs & Francis, 1992). Prinsip kerja mesin cetak tiga dimensi secara umum tidak jauh berbeda dengan *printer* pada umumnya. Desain objek yang akan dibuat terlebih dahulu harus dikonversi ke dalam beberapa *format file* yang relevan dengan aplikasi yang digunakan. Desain awal objek menggunakan aplikasi CAD dengan format gambar *.dwg* atau langsung dikerjakan dalam aplikasi *inventor* maupun *SolidWork* atau aplikasi pemodelan lain yang relevan. Hasil desain kemudian disimpan dalam format *.stl* untuk membentuk lapisan-lapisan yang membentuk objek menggunakan aplikasi pencetakan tiga dimensi. (Hager, Golonka, & Putanowicz, 2016).

Fused Deposition Modelling (FDM) adalah salah satu metode RP dengan membuat purwarupa dengan proses pelelehan material termoplastik dengan menggunakan mekanisme ekstruder. Kemudian proses pembuatan objek melalui proses lapis demi lapis dengan prinsip *bottom up* (Carneiro, Silva, & Gomes, 2015). FDM kini telah menjadi metode 3D *printing* yang paling banyak diaplikasikan penggunaannya karena kemudahan, biaya operasional yang murah, dan ramah lingkungan. Keunggulan tersebut meningkatkan pengembangan berbagai macam purwarupa produk dan proses manufaktur dalam berbagai bidang industri untuk berbagai aplikasi (Pambudi, 2017).

Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG) merupakan salah satu jenis polimer yang memiliki densitas $1,38 \text{ g/cm}^3$ dan mempunyai banyak keunggulan, antara lain ketahanan terhadap kondisi cuaca, tidak rusak atau kehilangan warnanya saat terkena sinar UV, tidak menimbulkan bau saat proses pencetakan, memiliki sifat adhesif yang unik sehingga mampu menempel di meja pemanas dengan baik, dan memiliki faktor penyusutan termal yang rendah (Grabowik, Kalinowski, Ćwikła, Paprocka, & Kogut, 2017).

Mesin jet *turboprop* merupakan jenis mesin *hybrid* yang memberikan gaya dorong jet sekaligus menggerakkan baling-baling (*propeller*). Pada dasarnya cara kerja mesin *turboprop* sama dengan mesin turbojet perbedaannya hanya kerja turbin melalui sebuah poros utama yang terhubung dengan *reduction gear* yang digunakan untuk memutar baling-baling (Rabeta, 2020). Jenis mesin ini, dipilih sebagai jantung mesin pesawat kargo militer karena kelebihan dari mesin jet *turboprop* yang mampu menghasilkan daya dorong (*thrusts*) lebih pada putaran rendah kecepatan subsonik. Kemampuan baling-baling untuk mengakselerasikan pesawat dengan kapasitas muatan yang berat di udara pada kecepatan rendah menghasilkan kinerja tinggi yang tidak biasa dari mesin jet *turboprop* selama lepas landas dan mendaki. Performa kecepatan rendah ini, yang memungkinkan pesawat *turboprop* mampu membawa muatan yang lebih berat, sehingga mesin jet *turboprop* menjadi mesin pesawat kargo yang ideal (India FDocuments, 2015).



Gambar 1- 1 Tampilan mesin pesawat *turboprop* Allison T56

Sumber: (Zimmerman & Kern, 1964)

Pesawat Lockheed C-130 Hercules menggunakan mesin jet *turboprop* Allison T56. Seperti pada gambar 1- 1, komponen pada mesin Allison T56 terdiri dari poros baling-baling, *gearbox*, poros kopling, kompresor aliran aksial 14 tahap, bagian pembakaran, dan turbin empat tahap (Zimmerman & Kern, 1964).

Cara kerja mesin jet *turboprop* yaitu udara masuk melalui *intake*, kemudian udara melalui rangkaian kompresor tekanan rendah ke tekanan tinggi sehingga tekanan dan temperatur udara mengalami kenaikan. Pada ruang pembakaran, proses pembakaran terjadi oleh bahan bakar yang dicampurkan dengan udara yang telah terkompresi tersebut. Proses pembakaran berlangsung pada tekanan konstan

yang berfungsi untuk menaikkan temperatur gas. Pembakaran tersebut menghasilkan gas panas yang kemudian diekspansi melalui turbin. Daya yang dibangkitkan oleh turbin, sekitar 60% digunakan untuk menggerakkan kompresor dan sisanya ditransmisikan melalui *reduction gear* untuk memutar baling-baling. Sedangkan gas keluaran turbin keluar melalui *exhaust* (Iskandar, Santika, & Rasyid, 2017).

Bagaimanapun juga prinsip kerja sebuah mesin jet *turboprop* tidak mudah untuk dipelajari. Di sisi lain mesin jet *turboprop* asli harganya cukup mahal. Maka dari itu dibutuhkan sebuah alat peraga mesin jet *turboprop* yang mampu menjelaskan cara kerja mesin tersebut. Alat peraga merupakan suatu alat bantu yang digunakan untuk memudahkan dan memahami suatu konsep secara tidak langsung (Mujadi, 1994). Fungsi dari alat peraga yaitu dapat digunakan sebagai alat bantu eksperimen. Adanya kegiatan eksperimen, maka seseorang akan lebih banyak berinteraksi dan terlibat aktif dalam berpikir (Janah, Supriyono, & Martini, 2016).

Oleh sebab itu untuk mengatasi permasalahan di atas dilakukan pemanfaatan teknologi *3D printing* untuk pembuatan produk alat peraga mesin jet *turboprop* Allison T56. Mesin *3D printing* yang digunakan untuk mencetak produk alat peraga berjenis FDM (*Fused Deposition Modelling*). Sedangkan untuk bahan yang digunakan untuk mencetak adalah *filament* PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) dengan variasi parameter suhu dan kecepatan dari hasil pengujian terbaik. Alat peraga yang dibuat memiliki komponen-komponen utama seperti yang ada pada mesin jet *turboprop* sesungguhnya, sehingga alat peraga ini diharapkan mampu untuk digunakan sebagai bahan ajar dalam memahami konsep kerja mesin jet *turboprop*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Apa parameter yang berpengaruh terhadap hasil produk dari *3D printing* tipe FDM dengan material *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG)?
2. Bagaimana cara pembuatan alat peraga mesin jet turboprop Allison T56 dengan menggunakan mesin *3D printing*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian rancang bangun alat peraga mesin jet turboprop menggunakan *3D print* yaitu:

1. Penelitian menggunakan mesin *3D printing* berjenis FDM merk *Flashforge Creator Pro*.
2. Penelitian menggunakan *filament Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG) merk eSUN.
3. Jenis mesin alat peraga yang dibuat adalah mesin jet *turboprop Allison T56*.
4. Produk dibuat dengan skala 1:6 dari ukuran asli.
5. Komponen alat peraga yang dibuat hanya komponen gerak utama saja.
6. Prinsip kerja yang ada pada alat peraga yang dibuat hanya pada mekanisme kerja gerak putaran mesin dan baling-baling saja dan tidak menampilkan simulasi pembakaran maupun parameter mesin seperti temperatur.
7. Hasil desain akan dicetak menggunakan variasi parameter terbaik dari hasil pengujian geometri dan pengujian tarik.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dari tugas akhir ini yaitu:

1. Mengetahui parameter terbaik dalam membuat produk menggunakan mesin *3D printing* tipe FDM dengan material PETG.
2. Mengetahui cara pembuatan alat peraga mesin jet turboprop Allison T56 dengan menggunakan mesin *3D printing*.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dari penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Mampu merancang bangun alat peraga mesin jet *turboprop* dengan baik.
2. Mampu menunjukan parameter terbaik dalam membuat produk dengan bahan PETG menggunakan mesin 3D *printing Flashforge Creator Pro*.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan materi tugas akhir ini terdiri dari lima bab dan di setiap bab terdiri dari beberapa sub bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

1. Bab pertama yaitu pendahuluan, dalam pendahuluan ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan ini sendiri.
2. Bab kedua berisi tentang gambaran umum tentang materi-materi yang digunakan.
3. Bab ketiga berkaitan dengan metodologi yang digunakan saat proses penelitian.
4. Bab keempat membahas tentang data dan hasil dari penelitian.
5. Bab kelima yaitu penutup, dalam bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran yang relevan untuk penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pada tahun 1998 beberapa peneliti bernama D.T. Pham, dan R.S. Gault melakukan penelitian yang berjudul “*A Comparison of Rapid Prototyping Technologies*”. Dimana dahulu perancangan sebuah prototipe dilakukan oleh seorang pembuat model profesional dengan menggunakan gambar teknik 2D. Perancangan prototipe seperti ini merupakan proses yang memakan waktu dan membutuhkan biaya yang mahal. Dengan berkembangnya dunia manufaktur saat ini dan adanya teknologi CAD/CAM, pembuatan prototipe akan dapat diproduksi dengan lebih cepat menggunakan pemodelan komputer secara 3D. Terdapat berbagai macam jenis teknologi *rapid prototyping* (RP) yang tersedia. Pada jurnal ini membahas lebih dalam mengenai teknologi *rapid prototyping* juga membahas kelebihan dan kekurangannya. Data yang ditampilkan pada penelitian ini menggunakan parameter proses seperti *layer thickness*, *system accuracy*, dan *speed of operation*.

Teknologi *rapid prototyping* (RP) telah berguna secara efektif dalam berbagai macam aplikasi. Pada penelitian yang berjudul “*Experimental investigation on mechanical properties of PETG material processed by fused deposition modeling method*” (Durgashyam, Reddy, Balakrishna, & Satyanarayana, 2019) menyatakan bahwa terdapat sebuah teknologi manufaktur populer yang disukai secara luas di industri untuk menciptakan struktur kompleks di harga murah yaitu *Fused Deposition Modeling* (FDM). Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan parameter proses terhadap kekuatan lentur dan tarik dari bahan PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) yang dibuat dengan metode FDM. Parameter proses yang dipertimbangkan adalah *feed rate*, *infill density* dan *layer thickness*. Efektivitas setiap parameter diselidiki dengan menggunakan ANOVA dan dihasilkan parameter yang terbaik untuk sifat mekanik dari bahan PETG.

Pada tahun 2016 beberapa peneliti bernama Khusnia Kuril Janah, Supriyono, dan Martini melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan alat peraga pesawat sederhana dalam pembelajaran IPA terhadap hasil belajar. Penelitian tersebut dilakukan pada seluruh siswa kelas 8 MTsN Pucanglaban Tulungagung yang terdiri dari 4 kelas dengan menggunakan metode *Pre Experiment Design*. Hasil belajar siswa pada pembelajaran IPA dengan menggunakan alat peraga pesawat sederhana mengalami peningkatan secara signifikan. Ketika siswa menggunakan alat peraga, siswa akan melakukan suatu eksperimen, sehingga siswa akan mendapatkan pengalaman langsung sehingga siswa dapat lebih mengerti dan dapat mengaplikasikan konsep-konsep IPA yang dipelajari (Janah, Supriyono, & Martini, 2016).

Alat peraga mesin pesawat yang akan diproduksi menggunakan metode FDM dengan bahan PETG yaitu mesin pesawat berjenis turboprop. Dikutip dari penelitian yang berjudul “*Gas Turbines – Turboprop Engines and Propeller*” (India FDocuments, 2015) menyatakan bahwa ada berbagai pesawat turboprop di inventaris Angkatan Laut Amerika Serikat. Seperti C-130 Hercules, yang merupakan sebuah transportasi kargo pesawat yang digunakan pada penerbangan angkatan laut. Dalam penelitian ini, membahas mesin Allison T56 dan baling-baling Hamilton Sundstrand 54H60-77, atau model NP2000 sebagai contoh mesin turboshaft umum dan sistem baling-baling. Penelitian ini membahas komponen-komponen mesin, ukuran mesin, prinsip pengoperasian, dan sistem unik dari mesin turboprop. Penelitian ini juga membahas tentang baling-baling. Menjelaskan bagian baling-baling dasar, ukuran baling-baling, bukaan sumbu baling-baling, prinsip pengoperasian, dan prosedur perawatan.

Penelitian lain terkait mesin Allison T65 yang dijadikan sebagai acuan penulis yaitu penelitian yang berjudul “*The Allison Turboprop Aircraft Engine as an Industrial Prime Mover*” (Zimmerman & Kern, 1964) menyatakan bahwa Pada pertemuan ASME 1962 di Houston, Allison mengajukan makalah yang menjelaskan kemungkinan industrialisasi mesin pesawat T56. Sejak saat itu, Allison telah memodifikasi mesin untuk pembakaran gas dan mengoperasikan satu sebagai penggerak utama untuk generator 2000-kw di Tanaman Indianapolis. Selain itu, dua unit tambahan harus dipasang di bidang transmisi gas yang

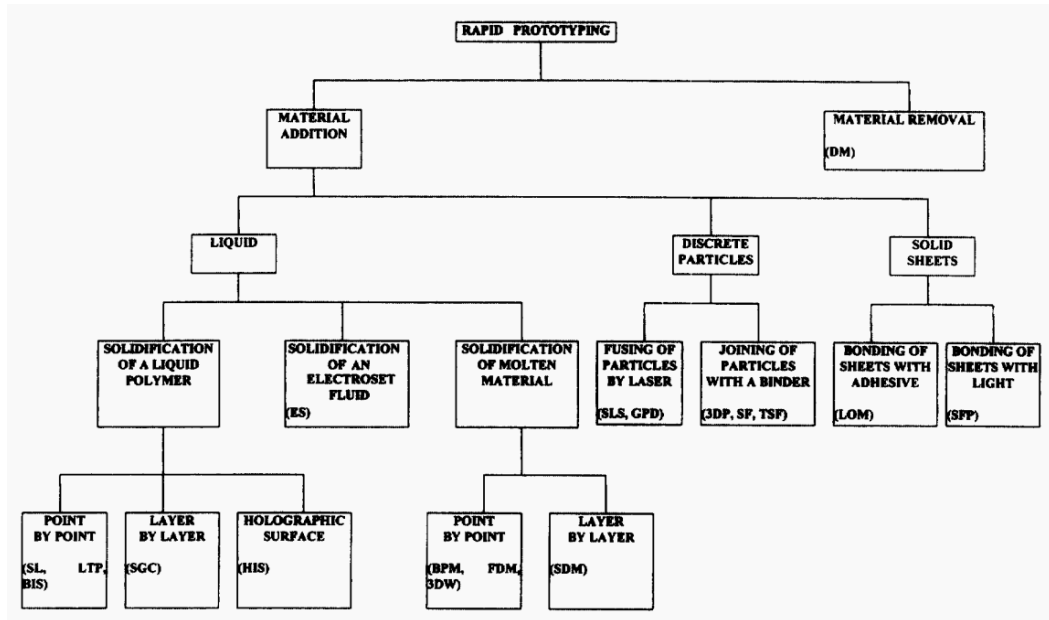
menggerakkan kompresor gas sentrifugal. Pada penelitian ini memberikan deskripsi unit mesin Allison T56 dan laporan status pada instalasi dan operasi. Penelitian ini juga menyertakan foto-foto instalasi dan kinerja data, yang diperlukan untuk melengkapi laporan.

2.2 Dasar Teori

Pada penelitian ini digunakan beberapa dasar teori sebagai landasan dalam merancang bangun produk alat peraga mesin jet Allison T56. Berikut di bawah ini adalah dasar teori yang melandasi penelitian ini.

2.2.1 *Rapid Prototyping* (RP)

Rapid prototyping (RP) adalah istilah yang mencakup berbagai teknologi baru untuk memproduksi suatu produk yang akurat secara langsung dengan model CAD dalam waktu beberapa jam, dengan sedikit intervensi manusia. Artinya, desainer memiliki kebebasan lebih untuk memproduksi model fisik dari bentuk yang mereka gambar secara berkala. Hal ini memungkinkan mereka untuk memeriksa perakitan dan fungsi desain serta mendiskusikan permasalahan manufaktur lebih dalam dengan prototipe yang mudah ditafsirkan dan tidak ambigu. Manfaatnya, kesalahan dapat diminimalkan dan biaya pengembangan produk dan waktu produksi dapat lebih efektif dan efisien. Telah diklaim bahwa RP dapat memotong biaya produk baru hingga 70% dan waktu untuk pemasaran 90% lebih efektif (Pham & Gault, 1998). Klasifikasi dari *rapid prototyping* dapat ditunjukkan pada gambar 2- 1.

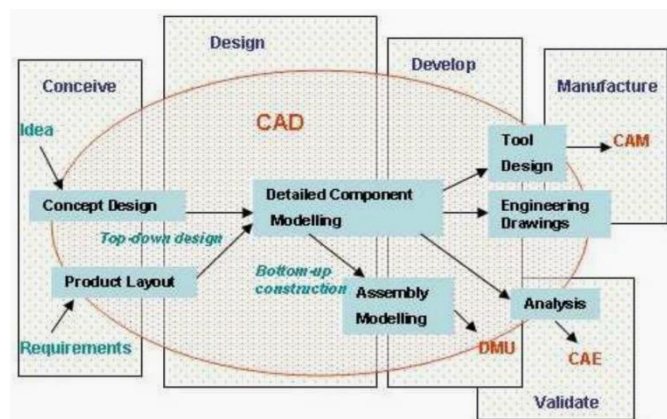


Gambar 2- 1 Klasifikasi *Rapid Prototyping*

Sumber: (Pham & Gault, 1998)

2.2.2 *Computer Aided Design (CAD)*

Computer-aided design (CAD) merupakan satu bentuk otomatisasi yang membantu perancang untuk memperbaiki gambar, spesifikasi, dan elemen elemen yang berhubungan dengan perancangan yang menggunakan efek grafik khusus dan perhitungan program-program komputer. CAD digunakan secara luas di perangkat yang berbasis komputer yang membantu insinyur teknik, arsitek, profesional perancangan yang banyak bekerja dengan aktivitas rancangan. *Computer-aided design* dapat ditunjukkan pada gambar 2- 2.



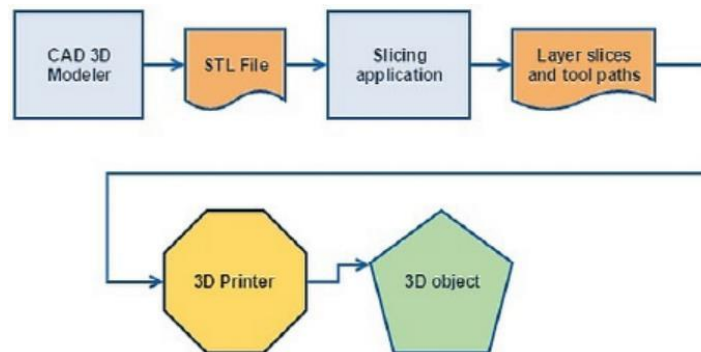
Gambar 2- 2 *Computer Aided Design*

Sumber: (Ningsih, 2005)

Untuk aplikasi komputer digital dalam perancangan teknik dan produksi CAD menunjuk ke pemakaian komputer dalam mengkonversikan satu ide awal produk menjadi rancangan detail teknik. Evolusi perancangan biasanya meliputi pembuatan model geometrik produk, yang bisa dimanipulasi, dianalisa, dan diperhalus. Dalam CAD, komputer grafik menggantikan sketsa dan gambar teknik tradisional yang digunakan untuk memvisualisasi produk dan mengkomunikasikan rancangan informasi (Ningsih, 2005).

2.2.3 3D Printing

3D *printing* adalah salah satu dari berbagai proses dimana materi bergabung atau dipadatkan di bawah kontrol komputer untuk membuat objek tiga dimensi *Layered manufacture* (Jacobs & Francis, 1992). Diagram alir proses 3D *printing* dapat ditunjukkan pada gambar 2- 3.



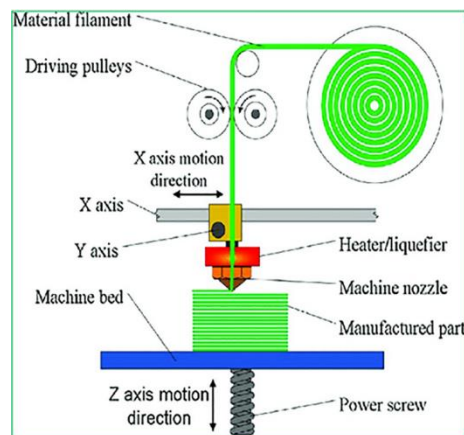
Gambar 2- 3 Diagram Alir Proses 3D *Printing*

Sumber: (Hager, Golonka, & Putanowicz, 2016)

Prinsip kerja mesin cetak tiga dimensi secara umum tidak jauh berbeda dengan *printer* pada umumnya. Ilustrasi proses cetak menggunakan 3D *printer* ditampilkan pada gambar 2- 3. Desain objek yang akan dibuat terlebih dahulu harus dikonversi ke dalam beberapa *format file* yang relevan dengan aplikasi yang digunakan. Desain awal objek menggunakan aplikasi CAD dengan format gambar *.dwg* atau langsung dikerjakan dalam aplikasi *inventor* maupun *SolidWork* atau aplikasi pemodelan lain yang relevan. Hasil desain kemudian disimpan dalam format *.stl* untuk membentuk lapisan-lapisan yang membentuk objek menggunakan aplikasi pencetakan tiga dimensi. (Hager, Golonka, & Putanowicz, 2016)

2.2.4 *Fused Deposition Modelling (FDM)*

Fused Deposition Modelling (FDM) adalah salah satu metode RP dengan membuat purwarupa dengan proses pelelehan material termoplastik dengan menggunakan mekanisme ekstruder. Kemudian proses pembuatan objek melalui proses lapis demi lapis dengan prinsip *bottom up* (Carneiro, Silva, & Gomes, 2015). Skematik *Fused Deposition Modelling* dapat ditunjukkan pada gambar 2-4.



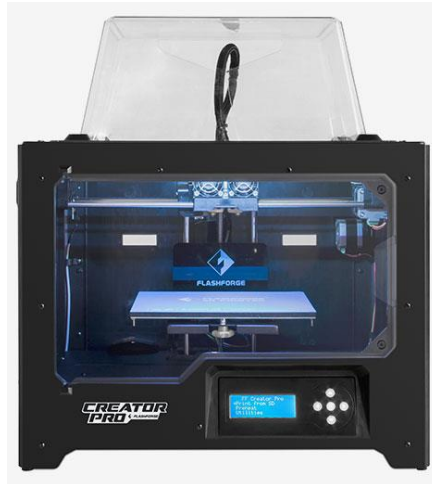
Gambar 2- 4 Skematik *Fused Deposition Modelling*

Sumber: (Durgashyam, Reddy, Balakrishna, & Satyanarayana, 2019)

FDM kini telah menjadi metode 3D *printing* yang paling banyak diaplikasikan penggunaannya karena kemudahan, biaya operasional yang murah, dan ramah lingkungan. Keunggulan tersebut meningkatkan pengembangan berbagai macam purwarupa produk dan proses manufaktur dalam berbagai bidang industri untuk berbagai aplikasi (Pambudi, 2017).

2.2.5 *Flashforge Creator Pro*

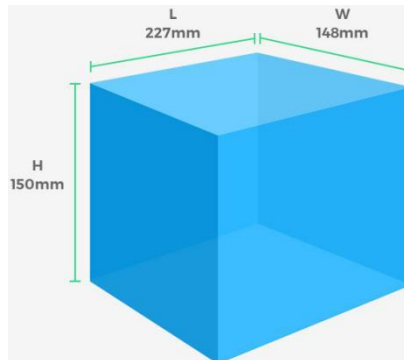
Mesin 3D *printing Flashforge Creator Pro* merupakan mesin 3D *printing* sederhana berbasis teknologi *open source*. Mesin 3D *printing* ini sangat cocok untuk sebagian besar *filament* yang beredar di pasar. Terdapat 2 buah ekstruder sehingga dapat dilakukan pencetakan *filament* ganda. Mesin 3D *printing Flashforge Creator Pro* dapat ditunjukkan pada gambar 2- 5.



Gambar 2- 5 *Flashforge Creator Pro*

Sumber: www.flashforge.com

Build plate Creator Pro terbuat dari aluminium dengan ketebalan 6,5 mm. Aluminium *plate* ini dapat dipanaskan hingga suhu yang diinginkan dari berbagai filamen. Kapasitas dimensi cetak dapat ditunjukkan pada gambar 2- 6 yaitu 227 mm x 148 mm x 150 mm.



Gambar 2- 6 *Build Volume*

Sumber: www.flashforge.com

Kapasitas suhu maksimal ekstruder dari Creator Pro mencapai 240°C dan suhu maksimal platform hingga 120°C. *Filament* yang dapat digunakan pada mesin ini yaitu PLA, TPU 95A, ABS, PETG. Sistem pencetakan menggunakan data *output X3G files* yang kemudian ditransfer menggunakan *SD card*. Untuk spesifikasi mesin 3D *printing Flashforge Creator Pro* lebih lengkap dapat ditunjukkan pada gambar 2- 7.

Specification			
Print		Device	
Extruder Number:	2	Device Measure:	526*360*403 (550) mm
Extruder Diameter:	0.4mm	Screen:	LCD screen
Maximum Set Temperature Of Extruder:	240°C	Net Weight:	14.8kg
Print Speed:	10-100mm/s	Gross Weight:	21.5kg
Maximum Set Temperature Of Platform:	120°C	Input:	100-240 VAC, 47-63Hz
Support Filament:	PLA, TPU 95A, ABS, PETG	Output:	24V, 13.3A
Print Volume:	227*148*150mm	Power:	320w
Layer Resolution:	0.1mm-0.4mm	Spool:	External
Print Resolution:	±0.2mm		
Software/Communication		Other	
Data Transmission:	SD card	Camera:	no
Software:	FlashPrint	Filter Fan:	no
Output:	X3G files	Resume Print:	no
Input:	3MF/STL/OBJ/FPP/BMP/PNG/JPG/JPEG files	Running Noise:	50dB
		Working Environment:	18-30°C

Gambar 2- 7 Spesifikasi *Flashforge Creator Pro*

Sumber: www.flashforge.com

2.2.6 *Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG)*

Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG) merupakan salah satu jenis polimer yang memiliki densitas 1,38 g/cm³ dan mempunyai banyak keunggulan, antara lain ketahanan terhadap kondisi cuaca, tidak rusak atau kehilangan warnanya saat terkena sinar UV, tidak menimbulkan bau saat proses pencetakan, memiliki sifat adhesif yang unik sehingga mampu menempel di meja pemanas dengan baik, dan memiliki faktor penyusutan termal yang rendah (Grabowik, Kalinowski, Ćwikła, Paprocka, & Kogut, 2017). *Filament* dan spesifikasi PETG dapat ditunjukkan pada gambar 2- 8 dan gambar 2- 9.



Gambar 2- 8 *Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG)*

Sumber: (Grabowik, Kalinowski, Ćwikła, Paprocka, & Kogut, 2017)

Tensile Properties ASTM D638 - Type V		
Property	Imperial	Metric
Toughness*	3.5 ft-lb/in ²	7.3 KJ/m ²
Tensile Modulus	304,579 psi	2.1 GPa
Ultimate Tensile Strength	6640 psi	45.8 MPa
Tensile Strength at Yield	7690 psi	53 MPa
Elongation at Yield	14%	14%
Elongation at Break	18%	18%
3D Printing Properties		
Property	Imperial	Metric
Expected Max Linear Print Speed	2.36 in/s	60 mm/s
Hardness, ASTM D2240	85D	85D
Solid Density, ASTM D792	4.66 x 10 ⁻² lb/in ³	1.29 g/cc
Impact Properties		
Property	Imperial	Metric
Notched Izod (machined), 23 C, ASTM D256	1.5 ft-lb/in	80 J/m
Gardner Impact, 23 C, ASTM D3029	26.7 ft-lb	36 J
Thermal Properties		
Property	Imperial	Metric
Glass Transition by DSC, ASTM E1356	180 F	82 C
Glass Transition by DMA, ASTM D792	176 F	80 C
Heat Deflection Temperature, ASTM D648	163 F	73 C
Coefficient of Thermal Expansion, ASTM E832	38 x 10 ⁻⁶ in/in*F	68 x 10 ⁻⁶ m/m-K
Heat Capacity, ASTM E1269	0.29 Btu/lb*F	1200 J/kg-K
Thermal Conductivity, ASTM C518	2.0 Btu-in/hr/ft ² *F	0.29 W/m-K

Gambar 2- 9 PETG Data Sheet

Sumber: www.sd3d.com

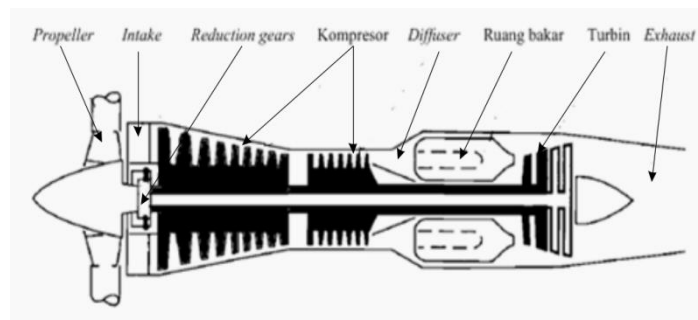
2.2.7 Alat Peraga

Alat peraga merupakan suatu alat yang digunakan untuk membantu siswa dalam memudahkan dan memahami suatu konsep secara tidak langsung. Alat peraga tersebut tidak dapat menjelaskan konsep secara langsung, melainkan siswa harus menggunakan terlebih dahulu dengan memanipulasi variabel-variabel sehingga siswa akan memperoleh konsep yang dipelajari secara langsung. Ketika siswa menggunakan alat peraga, siswa akan melakukan suatu eksperimen, sehingga siswa akan mendapatkan pengalaman langsung yang berarti (Mujadi, 1994).

Media merupakan sesuatu yang dapat menyalurkan pesan dari pengirim ke penerima, sehingga dapat menarik perhatian dan merangsang pikiran siswa sedemikian rupa sehingga proses belajar pun terjadi. (Sadiman & S, 2010)

2.2.8 *Turboprop*

Mesin pesawat *Turboprop* adalah suatu jenis mesin turbin yang digunakan untuk menggerakkan baling-baling pesawat melalui suatu rangkaian roda gigi. Turbin gas dirancang khusus untuk pemakaian mesin tersebut, dimana sebagian besar keluaran gas digunakan untuk menggerakkan baling-baling. Energi gas buang dari mesin ini sangat kecil jika dibandingkan dengan jenis mesin jet. Baling-baling dipasang pada turbin melalui suatu roda gigi penurun putaran, yang akan merubah putaran tinggi dari turbin dengan torsi yang rendah menjadi putaran rendah dengan torsi yang tinggi. Mesin *turboprop* biasanya terdiri dari bagian *intake* (masukan), kompresor, ruang bakar, turbin dan suatu poros baling-baling (Yudanarsa, 2011). Mesin Turboprop ditunjukkan pada gambar 2- 10.



Gambar 2- 10 Diagram Skematik Turboprop Sederhana

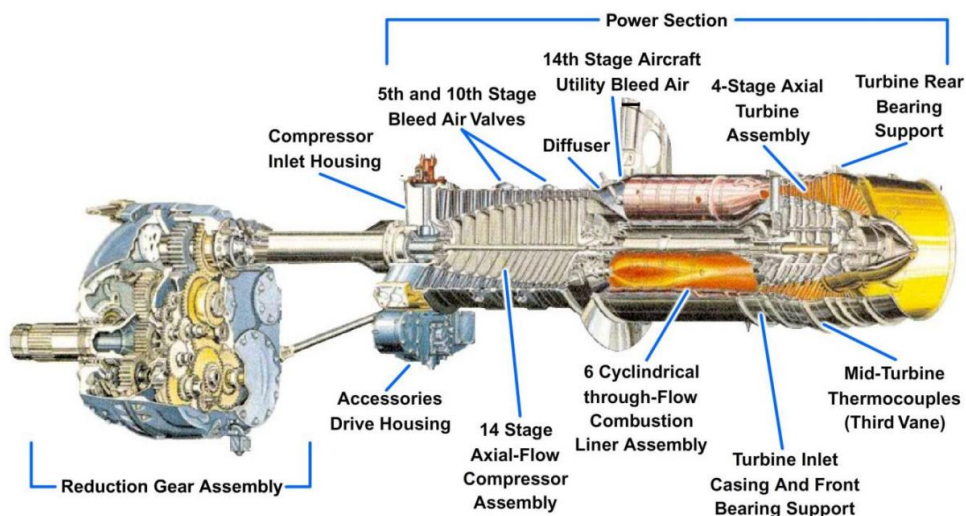
Sumber: (Iskandar, Santika, & Rasyid, 2017)

Cara kerja mesin jet *turboprop* yaitu udara masuk melalui *intake*, kemudian udara melalui rangkaian kompresor tekanan rendah ke tekanan tinggi sehingga tekanan dan temperatur udara mengalami kenaikan. Pada ruang pembakaran, proses pembakaran terjadi oleh bahan bakar yang dicampurkan dengan udara yang telah terkompresi tersebut. Proses pembakaran berlangsung pada tekanan konstan yang berfungsi untuk menaikkan temperatur gas. Pembakaran tersebut menghasilkan gas panas yang kemudian diekspansi melalui turbin. Daya yang dibangkitkan oleh turbin, sekitar 60% digunakan untuk menggerakkan kompresor dan sisanya ditransmisikan melalui *reduction gear* untuk memutar baling-baling. Sedangkan gas keluaran turbin keluar melalui *exhaust* (Iskandar, Santika, & Rasyid, 2017).

2.2.9 Allison T56

Allison T56 merupakan sebuah mesin jet *turboprop* terbanyak di dunia dengan jumlah mesin yang telah diproduksi sekitar 18.000 mesin dan terakumulasi memiliki lebih dari 200 juta jam terbang. Allison T56 *turboprop* digunakan oleh berbagai macam pesawat baling-baling, termasuk Lockheed Martin C-130 Hercules, Lockheed Martin P-3 Orion, Northrop Grumman E-2C Hawkeye, dan Northrop Grumman C-2A Greyhound (Rolls-Royce plc, 2013).

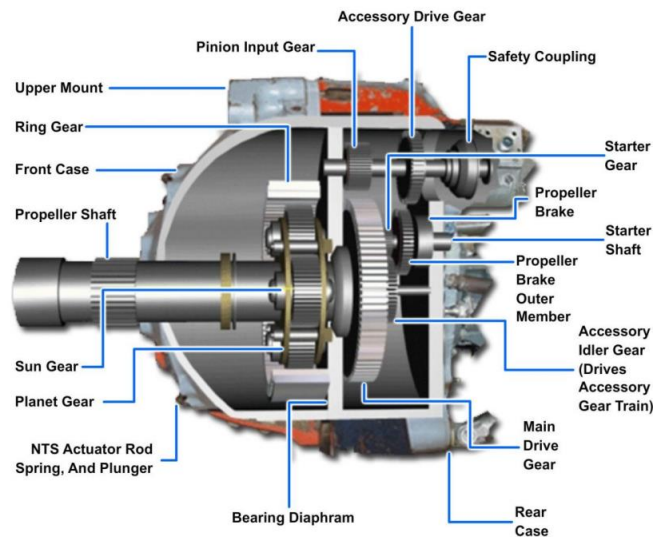
Pada dasarnya mesin *turboprop* ini terdiri dari poros baling-baling, *gearbox*, poros kopling, kompresor aliran aksial 14 tahap, bagian pembakaran, dan turbin empat tahap. Diagram skematik Allison T56 dapat ditunjukkan pada gambar 2- 11.



Gambar 2- 11 Diagram Skematik Allison T56

Sumber: (India FDocuments, 2015)

Allison T56 memiliki sebuah *reduction gear assembly* (RGA) dengan rasio gear 1:13,54. Pada bagian ini terjadi perubahan Rpm menjadi lebih tinggi, sedangkan torsi rendah pada bagian turbin digunakan untuk rpm rendah. Torsi yang tinggi diperlukan untuk pengoperasian baling-baling yang efisien. Komponen dari *reduction gear assembly* (RGA) dapat ditunjukkan pada gambar 2- 12.



Gambar 2- 12 *Reduction Gear Assembly (RGA)*

Sumber: (India FDocuments, 2015)

Produksi mesin turboprop Allison T56 terkini memiliki tenaga sebesar 5.250shp yang bertipe *series IV*. *Series IV* memiliki tenaga 27% lebih besar, pembakaran 13% lebih irit, dan peningkatan kemampuan secara signifikan dibandingkan dengan Allison *series III*. Spesifikasi mesin Allison T56 dapat ditunjukkan pada gambar 2- 13.

Engine	T56-A Series III	T56-A Series IV
Power (shp)	4,591	5,250
Pressure ratio	9.5	11.5
Length (in)	146.3	146.1
Diameter (in)	27	27
Basic weight (lb)	1,920	1,940
Compressor	14HP	14HP
Turbine	4HP	4HP

Gambar 2- 13 Spesifikasi Mesin Allison T56

Sumber: (Rolls-Royce plc, 2013)

2.2.10 Lockheed C-130 Hercules

Lockheed C-130 Hercules merupakan sebuah pesawat kargo yang kebanyakan diterbangkan oleh angkatan udara dan angkatan laut Amerika Serikat. Pesawat ini mampu membawa pasukan tentara dalam jumlah besar dan muatan berupa perlengkapan militer yang cukup berat secara cepat dan efisien (Goldberg, 2003). Pesawat Lockheed C-130 Hercules dapat ditunjukkan gambar 2- 14.



Gambar 2- 14 Lockheed C-130 Hercules

Sumber: (Anjaney P. Kottapalli, 2010)

Lockheed C-130 Hercules dibekali dengan 4 buah mesin yang memiliki kemampuan *short take-off and landing* (STOL) dengan sayap yang tinggi dan besar, stabilisator vertikal yang besar, dan profil ekor kerucut yang terdapat pintu kargo yang cukup besar (Kubina, Trueman, Gaudine, & Lau, 2004). Spesifikasi Lockheed C-130 Hercules dapat ditunjukkan pada gambar 2- 15.

C-130H Specifications – Jane's All the World's Aircraft 1995-1996	
Wing span	132 ft 7 in
Wing chord (mean)	13 ft 8.5 in
Length	97 ft 9 in
Operating Weight Empty	76,469 lb
Max Internal Fuel Weight	44,330 lb
Max Payload	49,818 lb
Max Normal Take Off Weight	155,000 lb
Power plant	4 x Allison T56-A-15 (4,508 ehp)
Take Off Run	4,000 ft

Gambar 2- 15 Spesifikasi Lockheed C-130 Hercules

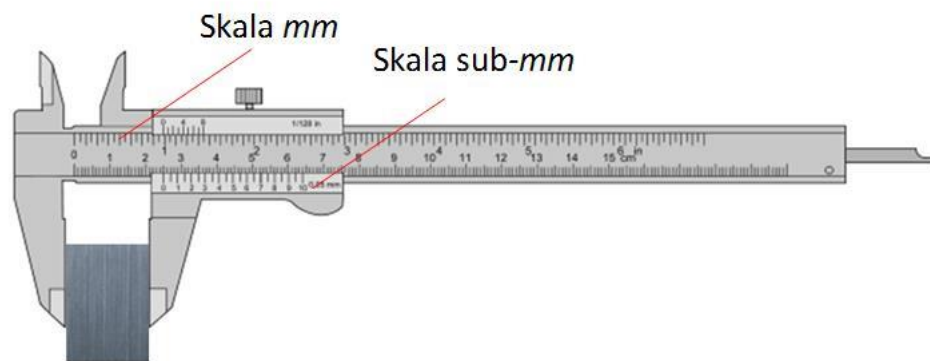
Sumber: (Anjaney P. Kottapalli, 2010)

2.2.11 Pengujian Geometri

Esensi dari metrologi adalah verifikasi dimensi dan geometri, yaitu proses untuk mengecek apakah dimensi dan geometri dari suatu produk yang dimanufaktur masih dalam batas toleransi dimensional dan geometri yang diberikan pada dimensi nominal produk tersebut. Pada prinsipnya, pengukuran adalah suatu proses komparasi suatu besaran suatu fitur yang diukur menggunakan suatu alat dengan suatu besaran referensi sehingga menghasilkan suatu kuantitas yang merepresentasikan besaran dari fitur tersebut.

Pengukuran dimensi (*size measurement*) adalah pengukuran yang mengukur panjang, diameter, sudut, kedalaman, lebar dan lain sebagainya. Pada prinsipnya, pengukuran dimensi adalah pengukuran *size*. Sifat dasar dari pengukuran dimensi adalah panjang yang diukur akan secara proporsional bertambah seiring dengan peningkatan temperatur pada material yang diukur pada saat pengukuran berlangsung. Sedangkan, Pengukuran geometri (*form measurement*) adalah pengukuran yang dilakukan untuk memverifikasi toleransi geometri atau *geometric, dimensioning and tolerancing* (GD&T). Contoh dari pengukuran geometri adalah *flatness, perpendicularity, orientation, location, dan run-out*. (Syam, 2017)

Pada gambar 2- 16 menunjukkan sebuah jangka sorong. Jangka sorong mempunyai dua jenis skala, yaitu skala dengan resolusi 1 mm (skala *mm*) dan skala dengan resolusi sub-mm (skala Vernier). Resolusi dari skala Vernier sebuah jangka sorong pada umumnya adalah 0.05 mm (50 μm) dan skala Vernier tersebut dapat mencapai 0.01 mm (10 μm). Jangka sorong memiliki dua buah sisi datar yang saling parallel satu dengan lainnya, sehingga jangka sorong termasuk jenis alat ukur standar *end*.



Gambar 2- 16 Jangka Sorong dengan dua jenis skala

Sumber: (Syam, 2017)

Banyak variasi dari jangka sorong yang terdapat di pasaran, seperti jangka sorong dengan skala pembacaan digital dan jangka sorong dengan skala pembacaan berupa *dial gauge*. Jangka sorong dengan skala pembacaan digital sudah umum ditemui di industri-industri karena jangka sorong jenis ini sangat mudah untuk digunakan. Dengan skala pembacaan digital, seorang operator sangat mudah untuk langsung mengetahui hasil suatu pengukuran. Jangka sorong dengan *dial gauge* mempunyai resolusi yang tinggi, namun memiliki resiko kerusakan yang lebih besar karena sistem *dial gauge* yang lebih kompleks.

2.2.12 Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui tegangan, regangan, modulus elastisitas bahan dengan cara menarik spesimen sampai putus. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin menurut standar ASTM D 638 uji tarik atau dengan *universal testing standard*. Teori menyatakan bahwa suatu bahan berkelakuan secara elastis dan memperlihatkan suatu hubungan linier antara tegangan regangan yang disebut elastis secara linier. Hubungan linier antara tegangan regangan untuk suatu batang yang mengalami tarik atau tekan sehingga diperoleh modulus elastisitas material dinyatakan sebagai:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.1)$$

σ menunjukkan tegangan dalam Mpa, E adalah modulus elastisitas tarik dalam Mpa, dan ε adalah regangan dalam mm/mm.

Dimana hubungan antara beban tarik dan tegangan adalah:

$$P = \sigma \cdot A \quad (2.2)$$

P menunjukkan tekanan dalam N, σ adalah tegangan dalam Mpa, dan A adalah luas penampang dalam mm². Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibandingkan dengan panjang daerah ukur (*gage length*). Nilai regangan ini adalah regangan proporsional yang didapat dari garis dinyatakan sebagai:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \quad (2.3)$$

ε menunjukkan regangan dalam mm/mm, ΔL adalah pertambahan panjang dalam mm, dan L_o adalah panjang daerah ukur (*gage length*) dalam mm. Pada daerah proporsional yaitu daerah dimana tegangan regangan yang terjadi masih sebanding, defleksi yang terjadi masih bersifat elastis dan masih berlaku hukum Hooke. Besarnya nilai modulus elastisitas yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.4)$$

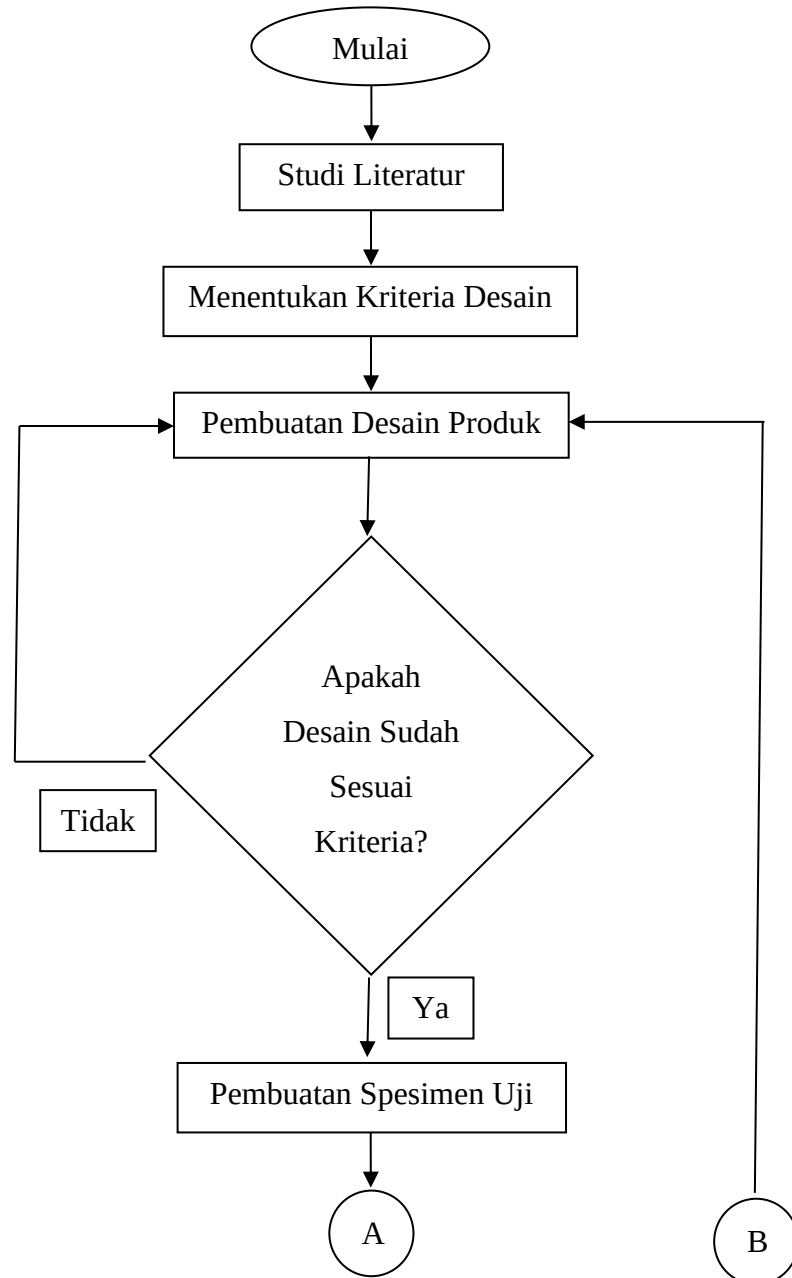
E menunjukkan modulus elastisitas tarik dalam Mpa, σ adalah kekuatan tarik dalam Mpa, dan ε adalah regangan dalam mm/mm (Surdia & Shinroku, 2005).

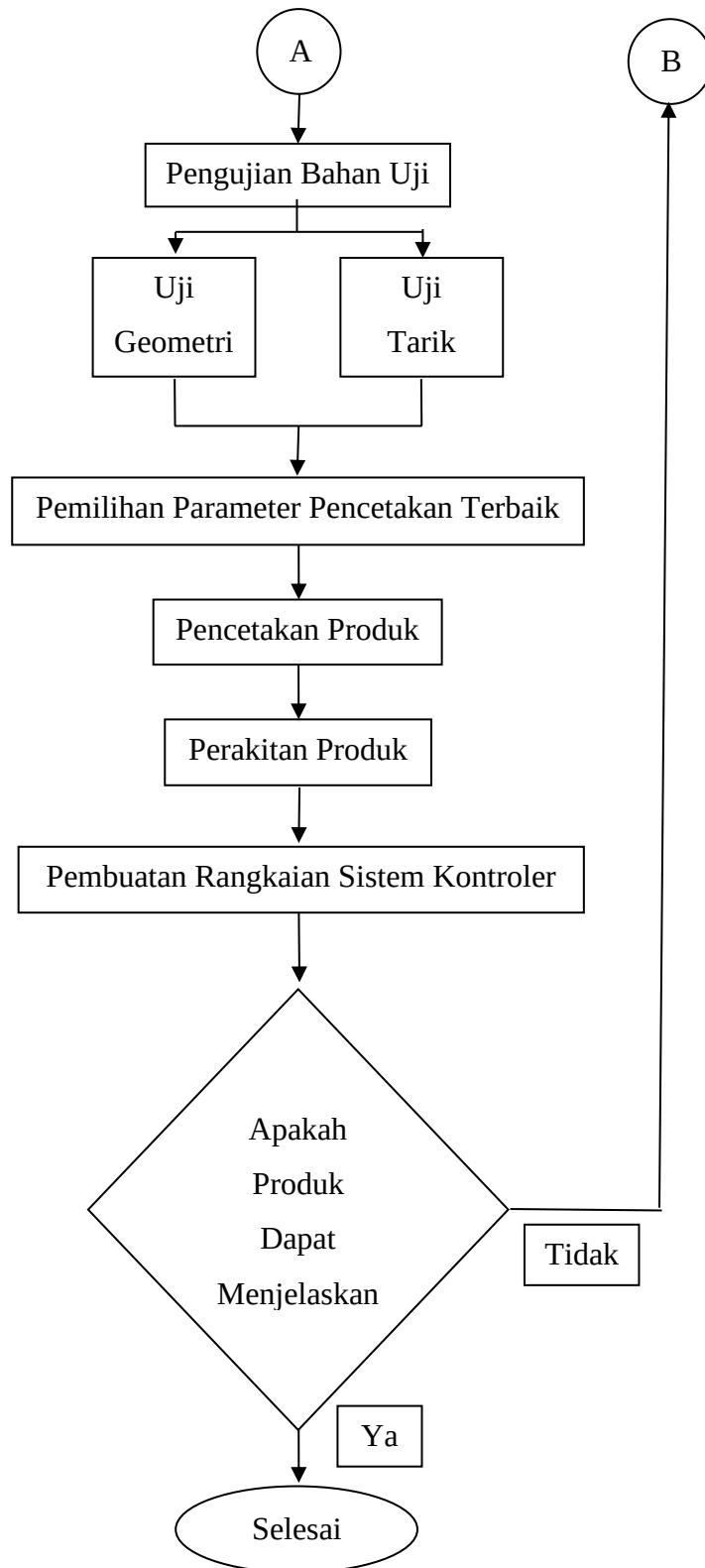
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan sesuai dengan alur penelitian yang telah ditentukan. Alur penelitian tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 3- 1 berikut:





Gambar 3- 1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Kriteria Desain

Adapun kriteria desain dari alat peraga mesin jet *turboprop* allison T56 yang dibuat adalah sebagai berikut:

1. Alat peraga yang dibuat dapat menjelaskan cara kerja dan mensimulasikan mekanisme gerak dari sebuah mesin jet *turboprop*.
2. Alat peraga yang dibuat dapat mudah dipahami oleh pengguna dalam mempelajari mekanisme gerak dari alat peraga.
3. Alat peraga yang dibuat harus aman dan dapat melindungi tangan pengguna dari putaran komponen mesin ketika alat peraga digunakan.

3.3 Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini dibutuhkan beberapa peralatan dan bahan yang digunakan untuk menunjang berlangsungnya penelitian. Peralatan dan bahan tersebut diantaranya sebagai berikut:

3.3.1 Peralatan

1. Laptop

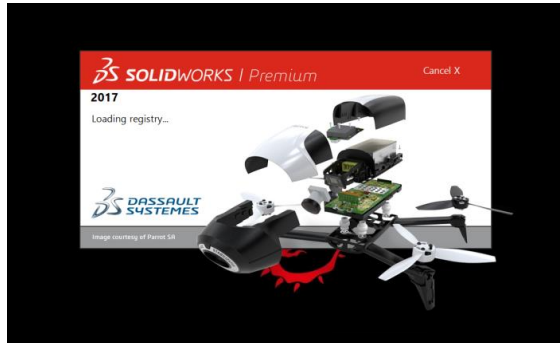
Laptop memiliki beberapa peranan yang sangat penting dalam penelitian ini, salah satunya digunakan untuk merancang bangun model alat peraga mesin jet *turboprop*. Laptop yang digunakan adalah Msi *Prestige Ps42-8ra*. Laptop Msi *Prestige Ps42-8ra* dapat ditunjukkan pada gambar 3- 2.



Gambar 3- 2 Laptop Msi *Prestige Ps42-8ra*

2. *Software Design 3D*

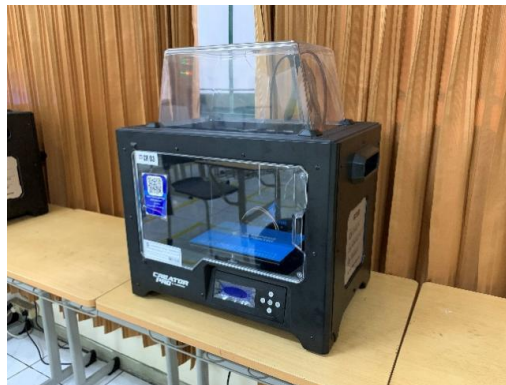
Software CAD yang digunakan untuk menggambar desain secara 3D adalah *Solidwork 2017*. *Software* ini digunakan untuk melakukan pemodelan alat peraga mesin jet *turboprop* serta mampu melakukan simulasi mekanisme gerak dari model yang dibuat. *Software solidwork 2017* dapat ditunjukkan pada gambar 3- 3.



Gambar 3- 3 *Software Solidworks 2017*

3. *Mesin 3D Printing*

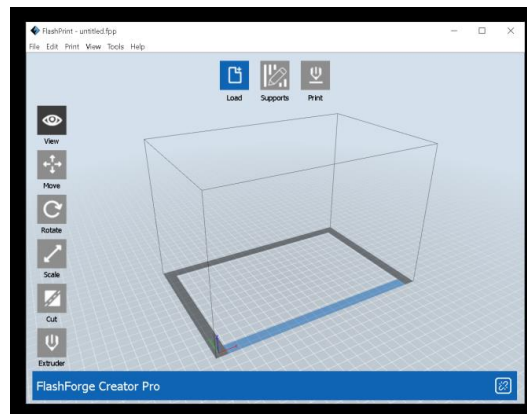
Mesin 3D printing yang digunakan adalah *Flashforge Creator Pro*. Mesin ini dilengkapi dengan dua buah extruder dan memiliki kapasitas dimensi cetak 227mm x 148mm x 150mm. Mesin 3D printing *Flashforge Creator Pro* dapat ditunjukkan pada gambar 3- 4.



Gambar 3- 4 *Mesin 3D printing Flashforge Creator Pro*

4. Software Pencetakan

Software pencetakan digunakan untuk memberikan program cetak pada mesin 3D *printer* yang berupa *G-code*. Pada penelitian ini *software* pencetakan yang digunakan adalah *Flashprint*. Dalam *software* ini dapat dilakukan pengaturan *setting-an* parameter *print* dan peletakan posisi objek model yang telah dibuat sesuai dengan kebutuhan saat proses pencetakan. *Software* pencetakan *Flashprint* dapat ditunjukkan pada gambar 3- 5.



Gambar 3- 5 *Software Flashprint*

5. Jangka Sorong

Jangka sorong yang digunakan merupakan jangka sorong *digital* merk Krisbow dengan ketelitian 0,02mm. Alat ukur ini digunakan dalam proses pengujian geometri pada spesimen uji yang telah dicetak. Jangka sorong yang digunakan dapat ditunjukkan pada gambar 3- 6.



Gambar 3- 6 Jangka Sorong *Digital* 0,02 mm

6. Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik yang digunakan pada penelitian ini adalah JTM-UTC 220 Serial 6604. Mesin ini digunakan untuk mengetahui tegangan maksimal dari spesimen uji yang telah dicetak, sehingga dapat ditentukan variasi parameter cetak yang terbaik. Mesin uji tarik JTM-UTC 220 Serial 6604 dapat ditunjukkan pada gambar 3- 7.



Gambar 3- 7 Mesin Uji Tarik JTM-UTC 220 Serial 6604

7. Mesin CNC Laser Cutting

Mesin CNC yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin *Laser Cutting*. Mesin ini digunakan untuk memotong material akrilik yang nantinya digunakan sebagaiudukan produk alat peraga mesin jet turboprop. Mesin CNC ini dapat ditunjukkan pada gambar 3- 8.



Gambar 3- 8 Mesin CNC Laser Cutting

8. *Software* Pemrograman Rangkaian Elektrik

Software Pemrograman yang digunakan pada penelitian ini adalah Arduino. *Software* ini digunakan untuk merancang program yang digunakan pada rangkaian elektrik produk alat peraga. *Software* pemrograman rangkaian elektrik dapat ditunjukkan pada gambar 3- 9.



Gambar 3- 9 *Software* Arduino

3.3.2 Bahan

1. *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG)

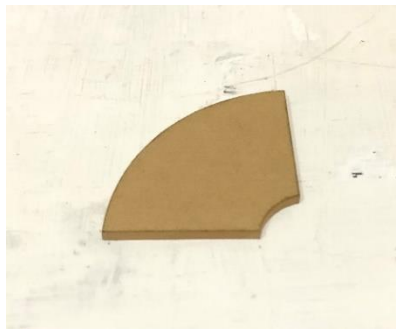
PETG merupakan material *print* yang banyak memiliki keunggulan, diantaranya ketahanan terhadap kondisi cuaca, tidak rusak atau kehilangan warnanya saat terkena sinar UV, tidak menimbulkan bau saat proses pencetakan, memiliki sifat adhesif yang unik sehingga mampu menempel di meja pemanas dengan baik, dan memiliki faktor penyusutan termal yang rendah. *Filament* PETG dapat ditunjukkan pada gambar 3- 10.



Gambar 3- 10 *Filament* PETG

2. Akrilik

Material akrilik yang digunakan merupakan akrilik dengan ketebalan 2 mm, 5 mm, 10 mm. Material akrilik 10 mm dipilih karena dianggap lebih kuat daripada *filament* PETG jika digunakan sebagai dudukan alat peraga mesin jet turboprop. Selain itu, penggunaan material akrilik dapat lebih menghemat material daripada menggunakan *filament* PETG. Akrilik 5 mm digunakan untuk *box* dan *tower box* rangkaian elektrik. Sedangkan, akrilik 2 mm digunakan sebagai penutup dari *frame* penutup komponen gerak pada produk. Material akrilik dapat ditunjukkan pada gambar 3- 11.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3- 11 Akrilik a) Ketebalan 2 mm; b) Ketebalan 5 mm; (c) Ketebalan 10 mm

3. Papan Kayu

Material papan kayu yang digunakan merupakan papan kayu dengan ketebalan 5 mm. Material ini digunakan sebagai bahan dalam proses *laser cutting* untuk membuat *spur gear*. Spur gear ini digunakan pada mekanisme *gear* dari motor penggerak ke poros mesin alat peraga. Material papan kayu dapat ditunjukkan pada gambar 3- 12.



Gambar 3- 12 Papan Kayu 5 mm

4. Poros Besi

Material poros besi yang digunakan merupakan poros besi dengan diameter 8 mm. Material ini digunakan sebagai poros komponen mesin dan poros komponen baling-baling. Material papan kayu dapat ditunjukkan pada gambar 3- 13.



Gambar 3- 13 Poros Besi 8 mm

5. *Bearing*

Material *bearing* yang digunakan merupakan *bearing* dengan tipe 608 ZZ, 678 ZZ, dan 693 ZZ. Material ini digunakan sebagaiudukan poros komponen mesin, komponen baling-baling dan komponen penutup komponen gerak alat peraga. Material *bearing* dapat ditunjukkan pada gambar 3- 14.



Gambar 3- 14 *Bearing*

6. *Rigid Flange Coupling*

Material *rigid flange coupling* yang digunakan merupakan *rigid flange coupling* dengan tipe M8 dan M3. Material ini digunakan sebagaiudukan antara poros dan *spur gear*. Manfaat dari material ini adalah agar *spur gear* dapat duduk di poros dengan kaku sehingga saat mekanisme *spur gear* bergerak tidak terjadi putaran yang goyang. Material *rigid flange coupling* dapat ditunjukkan pada gambar 3- 15.



Gambar 3- 15 *Rigid Flange Coupling* M8 & M3

7. Baut Mur

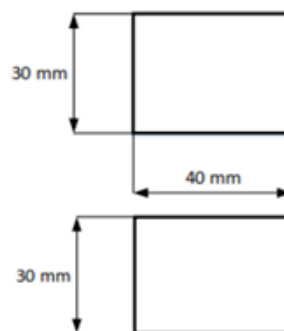
Material baut mur yang digunakan merupakan baut mur dengan tipe M2, M3, dan M4. Material ini digunakan sebagai pengunci *rigid flange coupling* dengan papan *spur gear* dan poros penutup komponen gerak alat peraga. Material baut mur dapat ditunjukkan pada gambar 3- 16.



Gambar 3- 16 Baut Mur M2, M3, M4

3.4 Pengujian Geometri

Pengujian geometri pada penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui penyimpangan ukuran yang terjadi terhadap objek hasil cetak dari variasi parameter pencetakan yang telah ditentukan. Pada objek hasil cetak umumnya mengalami penurunan temperatur ketika mesin telah selesai melakukan pencetakan. Hal ini berdampak kepada objek hasil cetak yang memungkinkan mengalami penyimpangan ukuran. Maka dari itu, pengujian geometri sangat penting untuk dilakukan guna menentukan parameter cetak yang terbaik sehingga penyimpangan ukuran yang terjadi dapat diminimalisir. Pada pengujian ini spesimen uji yang digunakan berbentuk balok seperti yang dapat ditunjukkan pada gambar 3- 17.



Gambar 3- 17 Ukuran Spesimen Uji Geometri

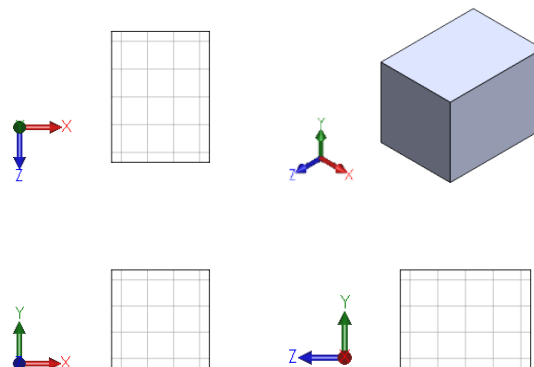
Sumber: (Pamasaria, Herianto, & Saputra, 2019)

Pengujian geometri ini dilakukan dengan menggunakan 2 buah parameter yang divariasikan, diantaranya variasi parameter suhu dan variasi parameter kecepatan. Dalam 1 kondisi menggunakan 3 buah sampel uji, sehingga pada pengujian geometri ini terdapat 18 buah spesimen uji. Nilai parameter yang divariasikan tertera pada tabel 3- 1.

Tabel 3- 1 Variasi Parameter Suhu *Nozzle* Pencetakan Uji Geometri

NO	Sampel	Parameter Tetap				Parameter Variasi
		Tebal <i>Layer</i> (mm)	Suhu Meja (°C)	<i>Density</i> (%)	Kecepatan (mm/s)	Suhu <i>Nozzle</i> (°C)
1	I	0,17	60	80	30	230
2	II	0,17	60	80	30	240
3	III	0,17	60	80	30	250

Setelah dilakukan pencetakan 3D spesimen uji sesuai dengan *setting-an* parameter seperti yang tertera pada tabel 3- 1. Selanjutnya, dilakukan pengukuran spesimen uji menggunakan jangka sorong *digital* pada bagian depan, atas, dan samping spesimen uji seperti yang dapat ditunjukkan pada gambar 3- 18.



Gambar 3- 18 Garis Pengukuran Uji Geometri

Pada gambar 3- 18 merupakan tampilan dari spesimen uji geometri dengan proyeksi amerika. Dimana, sisi depan dari spesimen uji geometri berada pada sumbu x dan y, sisi atas pada sumbu x dan z, dan sisi samping pada sumbu z dan y.

Dari hasil parameter terbaik variasi parameter suhu, kemudian dilanjutkan dengan melakukan pengujian geometri berikutnya menggunakan variasi parameter kecepatan. *Setting-an* pencetakan 3D spesimen uji geometri menggunakan variasi parameter kecepatan tertera pada tabel 3- 2.

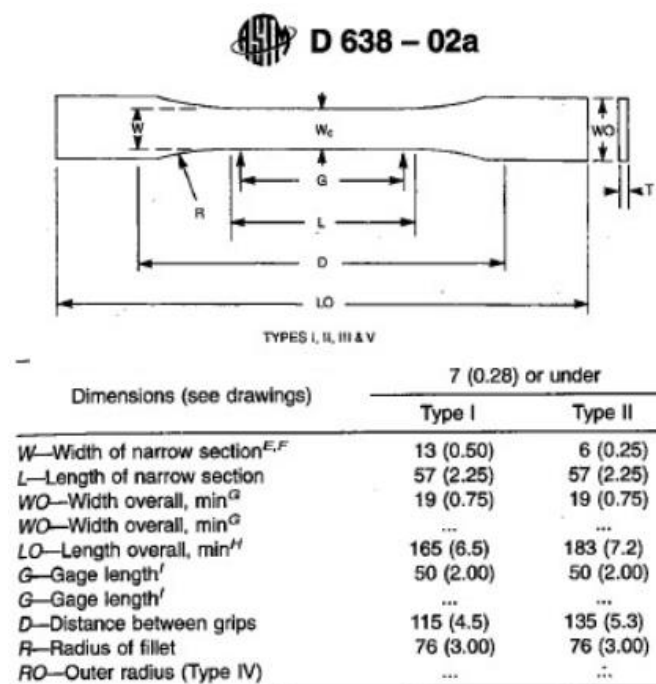
Tabel 3- 2 Variasi Parameter Kecepatan Pencetakan Uji Geometri

NO	Sampel	Parameter Tetap				Parameter Variasi
		Tebal <i>Layer</i> (mm)	Suhu Meja (°C)	<i>Density</i> (%)	Suhu <i>Nozzle</i> (°C)	Kecepatan (mm/s)
1	I	0,17	60	80	Suhu Terbaik	30
2	II	0,17	60	80	Suhu Terbaik	40
3	III	0,17	60	80	Suhu Terbaik	50

Setelah dilakukan pencetakan 3D spesimen uji sesuai dengan *setting-an* parameter seperti yang tertera pada tabel 3- 2. Selanjutnya, dilakukan pengukuran spesimen uji yang metode pengambilan datanya sama seperti pengujian geometri pada variasi parameter suhu.

3.5 Pengujian Tarik

Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan luluh terbaik terhadap objek hasil cetak dari variasi parameter pencetakan yang telah ditentukan. Kekuatan luluh dari hasil pengujian tarik terbaik ditujukan untuk mengoptimalkan pada bagian mekanisme *gearbox* reduksi. Hal ini dilakukan karena jika komponen hasil cetak pada bagian mekanisme *gearbox* reduksi kehilangan sifat elastisnya, maka kinerja putaran mesin dengan baling-baling tidak dapat bekerja dengan optimal. Pada pengujian ini spesimen uji yang digunakan adalah ASTM D 638-02 Tipe I seperti yang dapat ditunjukkan pada gambar 3- 19.



Gambar 3- 19 Standar Ukuran Spesimen Uji ASTM D 638-02 Tipe I

Sumber: (Sudhakar, 2019)

Pengujian tarik ini dilakukan dengan menggunakan 2 buah parameter yang divariasikan, diantaranya variasi parameter kecepatan dan variasi parameter suhu. Dalam 1 kondisi menggunakan 3 buah sampel uji, sehingga pada pengujian tarik ini terdapat 18 buah spesimen uji. Nilai parameter yang divariasikan tertera pada tabel 3- 3.

Tabel 3- 3 Variasi Parameter Kecepatan Pencetakan Uji Tarik

NO	Sampel	Parameter Tetap				Parameter Variasi
		Tebal <i>Layer</i> (mm)	Suhu Meja (°C)	<i>Density</i> (%)	Kecepatan (mm/s)	Suhu <i>Nozzle</i> (°C)
1	I	0,17	60	80	Kecepatan Terbaik	230
2	II	0,17	60	80	Kecepatan Terbaik	240
3	III	0,17	60	80	Kecepatan Terbaik	250

Setelah dilakukan pengujian tarik dengan menggunakan variasi parameter kecepatan, maka didapatkan hasil parameter terbaik pada variasi parameter kecepatan. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan pengujian tarik berikutnya menggunakan variasi parameter suhu. *Setting-an* pencetakan 3D spesimen uji tarik menggunakan variasi parameter suhu tertera pada tabel 3- 4.

Tabel 3- 4 Variasi Parameter Suhu Pencetakan Uji Tarik

NO	Sampel	Parameter Tetap				Parameter Variasi
		Tebal <i>Layer</i> (mm)	Suhu Meja (°C)	<i>Density</i> (%)	Suhu <i>Nozzle</i> (°C)	Kecepatan (mm/s)
1	I	0,17	60	80	250	30
2	II	0,17	60	80	250	40
3	III	0,17	60	80	250	50

3.6 Pembuatan Produk Alat Peraga

Pada pembuatan produk alat peraga mesin jet *turboprop* ini digunakan mesin 3D *printing* dengan material PETG. Dalam proses pencetakan produk pada penelitian ini menggunakan variasi parameter terbaik dari hasil pengujian geometri dan pengujian tarik yang dilakukan sebelumnya. Pengujian parameter tersebut sangat penting untuk dilakukan karena produk alat peraga yang dibuat harus sepresisi mungkin dengan desain model yang telah dibuat sebelumnya, sehingga produk yang dicetak mampu melakukan mekanisme gerak dengan baik. Adapun

daftar perancangan desain komponen dari produk alat peraga mesin jet *turboprop* Allison T56 yang akan dibuat tertera pada tabel 3- 5.

Tabel 3- 5 Daftar Perancangan Desain Komponen Produk yang Akan Dibuat

NO	Perancangan Desain Komponen Produk yang Akan Dibuat
1	<i>Propeller</i>
2	<i>Reduction Gearbox</i>
3	Cover Pelindung RGA
4	Poros (<i>shaft</i>)
5	Cover LED
6	<i>Engine Housing</i>
7	<i>14 Stage Axial-Flow Compressor</i>
8	Cover pelindung <i>Compressor</i>
9	<i>6 Cylindrical Through-Flow Combustion Liner</i>
10	<i>4 Stage Axial Turbine</i>
11	Cover Pelindung <i>Turbine</i>
12	Tail Cone
13	Spur Gear Motor Penggerak
14	Cover Pelindung Spur Gear
15	Tower Box
16	Penyangga
17	Fuel Injector Nozzle
18	Power Shaft Support

Berdasarkan tabel 3- 5, dalam penentuan ukuran tiap komponennya pada proses perancangan desain dilakukan secara improvisasi. Hal ini dilakukan karena data spesifikasi ukuran mesin yang berhasil didapat hanyalah berupa ukuran mesin secara keseluruhan, seperti panjang mesin keseluruhan, diameter mesin keseluruhan, dan diameter baling-baling secara keseluruhan. Improvisasi yang dilakukan adalah dengan cara membagi ukuran tiap komponen secara manual dengan membuat proporsional bentuk tiap ukurannya mengacu pada gambar dari bentuk mesin jet *turboprop* Allison T56 yang ada pada jurnal (India FDocuments, 2015) yang dijadikan sebagai acuan utama dalam merancang desain produk ini.

BAB 4

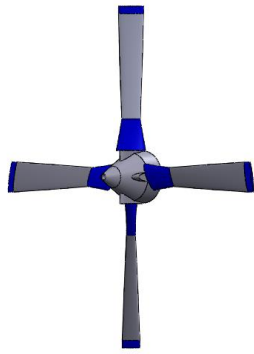
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Desain Produk

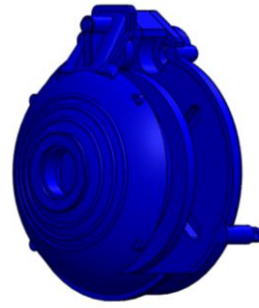
Pada proses perancangan desain alat peraga mesin jet turboprop, desain yang dipilih adalah mesin jet Allison T56. Acuan dalam merancang desain produk alat peraga ini berasal dari spesifikasi ukuran mesin secara keseluruhan dan gambar acuan mesin jet turboprop Allison T56 yang berasal dari jurnal yang berjudul “*Gas Turbines – Turboprop Engines and Propeller*” (India FDocuments, 2015).

Mesin jet Allison T56 ini memiliki ukuran asli yang cukup besar, sedangkan perancangan alat peraga mesin jet ini dilakukan dengan menggunakan mesin *3D printing flashforge creator pro* yang memiliki batas ukuran maksimal pencetakan sebesar 227 mm x 148 mm x 150 mm. Dari batasan ukuran maksimal pencetakan ini dibuatlah desain alat peraga mesin jet Allison T56 dengan memaksimalkan kapasitas pencetakan mesin tersebut. Maka dari itu perancangan desain dilakukan dengan menggunakan skala 1:6 dari ukuran mesin jet Allison T56 yang sesungguhnya.

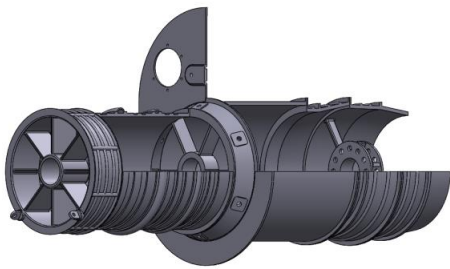
Desain produk yang dirancang hanya untuk dapat menampilkan mekanisme gerak putaran baling-baling dan mesin pada tiap kondisi putaran mesin saja. Namun pada bagian desain baling-baling tidak dibuat agar dapat membuka dan menutup melainkan desain baling-baling dibuat tetap pada sumbu 0° saat kondisi mesin pesawat *ground idle*. Hasil desain produk yang dirancang dengan menggunakan *software solidworks 2017*, diantaranya terdiri dari beberapa perakitan komponen utama berikut: *propeller, reduction gearbox housing, engine housing, 14 stage axial-flow compressor, 6 cylindrical through-flow combustion liner, 4 stage axial turbine*, dan penyangga. Hasil perancangan desain komponen-komponen rakit tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 4- 1.



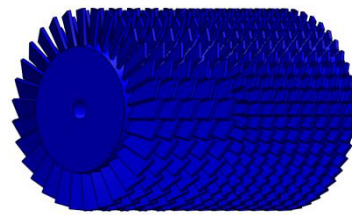
(a)



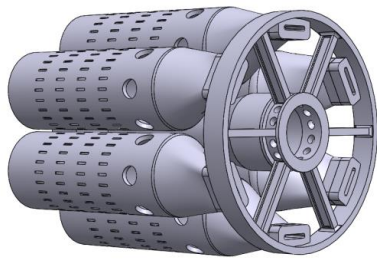
(b)



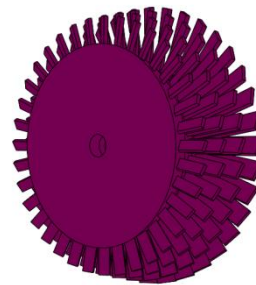
(c)



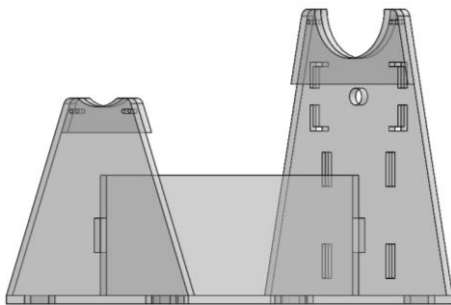
(d)



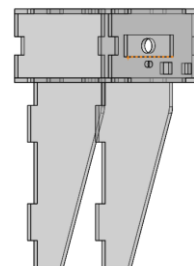
(e)



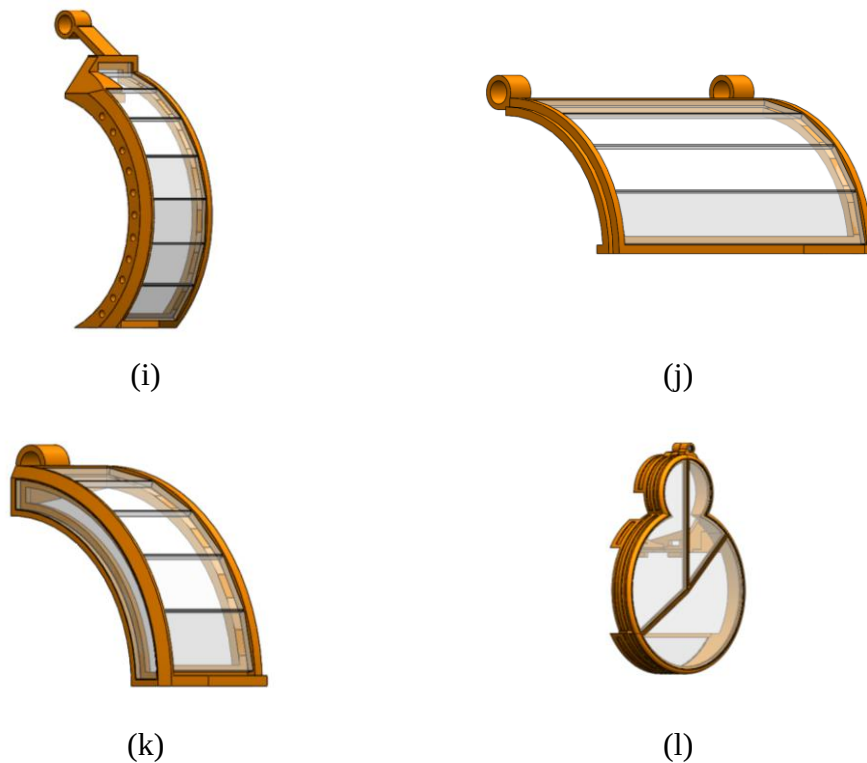
(f)



(g)

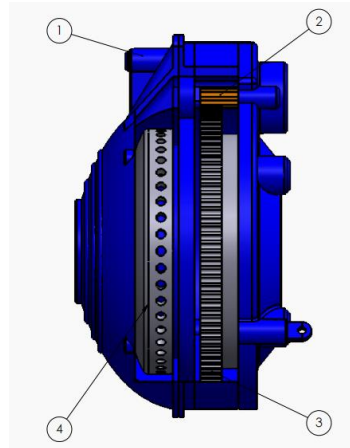


(h)



Gambar 4- 1 Hasil Perancangan Desain Komponen Rakit a) *Propeller*; b) *Reduction Gearbox Housing*; c) *Engine Housing*; d) *14 Stage Axial-Flow Compressor*; e) *6 Cylindrical Through-Flow Combustion Liner*; f) *4 Stage Axial Turbine*; g) *Penyangga*; h) *Tower Box Rangkaian Elektrik*; i) *Cover Pelindung Reduction Gearbox*; j) *Cover Pelindung Compressor*; k) *Cover Pelindung Turbine*; l) *Cover Pelindung Spur Gear*

Dari gambar 4- 1 (b) yang merupakan *Reduction Gear Housing Assembly*, kemudian dirakit dengan komponen-komponen *gear* lainnya sehingga menjadi satu kesatuan desain yaitu *Reduction Gearbox Assembly* (RGA). Pada bagian RGA ini menggunakan rasio *gear* 1:13,54 seperti rasio *gear* pada mesin jet Allison T56 yang sesungguhnya. Dengan memaksimalkan kapasitas *build volume* pada mesin 3D printing yang digunakan, maka ditentukan jumlah gigi *gear* dengan rasio 8:108 Hasil perancangan desain RGA dapat ditunjukkan pada gambar 4- 2.

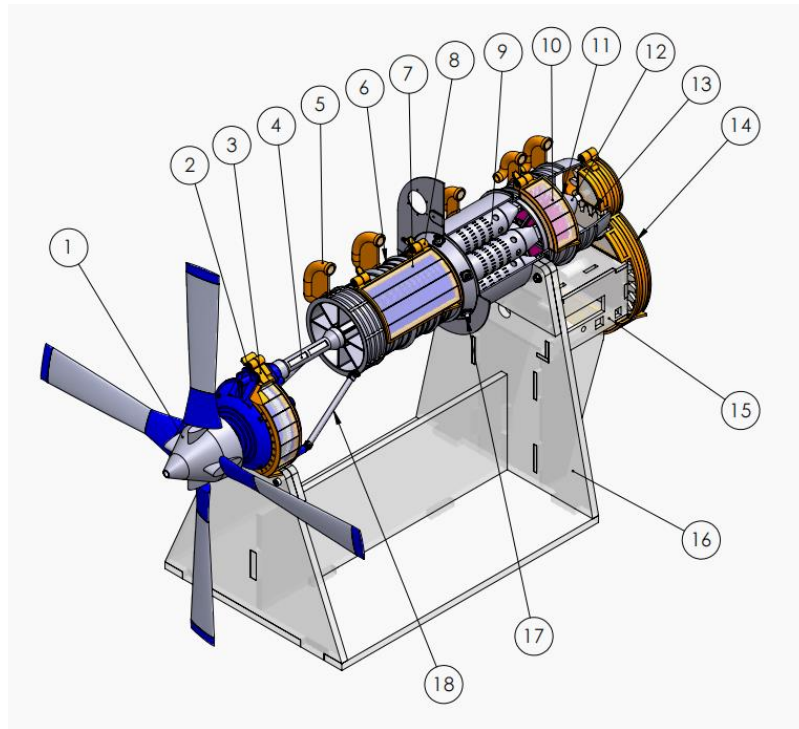


Gambar 4- 2 Hasil Perancangan Desain *Reduction Gearbox Assembly* (RGA)

Pada gambar 4- 2 merupakan hasil *assembly* desain komponen-komponen RGA yang diberikan *numbering balloons*. *Numbering balloons* tersebut digunakan untuk menunjukan bagian komponen-komponen yang ada pada desain produk, dimana keterangan *numbering balloons* tersebut seperti yang ada di bawah ini:

1. *Reduction Gearbox Housing*
2. *Gear 8T*
3. *Gear 108T*
4. *Ring Gear Housing Accessories*

Dari beberapa komponen seperti yang ditunjukkan pada gambar 4- 1 dan Gambar 4- 2 di atas, juga dihasilkan perancangan desain komponen penting lainnya, seperti poros 8 mm (*shaft*), *reduction gear shaft support*, *fuel injector nozzle* beserta *fuel injector nozzle cap*-nya, dan *tail cone* pada bagian *exhaust nozzle*. Kemudian dengan semua komponen-komponen yang telah dibuat tersebut, dihasilkan desain *assembly* dari produk alat peraga mesin jet Allison T56 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4- 3.



Gambar 4- 3 Hasil Perancangan Desain Produk

Pada gambar 4- 3 merupakan hasil *assembly* desain perancangan produk yang diberikan *numbering balloons*, dimana keterangan *numbering balloons* tersebut seperti yang ada di bawah ini:

1. *Propeller*
2. *Reduction Gearbox*
3. *Cover Pelindung Reduction Gearbox*
4. *Poros (shaft)*
5. *Cover LED*
6. *Engine Housing*
7. *14 Stage Axial-Flow Compressor*
8. *Cover Pelindung Compressor*
9. *6 Cylindrical Through-Flow Combustion Liner*
10. *4 Stage Axial Turbine*
11. *Cover Pelindung Turbine*
12. *Tail Cone*
13. *Spur Gear Motor Penggerak*
14. *Cover Pelindung Spur Gear*
15. *Tower Box*

16. Penyangga
17. *Fuel Injector Nozzle*
18. *Power Shaft Support*

Dari hasil perancangan desain produk yang telah berhasil dibuat, adapun kendala yang dialami saat melakukan proses perancangan desain produk ini. Kendala yang dialami dalam proses perancangan desain produk ini adalah dalam menentukan ukuran tiap komponen dengan skala desain produk yang ditentukan. Kesulitan ini disebabkan oleh sulitnya dalam mendapatkan data lengkap mengenai spesifikasi ukuran mesin pesawat asli. Data spesifikasi ukuran mesin yang berhasil didapat hanyalah berupa ukuran mesin secara keseluruhan, seperti panjang mesin keseluruhan, diameter mesin keseluruhan, dan diameter baling-baling secara keseluruhan. Dalam mengatasi permasalahan ini, penulis memanfaatkan data ukuran yang ada tersebut dan merancang desain produk dengan cara improvisasi. Improvisasi yang dilakukan adalah dengan cara membagi ukuran tiap komponen secara manual dengan membuat proporsional bentuk tiap ukurannya mengacu pada gambar dari bentuk mesin jet *turboprop* Allison T56 yang ada pada jurnal (India FDocuments, 2015) yang dijadikan sebagai acuan utama dalam merancang desain produk ini.

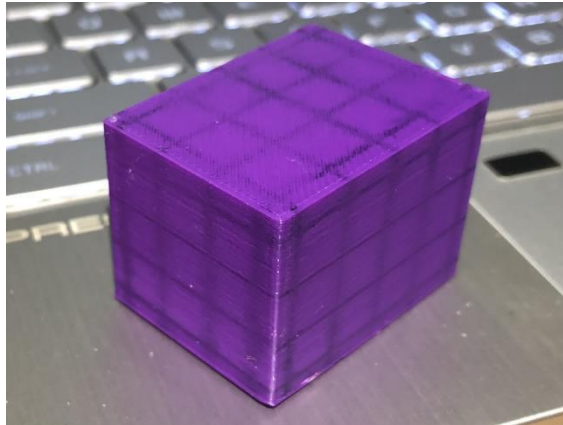
4.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian yang didapatkan dari beberapa pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

4.2.1 Hasil Pengujian Geometri

Pengujian geometri merupakan pengujian pertama yang dilakukan pada penelitian ini. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui parameter pencetakan terbaik terhadap penyimpangan ukuran yang terjadi pada objek hasil cetak. Pengujian geometri ini dilakukan dengan menggunakan 2 buah parameter variasi. Parameter yang divariasikan yaitu suhu pada *nozzle* dan kecepatan pencetakan. Spesimen uji yang telah dicetak menggunakan kedua buah parameter variasi tersebut kemudian dilakukan pengukuran pada bagian depan, atas, dan samping spesimen uji. Pengukuran tersebut dilakukan dengan menggunakan

jangka sorong digital dengan ketelitian 0,02 mm. Proses pengukuran ini dilakukan sebanyak 3 kali pada setiap garis bantu ukur spesimen uji seperti yang dapat ditunjukkan pada gambar 4- 4.



Gambar 4- 4 Spesimen Uji Geometri

Dari proses pengukuran yang telah dilakukan didapatkan hasil data dalam nilai satuan panjang (mm). Dalam proses pengolahan data hasil pengukuran tersebut, kemudian dilakukan penentuan nilai rata-rata ($\bar{x}$) guna mengetahui besaran nilai penyimpangan ukuran dari spesimen uji. Nilai rata-rata ($\bar{x}$) ini adalah perbandingan antara nilai penjumlahan dari semua data dengan banyaknya jumlah data dinyatakan sebagai :

$$(\bar{x}) = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n} \quad (4.1)$$

$\bar{x}$ menunjukan nilai rata-rata dalam mm, $\sum_{i=1}^k x_i$ adalah nilai penjumlahan dari semua data dalam mm, dan n adalah banyaknya jumlah data. Setelah mencetak spesimen uji sesuai dengan Tabel 4- 1, didapatkan hasil dari pengujian geometri pada variasi parameter suhu *nozzle* tertera pada tabel 4- 1.

Tabel 4- 1 Data Hasil Pengujian Geometri Variasi Parameter Suhu Nozzle

No	Spesimen	Dimensi Asli (mm)	Rata-rata Sisi yang Diuji (mm)		
			Depan	Atas	Samping
1	A1	30	30,203	30,188	30,007
2	B1	30	29,924	30,022	29,882
3	C1	30	29,983	30,109	30,008

A1 menunjukan spesimen uji dengan suhu 230 °C, B1 adalah spesimen uji dengan suhu 240 °C, dan C1 adalah spesimen uji dengan suhu 250 °C. Hasil dari nilai rata-rata ($\bar{x}$) pada pengukuran spesimen uji kemudian dilakukan pencarian nilai penyusutan atau pertambahan dalam bentuk persentase (%) dinyatakan sebagai:

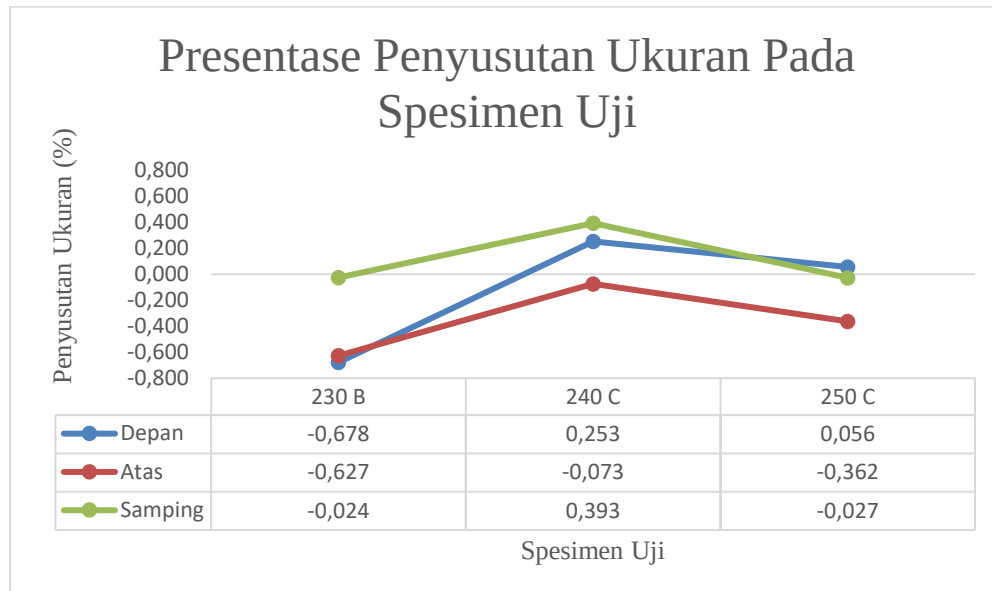
$$p = 100 - \left(\frac{x_0}{x} \times 100 \right) \quad (4.2)$$

P menunjukan nilai penyusutan panjang dalam %, x_0 adalah nilai yang ada dalam mm, dan x adalah nilai sesungguhnya dalam mm. Kemudian hasil dari perhitungan persamaan (4.2) tertera pada tabel 4- 2.

Tabel 4- 2 Persentase Penyusutan atau Pertambahan Ukuran Spesimen Uji Geometri Parameter Suhu Nozzle

No	Spesimen	Persentase Penyusutan (%)		
		Depan	Atas	Samping
1	A1	-0,678	-0,627	-0,024
2	B1	0,253	-0,073	0,393
3	C1	0,056	-0,362	-0,027

A1 menunjukan spesimen uji dengan suhu 230 °C, B1 adalah spesimen uji dengan suhu 240 °C, dan C1 adalah spesimen uji dengan suhu 250 °C. Kemudian dari data pada tabel 4- 2, guna mempermudah dalam pembacaan maka disajikan juga hasil data tersebut dalam bentuk grafik garis. Grafik garis tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 4- 5.



Gambar 4- 5 Grafik Hasil Pengujian Geometri Variasi Parameter Suhu *Nozzle*

Dari gambar 4- 5 di atas, nilai positif merupakan nilai pertambahan ukuran dan nilai negatif merupakan nilai penyusutan ukuran pada spesimen uji hasil pencetakan terhadap parameter variasi yang digunakan. Semakin dekat titik pada garis grafik dengan batas garis nol, maka semakin sedikit nilai penyimpangan ukuran tersebut. Dari ketiga parameter suhu *nozzle* yang dilakukan pada pengujian dapat dilihat pada Gambar 4- 5 bahwa nilai yang paling mendekati nol atau yang nilai penyimpangan ukurannya paling minim adalah pada suhu *nozzle* 250 °C. Jadi, parameter suhu *nozzle* terbaik dalam pengujian ini adalah 250 °C.

Setelah dilakukan pengujian geometri menggunakan variasi parameter suhu *nozzle* dan mendapatkan nilai parameter terbaiknya, kemudian dilakukan kembali pengujian geometri dengan menggunakan variasi parameter kecepatan guna menentukan nilai parameter kecepatan cetak terbaik. Setelah mencetak spesimen uji sesuai dengan tabel 3- 2, didapatkan hasil dari pengujian geometri pada variasi parameter kecepatan cetak tertera pada tabel 4- 3.

Tabel 4- 3 Data Hasil Pengujian Geometri Variasi Parameter Kecepatan Cetak

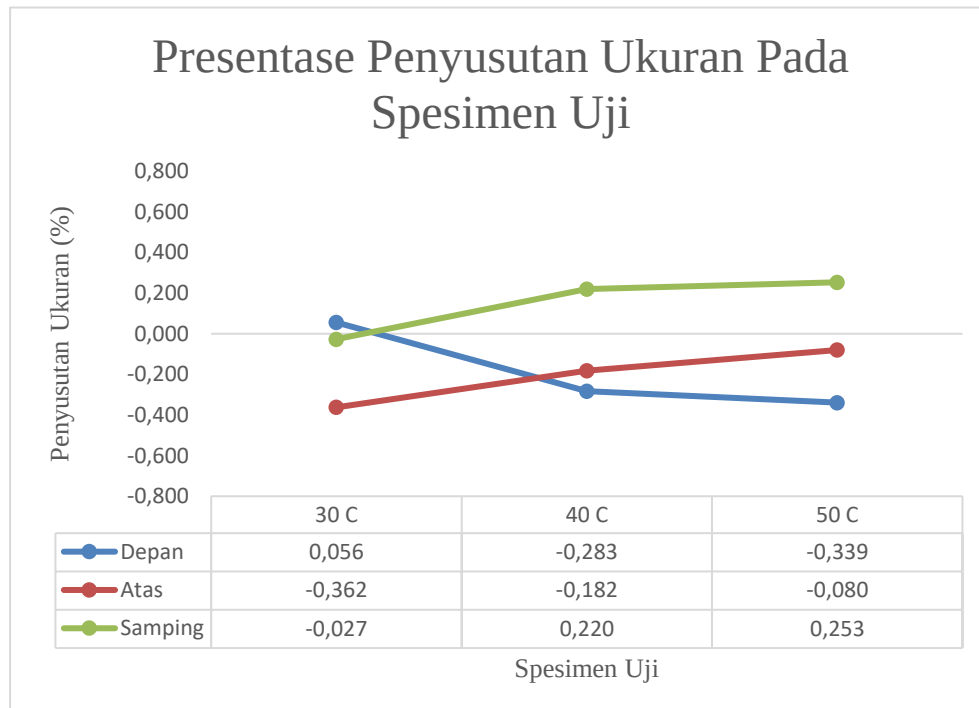
No	Spesimen	Dimensi Asli (mm)	Rata-rata Sisi yang Diuji (mm)		
			Depan	Atas	Samping
1	A2	30	29,983	30,109	30,008
2	B2	30	30,085	30,055	29,934
3	C2	30	30,102	30,024	29,924

A2 menunjukan spesimen uji dengan kecepatan 30 mm/s, B2 adalah spesimen uji dengan kecepatan 40 mm/s, dan C2 adalah spesimen uji dengan kecepatan 50 mm/s. Hasil dari nilai rata-rata ($\bar{x}$) pada pengukuran spesimen uji kemudian dilakukan pencarian nilai penyusutan atau pertambahan dalam bentuk persentase (%) menggunakan persamaan (4.2). Kemudian hasil dari perhitungan tersebut tertera pada tabel 4- 4.

Tabel 4- 4 Persentase Penyusutan atau Pertambahan Ukuran Spesimen Uji
Geometri Parameter Kecepatan Cetak

No	Spesimen	Persentase Penyusutan (%)		
		Depan	Atas	Samping
1	A2	0,056	-0,362	-0,027
2	B2	-0,283	-0,182	0,220
3	C2	-0,339	-0,080	0,253

A1 menunjukan spesimen uji dengan kecepatan 30 mm/s, B1 adalah spesimen uji dengan kecepatan 40 mm/s, dan C1 adalah spesimen uji dengan kecepatan 50 mm/s. Kemudian dari data pada tabel 4- 4, guna mempermudah dalam pembacaan maka disajikan juga hasil data tersebut dalam bentuk grafik garis. Grafik garis tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 4- 6.



Gambar 4- 6 Grafik Hasil Pengujian Geometri Variasi Parameter Kecepatan Cetak

Dari ketiga parameter kecepatan cetak yang dilakukan pada pengujian dapat dilihat pada gambar 4- 6 bahwa nilai yang paling mendekati nol atau yang nilai penyimpangan ukurannya paling minim adalah pada kecepatan cetak 30 mm/s. Jadi, parameter kecepatan cetak terbaik dalam pengujian ini adalah 30 mm/s.

4.2.2 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan pengujian kedua yang dilakukan pada penelitian ini. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui parameter pencetakan terbaik terhadap nilai kekuatan luluh. Pengujian tarik ini dilakukan dengan menggunakan 2 buah parameter variasi. Parameter yang divariasikan yaitu kecepatan pencetakan dan suhu pada *nozzle*. Spesimen uji dicetak sesuai dengan bentuk standar ASTM D 638-02 Tipe I dengan menggunakan kedua buah parameter variasi tersebut kemudian dilakukan pengujian tarik. Pengujian tarik tersebut dilakukan di Laboratorium Manufaktur Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta dengan menggunakan mesin uji tarik JTM-UTC 220 Serial 6604. Proses pengujian tarik ini dilakukan dengan menggunakan 3 buah spesimen

uji pada setiap parameter. Proses pengujian tarik ini dapat ditunjukkan pada gambar 4- 7.



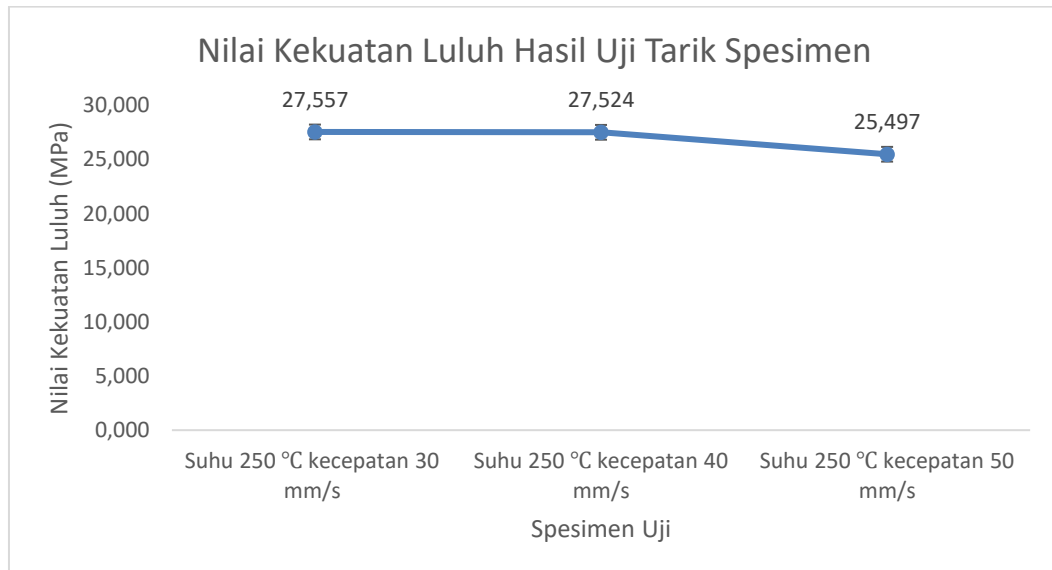
Gambar 4- 7 Proses Pengujian Tarik

Setelah dilakukan pengujian tarik pada spesimen uji yang menggunakan variasi parameter kecepatan pencetakan seperti yang tertera pada tabel 3- 3, Hasil pengujian tarik tersebut tertera pada tabel 4- 5.

Tabel 4- 5 Data Hasil Pengujian Tarik Variasi Parameter Kecepatan Cetak

No.	Spesimen	Kekuatan Luluh (MPa) ke-			Rata2
		1	2	3	
1	A3	28,341	26,576	27,753	27,557
2	B3	28,243	26,576	27,753	27,524
3	C3	24,909	26,282	25,301	25,497

A3 menunjukan spesimen uji dengan kecepatan 30 mm/s, B3 adalah spesimen uji dengan kecepatan 40 mm/s, dan C3 adalah spesimen uji dengan kecepatan 50 mm/s. Kemudian dari data pada tabel 4- 5 guna mempermudah dalam pembacaan maka disajikan juga hasil data tersebut dalam bentuk grafik garis. Grafik garis tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 4- 8.



Gambar 4- 8 Grafik Hasil Pengujian Tarik Variasi Parameter Kecepatan Cetak

Berdasarkan gambar 4- 8 di atas, dapat dilihat bahwa parameter kecepatan cetak yang memiliki kekuatan luluh terbesar adalah pada kecepatan 30 mm/s dengan nilai kekuatan luluh sebesar 27,557 MPa dan parameter kecepatan yang memiliki nilai terendah adalah pada kecepatan 50 mm/s dengan nilai kekuatan luluh sebesar 25,497 MPa. Jadi, parameter kecepatan cetak terbaik dalam pengujian ini adalah 30 mm/s.

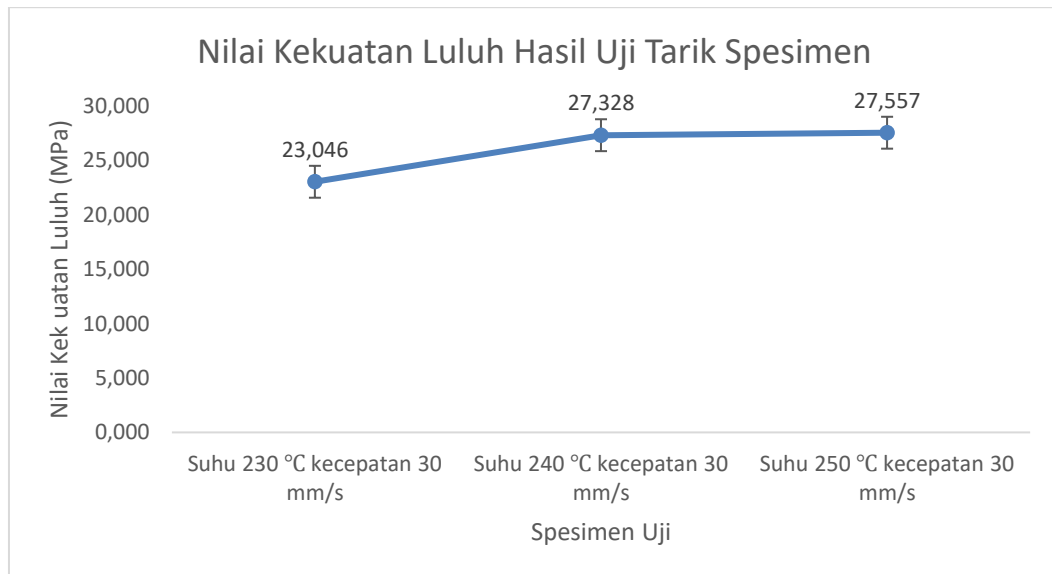
Setelah dilakukan pengujian tarik menggunakan variasi parameter kecepatan dan mendapatkan nilai parameter terbaiknya, kemudian dilakukan kembali pengujian tarik dengan menggunakan variasi parameter suhu *nozzle* guna menentukan nilai parameter suhu *nozzle* terbaik. Setelah mencetak spesimen uji sesuai dengan tabel 3- 4, didapatkan hasil dari pengujian tarik pada variasi parameter suhu *nozzle* tertera pada tabel 4- 6.

Tabel 4- 6 Data Hasil Pengujian Tarik Variasi Parameter Suhu *Nozzle*

No.	Spesimen	Kekuatan Luluh (MPa) ke-			Rata2
		1	2	3	
1	A4	22,555	23,046	23,536	23,046
2	B4	26,968	27,459	27,557	27,328
3	C4	28,341	26,576	27,753	27,557

A4 menunjukkan spesimen uji dengan suhu 230 °C, B4 adalah spesimen uji dengan suhu 240 °C, dan C4 adalah spesimen uji dengan suhu 250 °C. Kemudian

dari data pada tabel 4- 6 guna mempermudah dalam pembacaan maka disajikan juga hasil data tersebut dalam bentuk grafik garis. Grafik garis tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 4- 9.



Gambar 4- 9 Grafik Hasil Pengujian Tarik Variasi Parameter Suhu *Nozzle*

Berdasarkan gambar 4- 9 di atas, dapat dilihat bahwa parameter suhu *nozzle* yang memiliki kekuatan luluh terbesar adalah pada suhu 250°C dengan nilai kekuatan luluh sebesar 27,557 MPa dan parameter suhu *nozzle* yang memiliki nilai terendah adalah pada suhu 230°C dengan nilai kekuatan luluh sebesar 23,046 MPa. Jadi, parameter suhu *nozzle* terbaik dalam pengujian ini adalah 30 mm/s.

4.3 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan yang didapatkan pada penelitian ini adalah seperti yang ada di bawah ini.

4.3.1 Variasi Parameter Pencetakan Terbaik

Setelah dilakukan pengujian geometri dan pengujian tarik, selanjutnya menentukan parameter terbaik untuk melakukan pencetakan produk. Penentuan parameter produk dilakukan dengan menggunakan metode *scoring*. Metode *scoring* adalah metode pemberian skor terhadap masing-masing nilai parameter. Pada penelitian ini parameter yang dipilih adalah parameter yang memiliki poin

terbanyak. Metode *scoring* yang digunakan untuk penentuan parameter tertera pada tabel 4- 7.

Tabel 4- 7 *Scoring* Penentuan Parameter Pencetakan Produk Terbaik

NO	Pengujian	Suhu			Kecepatan		
		230 °C	240 °C	250 °C	30 mm/s	40 mm/s	50 mm/s
1	A	×	×	✓	✓	×	×
2	B	×	×	✓	✓	×	×
Total		0	0	2	2	0	0

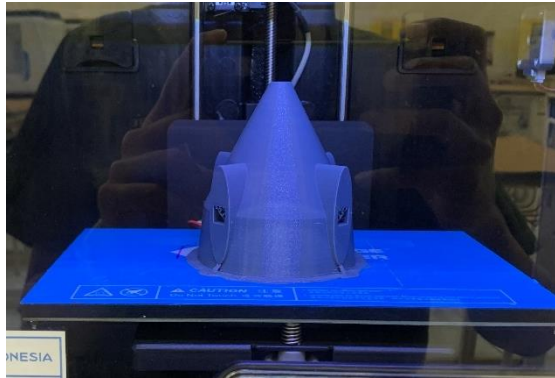
A menunjukan pengujian geometri, B adalah pengujian tarik, ✓ adalah parameter yang memiliki nilai terbaik dalam pengujian, dan × adalah parameter yang tidak memiliki nilai terbaik dalam pengujian.

Pemilihan parameter pencetakan produk terbaik ditentukan berdasarkan nilai skor terbanyak pada parameter suhu nozzle dan kecepatan cetak terhadap pengujian geometri dan pengujian tarik. Pada tabel 4- 7, didapatkan hasil bahwa pada suhu 250°C mendapatkan skor 2 karena merupakan parameter suhu *nozzle* terbaik pada pengujian geometri dan pengujian tarik. Sedangkan untuk suhu 230°C dan 240°C tidak mendapatkan skor karena tidak memiliki hasil terbaik pada pengujian yang telah dilakukan. Selanjutnya, pada kecepatan cetak 30 mm/s mendapatkan skor 2 karena merupakan parameter kecepatan cetak terbaik pada pengujian geometri dan pengujian tarik. Sedangkan untuk kecepatan 40 mm/s dan 50 mm/s tidak mendapatkan skor karena tidak memiliki hasil terbaik pada pengujian yang telah dilakukan.

Pada pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil parameter suhu *nozzle* terbaik yaitu pada suhu 250°C dan kecepatan cetak terbaik pada 30 mm/s dengan menggunakan metode *scoring*. Kemudian, proses selanjutnya adalah mencetak hasil perancangan desain produk menggunakan mesin 3D *printing flashforge creator pro* dengan parameter yang telah didapatkan.

4.3.2 Hasil Pencetakan Produk Alat Peraga

Setelah diketahui parameter terbaik untuk pencetakan produk maka dilakukan pencetakan desain produk menggunakan parameter terbaik tersebut. Hasil pencetakan produk dapat ditunjukkan pada gambar 4- 10.



Gambar 4- 10 Hasil Pencetakan Produk

Dalam melakukan proses pencetakan produk ini, adapun kegagalan yang dialami, yaitu kesulitan dalam mengangkat produk hasil cetak dari *bed*. Kesulitan ini mengakibatkan kertas pada *bed* mesin cetak rusak karena proses pengangkatan produk yang dilakukan secara paksa. Namun dalam permasalahan ini penulis belajar bahwa dalam proses pengangkatan produk hasil cetak, *bed* pada mesin cetak haruslah dipanaskan terlebih dahulu. Dengan menaskan *bed* terlebih dahulu proses pengangkatan produk hasil cetak dapat dilakukan dengan lebih mudah. Hasilnya, produk dapat terlepas dari *bed* secara sempurna dan tidak merusak kertas pada *bed* mesin cetak. Kegagalan dalam proses pencetakan produk dapat ditunjukkan pada gambar 4- 11.



Gambar 4- 11 Kegagalan dalam Proses Pencetakan Produk

Setelah proses pencetakan produk telah selesai dan telah dilepas dari *bed* mesin cetak, maka langkah berikutnya adalah *finishing* dengan amplas atauikir

untuk membersihkan sisa dari *raft* dan *support* yang masih menempel pada produk. Setelah semua hasil cetak dilakukan *finishing* tahap selanjutnya adalah perakitan. Sebelum dilakukan perakitan, terlebih dahulu dibuat penyangga alat peraga menggunakan mesin *CNC Laser Cutting*. Penyangga dibuat dengan bahan akrilik ketebalan 5 mm dan 10 mm. Akrilik ketebalan 5 mm dan 10 mm hasil proses pemesian *CNC laser cutting* dapat ditunjukkan pada gambar 4- 12.



(a)



(b)

Gambar 4- 12 Akrilik a) Ketebalan 5 mm; b) Ketebalan 10 mm

4.3.3 Kecepatan Putaran Mesin Allison T56

Allison T56 merupakan sebuah mesin jet *turboprop* yang digunakan pada pesawat Lockheed C-130 Hercules. Menurut *the American society of mechanical engineers* mesin jet Allison T56 ini berputar pada kecepatan konstan di 13.820 Rpm. Dengan kata lain, mesin jet ini pada kondisi normal memiliki kecepatan putar pada kondisi putaran 100% (13.820 Rpm). Namun, dalam proses ketika mesin jet ini mulai bekerja terjadi beberapa kondisi putaran mesin dari awal mesin mati hingga mesin dapat bekerja normal. Proses hidupnya mesin jet ini diantaranya adalah mesin melakukan *starter release* pada kondisi putaran mesin 60%, kemudian mesin berakselerasi saat *low speed ground idle* di putaran 69% hingga 75,5%, dan saat mesin pada kondisi *normal ground idle* putaran mesin berada di 94% hingga 100%. Berdasarkan data yang diperoleh dari *Rolls-Royce*, data spesifikasi mesin Allison T56 tertera pada tabel 4- 8.

Tabel 4- 8 Data Spesifikasi Mesin Allison T56

<i>Engine</i>	Allison T56-A Series IV
<i>Power</i>	5.250 SHP
<i>Speed</i>	13.820 Rpm
<i>Gear ratio</i>	13,54:1
<i>Overall Pressure ratio</i>	11,5:1
<i>Compressor pressure ratio</i>	9,5:1
<i>Length</i>	146,1 in
<i>Diameter</i>	27 in
<i>Basic weight</i>	1.940 lb
<i>Compressor</i>	14 HP
<i>Turbine</i>	4 HP
<i>Turbine inlet temperature</i>	1154 °C
<i>Power section oil pressure</i>	50 – 60 PSi
<i>Gearbox oil pressure</i>	130 – 250 PSi

(Sumber: *Rolls-Royce*)

Berdasarkan tabel 4- 8, kecepatan putaran baling-baling diperoleh dari kecepatan putaran mesin di 13.820 Rpm yang direduksi oleh rangkain gir reduksi (*gearbox*) dengan rasio 13,54:1. Sehingga ketika mesin berputar dengan kecepatan putaran 100%, maka kecepatan putaran baling-balingnya adalah 1.020 Rpm (India FDocuments, 2015).

4.3.4 Sistem Penggerak Alat Peraga

Produk alat peraga yang dibuat membutuhkan sistem penggerak sehingga produk dapat bergerak mensimulasikan gerakan putaran mesin menyerupai kondisi mesin yang sesungguhnya. Pada sistem penggerak ini, menggunakan penggerak berupa motor DC *gearbox* 12v dengan kapasitas 1000 Rpm dan disalurkan menggunakan *spur gear* yang terbuat dari bahan papan kayu 5 mm hasil dari proses pemesinan CNC *laser cutting*. Kemudian dalam penentuan sistem penggerak ini diperlukan untuk menentukan parameter-parameter sistem penggerak alat peraga. Penentuan parameter sistem penggerak alat peraga disajikan seperti yang ada di bawah ini:

1. Kecepatan putaran pada poros alat peraga

Kecepatan putaran mesin jet Allison T56 adalah 13.820 Rpm. Kecepatan putaran tersebut terlalu besar bila diaplikasikan pada produk alat peraga dan motor penggerak alat peraga tidak mampu mencapai kondisi tersebut. Maka

dari itu, memerlukan rasio untuk mengurangi kecepatan putaran pada poros. Rasio ini diberikan rasio yang sesuai dengan skala rasio ukuran produk alat peraga dengan ukuran mesin jet Allison T56 yaitu 1:6. Perhitungan rasio kecepatan putaran pada poros alat peraga seperti yang ada di bawah ini:

$$\text{Kecepatan Putaran Poros} = \frac{13.820 \text{ Rpm}}{6} = 2.303,33 \text{ Rpm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan kecepatan putaran maksimal pada poros adalah sebesar 2.303,33 Rpm.

2. Kecepatan aktual motor penggerak

Motor penggerak yang digunakan perlu dilakukan pengecekan kecepatan aktualnya guna mengetahui kecepatan putaran yang sesungguhnya ketika motor penggerak dirangkai dengan komponen elektrik lainnya, seperti lampu led, layar lcd dan arduino. Pengukuran kecepatan aktual motor dilakukan dengan menggunakan bantuan alat *tachometer*. Proses pengecekan kecepatan aktual motor penggerak dapat ditunjukkan pada gambar 4- 13.



Gambar 4- 13 Proses Pengecekan kecepatan Aktual Motor Penggerak

Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali yang kemudian data tersebut dilakukan perhitungan rata-rata. Hasil pengambilan data kecepatan aktual motor penggerak tertera pada tabel 4- 9.

Tabel 4- 9 Hasil Pengecekan Kecepatan Aktual Motor Penggerak

	Kecepatan Aktual Motor (Rpm) ke-			Rata-rata (Rpm)
	1	2	3	
Kecepatan Aktual Motor	834,6	830,3	832,1	832,33

Pada tabel 4- 9 menunjukan hasil dari nilai rata-rata kecepatan aktual motor penggerak yang didapatkan adalah sebesar 832,33 Rpm.

3. Gear transmisi sistem penggerak

Setelah mendapatkan nilai kecepatan putaran poros pada alat peraga yang dibutuhkan dan nilai kecepatan aktual motor penggerak, tahap selanjutnya adalah menentukan gir reduksi. Penentuan gir reduksi dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$Gear Ratio = \frac{n1}{n2} = \frac{Rpm Input}{Rpm Output}$$

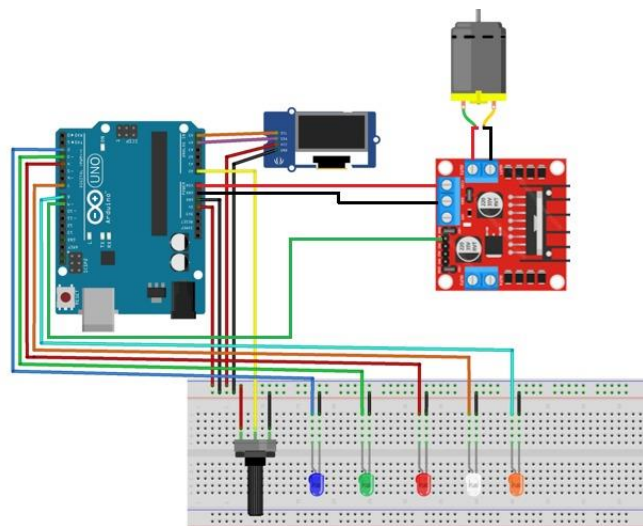
Gear Ratio menunjukkan Perbandingan *Gear*, $n1$ adalah Banyaknya Gigi *Gear 1*, $n2$ adalah Banyaknya Gigi *Gear 2*, *Rpm Input* adalah Kecepatan putaran poros penggerak (Rpm), dan *Rpm Output* adalah Kecepatan putaran poros yang digerakkan (Rpm). Dengan menggunakan persamaan di atas maka didapatkan jumlah gigi *Gear 1* dan *Gear 2* adalah 11 dan 30, seperti yang dapat ditunjukkan pada perhitungan di bawah ini:

$$Gear Ratio = \frac{832,33}{2.303,33} = \frac{1}{2,77} = \frac{11}{30}$$

Adapun isu pada sistem penggerak alat peraga ini adalah motor penggerak bekerja kurang optimal jika alat peraga dihidupkan dalam waktu yang cukup lama diatas 20 menit. Dampak pada kelemahan motor penggerak yang digunakan ini adalah berkurangnya kecepatan putaran motor. Hal ini, diakibatkan oleh kondisi motor yang memanas. Maka dari itu, pada penelitian selanjutnya pada sistem penggerak alat peraga ini dapat didukung dengan adanya tambahan sistem pendinginan pada *box* rangkaian elektrik.

4.3.5 Rangkaian Elektrik

Produk alat peraga ini dibuat agar mampu mempresentasikan cara kerja mesin yang sesungguhnya. Maka dari itu diperlukan sebuah rangkaian elektrik beserta programnya agar produk alat peraga ini dapat mewujudkan hal tersebut. Rangkaian elektrik dan program difungsikan untuk mengatur motor penggerak dan led. Pada motor penggerak difungsikan agar dapat memutar poros dengan kecepatan yang konstan. Sedangkan, pada led difungsikan agar dapat mempresentasikan indikator mesin aktif pada saat mesin bekerja. Skematik rangkaian elektrik arduino dapat ditunjukkan pada gambar 4- 14.



Gambar 4- 14 Skematik Rangkaian Elektrik Arduino

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4- 13, komponen-komponen elektrik tersebut dirangkai dari komponen satu dengan yang lainnya menggunakan kabel *jumper*. Komponen-komponen elektrik yang digunakan, diantaranya adalah Arduino Uno R3, LCD I2C 1602 IIC 16x2, L298N *Motor Driver Module*, Motor DC *Gearbox* 12v 16 mm 1000 Rpm, *Beardboard*, potensio, dan LED 5 mm. Berdasarkan kategori sambungan rangkaian pada tiap komponen tertera pada tabel 4- 10 sampai dengan tabel 4- 14.

Tabel 4- 10 Rangkaian antara LCD dengan Arduino

LCD	Arduino
<i>Ground</i>	<i>Ground</i>
VCC	5v
SDA	Pin <i>analog</i> 4
SCL	Pin <i>analog</i> 5

Tabel 4- 11 Rangkaian antara L298N *Motor Driver Module* dengan Arduino

L298N Motor Driver Module	Arduino
12v	VIN arduino
<i>Ground</i>	<i>Ground</i>
ENA	Pin <i>digital</i> 9 arduino

Tabel 4- 12 Rangkaian antara L298N *Motor Driver Module* dengan Motor DC

L298N Motor Driver Module	Motor DC
<i>Out 1</i>	Motor dc positif
<i>Out 2</i>	Motor dc negative

Tabel 4- 13 Rangkaian antara Potensio dengan Arduino

Potensio	Arduino
<i>Input</i>	5v
<i>Output</i>	Pin <i>analog</i> 0
<i>Ground</i>	<i>Ground</i>

Tabel 4- 14 Rangkaian antara LED dengan Arduino

LED		Arduino
LED 1	Positif	Pin <i>digital 2</i>
	Ground	Ground
LED 2	Positif	Pin <i>digital 3</i>
	Ground	Ground
LED 3	Positif	Pin <i>digital 4</i>
	Ground	Ground
LED 4	Positif	Pin <i>digital 7</i>
	Ground	Ground
LED 5	Positif	Pin <i>digital 8</i>
	Ground	Ground

LED 1 menunjukan led warna biru, LED 2 adalah led warna hijau, LED 3 adalah led warna merah, LED 4 adalah led warna putih, dan LED 5 adalah led warna kuning.

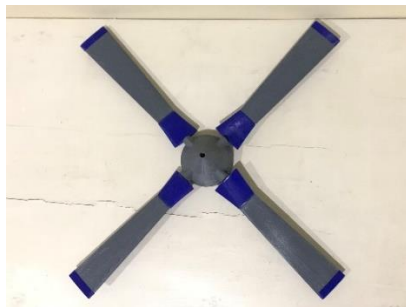
4.3.6 Hasil Perakitan Produk Alat Peraga

Setelah melakukan pencetakan produk, penentuan sistem penggerak beserta rangkaian elektriknya tahap selanjutnya adalah melakukan perakitan produk. Perakitan yang pertama dilakukan adalah merakit bagian dudukan alat peraga. Pada bagian dudukan alat peraga juga menyatu dengan bagian *tower box*. *Tower box* ini digunakan sebagai tempat untuk meletakkan komponen rangkaian elektrik. Perakitan dudukan alat peraga beserta *tower box* dilakukan dengan menggunakan lem khusus akrilik dan pada bagian penampang dudukan alat peraga disatukan menggunakan baut M5. Hasil perakitan dudukan alat peraga dan *tower box* dapat ditunjukkan pada gambar 4- 15.



Gambar 4- 15 Hasil Perakitan Dudukan Alat Peraga & Tower Box

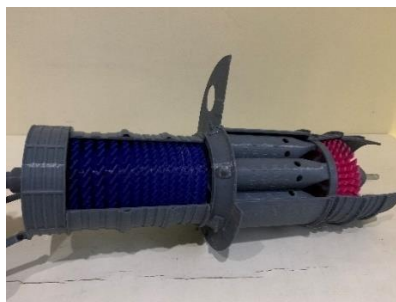
Tahap selanjutnya adalah melakukan perakitan pada bagian komponen *propeller*, *reduction gearbox*, dan komponen mesin. Pada bagian perakitan *propeller*, komponen baling-baling disatukan dengan bagian *spinner* dengan menggunakan lem. Pada bagian perakitan *reduction gearbox*, poros baling-baling dan poros mesin disatukan pada *reduction gearbox housing* beserta komponen-komponen *gear* dan *bearing* di dalamnya. Kemudian pada bagian perakitan mesin, perakitan bagian kompresor, pembakaran, dan turbin dilakukan pada poros mesin beserta *engine housing*-nya. Hasil perakitan *propeller*, *reduction gearbox*, dan mesin dapat ditunjukkan pada gambar 4- 16.



(a)



(b)



(c)

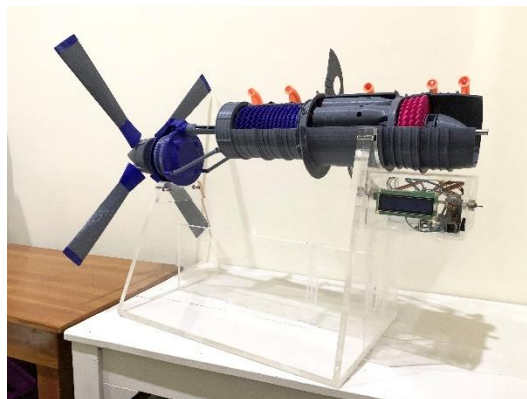
Gambar 4- 16 Hasil Perakitan a) *Propeller*; b) *Reduction Gearbox*; c) Mesin

Tahap selanjutnya, bagian *reduction gearbox* dengan mesin diletakan pada dudukan alat peraga. Hal ini dilakukan agar bagian *propeller* dapat disatukan dengan bagian *reduction gearbox* dan mesin. Peletakan hasil perakitan produk pada dudukan juga dapat mempermudah dalam proses perakitan selanjutnya. Hasil peletakan perakitan produk pada dudukan alat peraga dapat ditunjukkan pada gambar 4- 17.



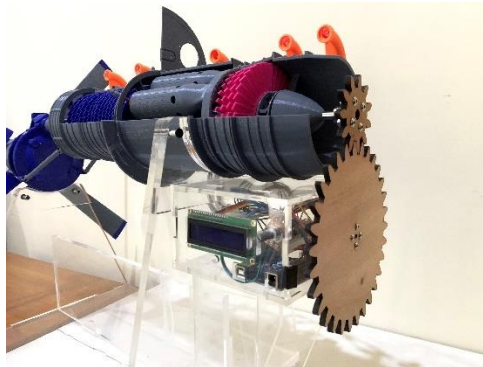
Gambar 4- 17 Hasil Peletakan Perakitan Produk pada Dudukan Alat Peraga

Setelah perakitan produk dapat diletakan pada dudukan alat peraga, tahap selanjutnya adalah melakukan pemasangan *cover* led pada bagian atas belakang *engine housing* dengan menggunakan lem dan merangkai rangkaian elektrik dan sistem penggerak. Rangkaian elektrik dan sistem penggerak diletakan pada *tower box*, kemudian kabel-kabel dari rangkaian led dirapihkan dengan cara diberikan pelindung kabel spiral. Setelah melakukan pemasangan pelindung kabel spiral pada rangkaian kabel led, kemudian kabel-kabel tersebut disatukan dengan menggunakan kabel *ties* agar kabel rangkaian led lebih rapih. Hasil perakitan *cover* led dan rangkaian elektrik dapat ditunjukkan pada gambar 4-18.



Gambar 4- 18 Hasil Perakitan Cover LED dan Rangkaian Elektrik

Setelah motor penggerak pada rangkaian elektrik terpasang di *tower box*, selanjutnya melakukan pemasangan *spur gear* pada poros motor penggerak dan poros mesin. Pemasangan *spur gear* pada poros dilakukan dengan tambahan komponen pengikat yaitu *rigid flange coupling*. Komponen *rigid flange coupling* ini berfungsi untuk menyatukan bagian *spur gear* dengan poros dengan cara menggunakan baut pengikat, sehingga *spur gear* dapat menyatu dengan poros secara kaku (*rigid*). Hasil perakitan *spur gear* dapat ditunjukkan pada gambar 4-19.



Gambar 4- 19 Hasil Perakitan *Spur Gear*

Tahap yang terakhir adalah melakukan perakitan *cover* pelindung komponen gerak dan memasangnya pada produk alat peraga. *Cover* pelindung komponen gerak diantaranya adalah *cover* pelindung untuk bagian reduction gearbox, kompresor, turbin, dan *spur gear*. *Cover* pelindung komponen gerak ini, terbuat dari hasil 3D *printing* pada bagian *frame*, akrilik 2 mm hasil proses pemesian *laser cutting* pada bagian *cover* visual dan *bearing* beserta porosnya sebagai sistem engsel buka tutup *cover* pelindung. Tujuan dari *cover* pelindung pada komponen gerak ini bertujuan agar dapat melindungi pengguna dari komponen-komponen yang bergerak saat produk alat peraga dinyalakan. Hasil perakitan *cover* pelindung komponen gerak dapat ditunjukkan pada gambar 4- 20.



Gambar 4- 20 Hasil Perakitan Cover Pelindung pada Komponen Gerak

4.3.7 Cara Kerja Produk Alat Peraga

Setelah melakukan perakitan produk, penentuan rangkaian elektrik beserta sistem penggeraknya tahap selanjutnya adalah penjelasan dari cara kerja produk alat peraga. Sebelum menyalakan alat peraga tahap pertama yang perlu dilakukan adalah menutup *cover* pelindung *reduction gearbox*, *compressor*, *turbine* dan *spur gear* sebagai faktor keamanan. Kemudian, menyalakan alat peraga dengan menghubungkan catu daya 12v dari *stop contact* menuju *power input* pada arduino menggunakan *power adaptor* 12v 2A guna menghidupkan program. Selanjutnya setelah program hidup, layar lcd menyala dan menunjukkan putaran mesin pada poros di 0 Rpm sementara itu kondisi motor dc dan lampu led masih dalam keadaan mati. Hal tersebut terjadi karena kondisi potensio belum diaktifkan. Untuk mengaktifkan potensio cukup dengan memutarinya searah jarum jam sehingga kecepatan putaran poros pada layar lcd bertambah dan motor dc mulai bekerja.

Pada kondisi pertama yaitu pada kondisi mesin *starter release*, mesin berakselerasi pada putaran 60% atau pada layar lcd menampilkan kecepatan putaran di 1.382 Rpm. Pada kondisi ini lampu led juga mulai menyala secara kedip berurutan dengan kecepatan 750 ms dari lampu pertama pada *inlet* hingga lampu led kelima pada *exhaust*.

Pada kondisi kedua yaitu pada kondisi mesin *low speed ground idle*, mesin berakselerasi pada putaran 69% hingga 75,5% atau pada layar lcd menampilkan kecepatan putaran di 1.589 Rpm hingga 1.739 Rpm. Pada kondisi ini lampu led

juga mulai menyala secara kedip berurutan dengan kecepatan 500 ms dari lampu pertama pada *inlet* hingga lampu led kelima pada *exhaust*.

Pada kondisi ketiga yaitu pada kondisi mesin *normal ground idle*, mesin berakselerasi pada putaran 94% hingga 100% atau pada layar lcd menampilkan kecepatan putaran di 2.165 Rpm hingga 2.303 Rpm. Pada kondisi ini lampu led juga mulai menyala secara kedip berurutan dengan kecepatan 250 ms dari lampu pertama pada *inlet* hingga lampu led kelima pada *exhaust*.

4.3.8 Optimalisasi Desain Produk

Dalam proses pembuatan produk alat peraga mesin jet *turboprop Allison T56*, adapun beberapa perubahan yang terjadi pada produk dalam upaya optimalisasi desain produk. Untuk memaksimalkan optimalisasi desain produk yang pertama adalah memaksimalkan skala desain terhadap mesin pencetakan yang digunakan. Mesin 3D *printing flashforge creator pro* memiliki kapasitas dimensi cetak yang tidak cukup besar. Dengan hanya 227 mm x 148 mm x 150 mm saja, maka dari itu dilakukan penentuan skala desain produk dengan mengoptimalkan kapasitas dimensi cetak tersebut. Skala desain produk 1:6 ditentukan berdasarkan dari asumsi ukuran salah satu *part* terbesar yang mampu dicetak oleh mesin dengan kapasitas dimensi cetak tersebut.

Upaya optimalisasi desain produk yang kedua yaitu melakukan penggantian material poros hasil 3D *printing* menggunakan poros besi 8 mm. Material poros yang digunakan sebelumnya terbuat dari hasil proses pemesinan 3D *printing*. Namun, poros tersebut memiliki hasil diameter dan panjang yang kurang sempurna. Hal ini mengakibatkan komponen yang berputar di atas poros hasil 3D *printing* tersebut tidak dapat berputar dengan sempurna. Maka dari itu, material poros yang sebelumnya digantikan dengan poros besi. Karena poros besi memiliki diameter yang lebih sempurna dan material besi diyakini dapat lebih kuat jika dibandingkan dari poros hasil 3D *printing*.

Upaya optimalisasi desain produk yang ketiga yaitu penggantian material akrilik pada *spur gear* motor penggerak menggunakan papan kayu dengan ketebalan 5 mm. Material *spur gear* yang digunakan sebelumnya terbuat dari bahan akrilik hasil proses pemesinan *laser cutting*. Namun, *spur gear* akrilik tersebut

memiliki suara putaran yang berisik dan dikhawatirkan dapat mudah patah. Maka dari itu, material *spur gear* yang sebelumnya digantikan dengan *spur gear* dari bahan papan kayu dengan proses pemesian *laser cutting*. *Spur gear* dari bahan kayu ini dapat berputar dengan lebih senyap dan material kayu ini diyakini lebih kuat karena material kayu ini merupakan dari kayu utuh dalam bentuk papan yang kemudian dilakukan proses pemotongan dengan mesin *laser cutting*.

Upaya optimalisasi desain produk yang keempat yaitu penggantian rasio *spur gear* motor penggerak 1:2,4 menjadi 1;2,77. Pada proses penentuan rasio 1:2,4, pengukuran kecepatan motor aktual menggunakan *tachometer* dalam kondisi motor pada arduino sebelum dirangkai lengkap dengan rangkaian lampu led dan layar lcd. Hal ini, mengakibatkan ketidaksesuaian kecepatan putaran motor ketika dirangkai lengkap dengan rangkaian lampu led dan layar lcd karena adanya penambahan beban daya. Maka dari itu, rasio diubah dengan dilakukan pengukuran kecepatan motor aktual kembali pada kondisi ketika arduino sudah dengan rangkaian lengkap.

Upaya optimalisasi desain produk yang kelima yaitu penambahan komponen *rigid flange coupling* pada tiap *spur gear* agar dapat berputar dengan baik. Dari masing-masing papan *spur gear* sebelumnya disatukan dengan poros mesin dan poros motor dengan menggunakan lem saja. Pada penggunaan lem ini hasilnya papan *spur gear* berputar dengan adanya sedikit goyangan. Hal ini, diakibatkan karena adanya indikasi dari kesalahan ketidakakuratan dalam proses pemasangan *spur gear* menggunakan lem. Maka dari itu, dilakukan perubahan metode pemasangan *spur gear* dengan penambahan komponen *rigid flange coupling*. Mekanisme pemasangan *spur gear* dengan komponen *rigid flange coupling* ini disatukan menggunakan baut-baut pengunci. Hal ini, menghasilkan *spur gear* dapat menyatu pada poros dengan lebih *rigid* dan dapat berputar dengan lebih baik.

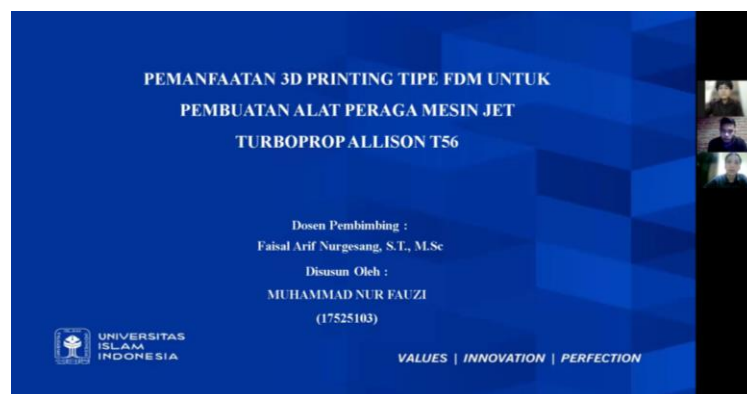
Upaya optimalisasi desain produk yang keenam yaitu penambahan komponen *cover* pelindung pada *gearbox* reduksi, kompresor, turbin, dan *spur gear* motor penggerak. Sebelumnya pada komponen-komponen gerak tersebut tidak diberi *cover* pelindung. Hal ini diduga dapat menyebabkan cedera pada pengguna alat jikat pada komponen-komponen gerak tersebut dibiarkan terbuka.

Maka dari itu, di setiap bagian komponen gerak diberikan *cover* pelindung agar dapat meningkatkan faktor keamanan ketika alat peraga digunakan.

4.3.9 Pengujian Alat Peraga

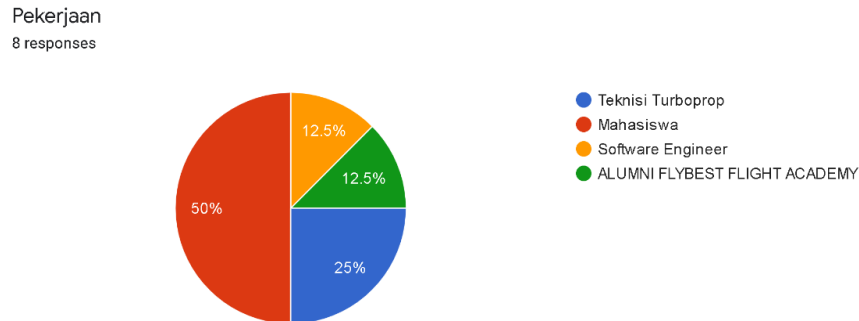
Pengujian alat peraga mesin jet *turboprop* Allison T56 dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah alat peraga yang dibuat sudah sesuai terkait komponen dasar dan mekanisme kerja pada mesin yang sesungguhnya, dan juga apakah produk alat peraga yang dibuat dapat mudah dipahami. Pengujian Alat peraga ini dilakukan kepada responden yang terbagi menjadi 2 kategori. Kategori responden yang pertama, yaitu responden yang memahami prinsip kerja suatu mesin jet *turboprop*. Kategori responden yang kedua, yaitu responden yang kurang memahami mesin jet *turboprop*. Untuk responden yang memahami diambil dari orang yang bekerja sebagai teknisi mesin jet *turboprop* dan dari siswa alumni sekolah penerbangan, sedangkan untuk responden yang kurang memahami diambil dari mahasiswa.

Proses pengambilan data pengujian alat peraga dengan responden dilakukan secara sinkron melalui aplikasi *zoom meeting*. Dalam proses pelaksanaannya dilakukan terlebih dahulu penjelasan mengenai apa itu mesin jet *turboprop* Allison T56 dan bagaimana cara kerjanya. Kemudian setelah memberi sedikit penjelasan terkait mesin jet tersebut, ditampilkan video produk alat peraga yang telah dibuat. Setelah menampilkan video alat peraga, langkah berikutnya yaitu pengisian data kuesioner oleh responden. Proses pengambilan data pengujian alat peraga dengan responden dapat ditunjukkan pada gambar 4- 21.



Gambar 4- 21 Proses Pengambilan Data Pengujian Alat Peraga dengan Responden

Pada proses pengambilan data pengujian alat peraga dihadiri oleh responden sejumlah 8 orang. 8 responden yang terbagi menjadi dua kategori ini, memiliki profesi yang beragam. Pekerjaan dari responden pengujian alat peraga dapat ditunjukkan pada gambar 4- 22.



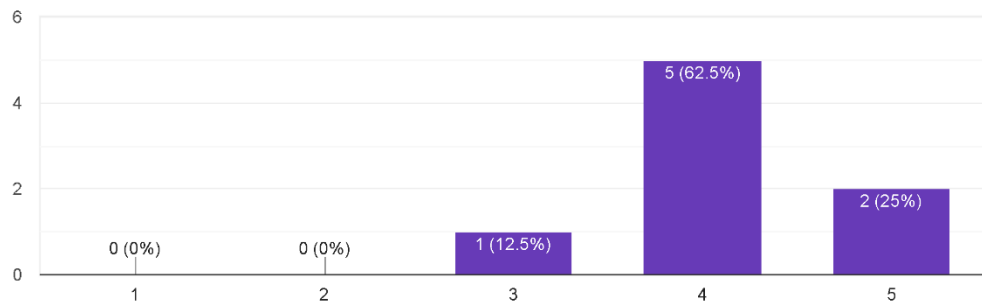
Gambar 4- 22 Pekerjaan dari Responden Pengujian Alat Peraga

Adapun sejumlah pertanyaan yang terdapat dalam kuesioner alat peraga mesin jet *turboprop* Allison T56, antara lain: (1) Apakah anda memahami cara kerja dari mesin jet *turboprop* Allison T56, (2) Menurut anda apakah komponen yang ada pada alat peraga sudah sesuai dengan komponen pada mesin asli, (3) Dari video dan penjelasan yang telah dipaparkan, apakah menurut anda alat peraga sudah mewakili mekanisme dari mesin jet *turboprop* Allison T56, (4) Seberapa tertarik anda terhadap desain alat peraga yang telah dibuat.

Berdasarkan hasil data kuesioner yang telah diperoleh terkait pemahaman terhadap cara kerja mesin jet *turboprop* Allison T56 setelah diberi penjelasan singkat terlebih dahulu mengenai cara kerja mesin dan dibantu dengan penampilan video dari alat peraga yang telah dibuat adalah 12,5% dari responden memilih cukup memahami, 62,5% dari responden memilih sudah memahami, dan 25% dari responden memilih sangat memahami. Hasil data kuesioner terkait pemahaman terhadap cara kerja mesin jet *turboprop* Allison T56 ditunjukkan pada gambar 4- 23.

Apakah anda memahami cara kerja dari mesin jet turboprop Allison T56?

8 responses



Gambar 4- 23 Hasil Data Kuesioner Terkait Pemahaman Terhadap Cara Kerja Mesin Jet *Turboprop* Allison T56

Dimana arti dari nilai angka 1 sampai dengan 5 pada gambar 4- 23 adalah tidak memahami pada nilai 1 sampai dengan sangat memahami pada nilai 5. Adapun komentar responden terkait pemahaman responden terhadap cara kerja mesin jet *turboprop* Allison T56 dapat ditunjukkan pada gambar 4- 24.

Bagaimana komentar anda terkait pemahaman anda mengenai cara kerja mesin jet turboprop Allison T56?

8 responses

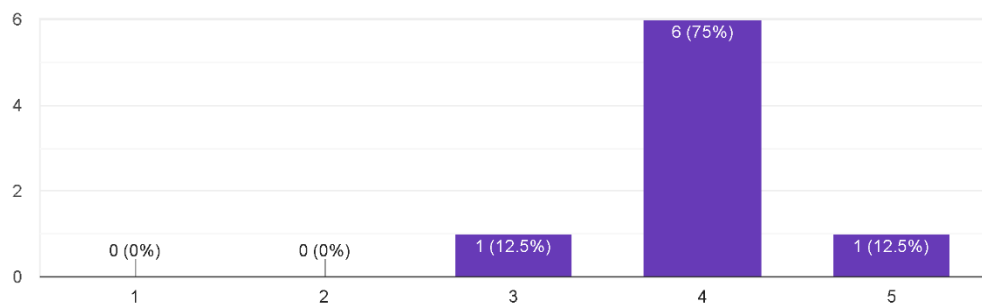
Lumayan paham
Dengan adanya alat peraga responden dapat memahami cara serta siklus kerja turboprop Allison T56
alat peraga dan penjelasan dari mahasiswa tadi cukup mengilustrasikan dan memberikan pemahan secara garis besar tentang cara kerja mesin turbopropeller Allison T56
alat praga ini dapat membantu memberikan pemahaman terkait cara kerja mesinnya
menjadi lebih paham setelah melihat penjelasan alat peraga
Dengan adanya alat peraga tersebut lumayan memberikan gambaran tentang cara kerja dari mesin aslinya
Prinsip kerja sama dengan mesin Turboprop pada umumnya, namun Allison T56 hanya mempunyai saft tunggal dan tidak mendukung free turbine pada gearbox. Namun setiap manufacture membuat produk memiliki keunggulan dan kekurangan tersendiri.
Alat peraga tersebut dapat memberikan gambaran mengenai cara kerja mesin aslinya

Gambar 4- 24 Komentar Responden Terkait Pemahaman Terhadap Cara Kerja Mesin Jet *Turboprop* Allison T56

Berikutnya berdasarkan hasil data kuesioner yang telah diperoleh terkait kesesuaian komponen pada alat peraga dengan mesin asli setelah diberi penjelasan singkat terlebih dahulu mengenai komponen mesin dan dibantu dengan penampilan video dari alat peraga yang telah dibuat adalah 12,5% dari responden memilih cukup sesuai, 75% dari responden memilih sudah sesuai, dan 12,5% dari responden memilih sangat sesuai. Kesesuaian komponen yang dimaksud pada pertanyaan ini adalah kesesuaian jumlah susunan komponen yang dibuat, seperti kesesuaian jumlah kompresor, *fuel nozzle*, tabung pembakaran, dan turbin yang dibuat. Hasil data kuesioner terkait kesesuaian komponen pada alat peraga dengan mesin asli ditunjukkan pada gambar 4- 25.

Menurut anda apakah komponen yang ada pada alat peraga sudah sesuai dengan komponen pada mesin asli?

8 responses



Gambar 4- 25 Hasil Data Kuesioner Terkait Kesesuaian Komponen pada Alat Peraga dengan Mesin Asli

Dimana arti dari nilai angka 1 sampai dengan 5 pada gambar 4- 25 adalah tidak sesuai pada nilai 1 sampai dengan sangat sesuai pada nilai 5. Adapun komentar responden kesesuaian komponen pada alat peraga dengan mesin asli dapat ditunjukkan pada gambar 4- 26.

Bagaimana komentar anda terkait komponen yang ada pada alat peraga mesin jet turboprop Allison T56?

8 responses

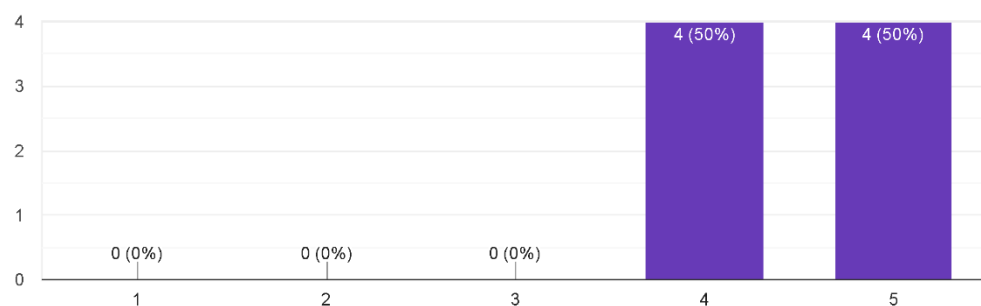
Lumayan sesuai
Cukup menggambarkan cara kerja mesin asli
tentunya tidak dapat 100% sama dengan aslinya, tapi dengan alat peraga yg ada sudah cukup untuk mewakilinya
Walaupun tidak sama dengan yang aslinya, tetapi ini sudah mewakili dan bagus sekali untuk bahan pembelajaran terkait komponen mesin jet turboprop Allison T56.
berdasarkan dari komponen yang dipaparkan dipresentasi sudah mirip dengan alat peraga yang dibuat
dari yang sudah dipaparkan antara alat peraga dan mesin aslinya sudah cukup mewakili
Sangat mirip.
Sudah cukup mewakili

Gambar 4- 26 Komentar Responden Terkait Kesesuaian Komponen pada Alat Peraga dengan Mesin Asli

Sedangkan berdasarkan hasil data kuesioner yang telah diperoleh terkait kesesuaian mekanisme kerja pada alat peraga dengan mesin asli setelah diberi penjelasan singkat terlebih dahulu mengenai mekanisme kerja mesin dan dibantu dengan penampilan video dari alat peraga yang telah dibuat adalah 50% dari responden memilih sudah mewakili, dan 50% dari responden memilih sangat mewakili. Hasil data kuesioner terkait kesesuaian mekanisme kerja mesin pada alat peraga dengan mesin asli ditunjukkan pada gambar 4- 27.

Dari video dan penjelasan yang telah dipaparkan, apakah menurut anda alat peraga sudah mewakili mekanisme dari mesin jet turboprop Allison T56?

8 responses



Gambar 4- 27 Hasil Data Kuesioner Terkait Kesesuaian Mekanisme Kerja Mesin pada Alat Peraga dengan Mesin Asli

Dimana arti dari nilai angka 1 sampai dengan 5 pada gambar 4- 27 adalah tidak mewakili pada nilai 1 sampai dengan sangat mewakili pada nilai 5. Adapun komentar responden terkait kesesuaian mekanisme kerja mesin pada alat peraga dengan mesin asli dapat ditunjukkan pada gambar 4- 28.

Bagaimana komentar anda terkait kesesuaian cara kerja pada alat peraga mesin jet turboprop Allison T56?

8 responses

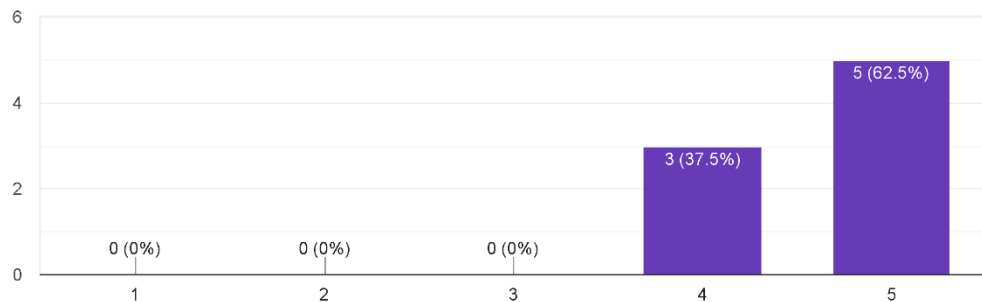
Lumayan sesuai
Secara overall sudah sesuai
betul betul sangat mewakili dan sesuai untuk faktor faktor yang dijelaskan oleh mahasiswa
cara kerja dari alat praga sudah cukup sesuai dengan aslinya
video cukup jelas, juga memberi pemahaman terkait putaran mesin pada kondisi tertentu
Sudah cukup sesuai seperti mekanisme yg telah dijelaskan pada mesin aslinya
Sangat sesuai.
Sudah cukup sesuai

Gambar 4- 28 Komentar Responden Terkait Kesesuaian Mekanisme Kerja Mesin pada Alat Peraga dengan Mesin Asli

Terakhir, berdasarkan hasil data kuesioner yang telah diperoleh terkait ketertarikan responden terhadap alat peraga mesin jet *turboprop* Allison T56 adalah 37,5% dari responden memilih menarik, dan 62,5% dari responden memilih sangat menarik. Hasil data kuesioner terkait ketertarikan responden terhadap alat peraga mesin jet *turboprop* Allison T56 ditunjukkan pada gambar 4- 29.

Seberapa tertarik anda terhadap desain alat peraga yang telah dibuat ?

8 responses



Gambar 4- 29 Hasil Data Kuesioner Terkait Ketertarikan Responden Terhadap Alat Peraga Mesin Jet *Turboprop* Allison T56

Dimana arti dari nilai angka 1 sampai dengan 5 pada gambar 4- 29 adalah tidak menarik pada nilai 1 sampai dengan sangat menarik pada nilai 5. Adapun komentar responden terkait ketertarikan responden terhadap alat peraga mesin jet *turboprop* Allison T56 dapat ditunjukkan pada gambar 4- 30.

Bagaimana komentar anda terkait ketertarikan terhadap desain alat peraga mesin jet *turboprop* Allison T56?

8 responses

Desain sudah baik namun keterpaduan warna filament yg digunakan kurang
Menarik dan memberi wawasan lebih
sangat mengapresiasi nya, karena bukanlah hal yg mudah
Sangat tertarik karena desain tersebut mirip dengan mesin aslinya
alat peraga sangat menarik dan membantu mempermudah dalam mempelajari mesin jet tersebut
Lumayan menarik, dengan adanya alat tersebut dapat memberikan wawasan lebih mengenai mesin jet tersebut, jadi tidak hanya tahu jenis2 nya saja melainkan tahu mekanisme dan komponen2 yang ada pada mesin tersebut
Cukup tertarik, namun sangat istimewa jika alat peraga didesain dengan menggunakan material metal dan menggunakan konversi energi kinetik ke mekanikal.
Sangat usefull karna dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai mesin aslinya

Gambar 4- 30 Komentar Responden Terkait Ketertarikan Responden Terhadap Alat Peraga Mesin Jet *Turboprop* Allison T56

4.3.10 Pemenuhan Kriteria Desain

Setelah dilakukan optimalisasi desain produk dan pengujian alat peraga, tahap selanjutnya adalah pembahasan mengenai pemenuhan kriteria desain yang telah ditentukan sebelumnya. Pada kriteria desain yang pertama, alat peraga yang dibuat dapat menjelaskan cara kerja dan mensimulasikan mekanisme gerak dari sebuah mesin jet *turboprop*. Pada pemenuhan kriteria desain ini dapat dibuktikan dari data kuesioner yang diperoleh terkait kesesuaian mekanisme kerja pada alat peraga dengan mesin asli. Hasil dari kuesioner bagian tersebut adalah 50% dari responden memilih sudah mewakili, dan 50% dari responden memilih sangat mewakili. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kriteria desain pertama sudah terpenuhi. Karena berdasarkan hasil data penilaian, responden menyatakan bahwa mekanisme kerja pada alat peraga sudah dapat mewakili mekanisme kerja seperti pada mesin yang sesungguhnya.

Pada kriteria desain kedua, alat peraga yang dibuat dapat mudah dipahami. Pada pemenuhan kriteria desain ini dapat dibuktikan dari data kuesioner yang diperoleh terkait pemahaman responden terhadap cara kerja mesin jet *turboprop* Allison T56. Hasil dari kuesioner bagian tersebut adalah 12,5% dari responden memilih cukup memahami, 62,5% dari responden memilih sudah memahami, dan 25% dari responden memilih sangat memahami. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kriteria desain kedua sudah terpenuhi. Karena berdasarkan hasil data penilaian, responden menyatakan bahwa dengan menggunakan produk alat peraga responden dapat memahami cara kerja mesin jet *turboprop* Allison T56.

Pada kriteria desain ketiga, alat peraga yang dibuat harus aman ketika digunakan. Pada pemenuhan kriteria desain ini dapat buktikan bahwa pada optimalisasi desain produk telah dilakukan pembuatan *cover* pelindung pada bagian *gearbox* reduksi, kompresor, turbin, dan *spur gear* motor penggerak. Komponen-komponen tersebut diciptakan dengan tujuan agar dapat memberi faktor keamanan pada alat peraga ketika digunakan.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan seperti yang ada di bawah ini:

1. Diketahui parameter terbaik dalam pembuatan produk menggunakan mesin 3D *printing* tipe FDM merk *Flashforge Creator Pro* dengan material PETG merk *Esun* yang memiliki nilai persentase penyusutan ukuran terkecil dan kekuatan luluh tertinggi adalah suhu *nozzle* 250°C dan kecepatan pencetakan 30 mm/s.
2. Diketahui cara pembuatan alat peraga mesin jet *turboprop* Allison T56 dengan menggunakan mesin 3D *printing* adalah dengan melakukan studi literatur terlebih dahulu, menentukan kriteria desain, membuat desain produk, melakukan pengujian spesimen untuk mengetahui variasi parameter terbaik, kemudian mencetak desain produk menggunakan parameter pencetakan terbaik, melakukan perakitan produk dan pembuatan rangkaian sistem kontroler.
3. Fitur-fitur yang ada pada alat peraga yang dibuat diantaranya adalah alat peraga dapat menampilkan simulasi kerja gerak mesin jet *turboprop* Allison T56 pada kondisi putaran mesin saat *starter release*, *low speed ground idle*, dan *normal ground idle*, juga terdapat led indikator laju aliran udara pada 3 kondisi putaran mesin tersebut, dan terdapat layar LCD untuk menampilkan kecepatan putaran poros mesin alat peraga dalam Rpm.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Adapun beberapa saran yang diberikan penulis setelah dilakukannya serangkaian penelitian ini, diantaranya sebagai berikut:

1. Motor penggerak pada rangkaian elektrik yang dibuat terdapat isu bahwa kondisi kecepatan motor melemah ketika motor bekerja secara terus-menerus yang diakibatkan oleh kondisi motor yang memanas, sehingga diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menyelesaikan permasalahan tersebut.
2. Dapat menciptakan mekanisme gerak pada baling-baling agar dapat membuka dan menutup, sehingga dapat mempresentasikan kondisi baling-baling ketikan pesawat melakukan *manuver* seperti saat pesawat bergerak mundur, maju, dan bergerak cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anjaney P. Kottapalli, F. D. (2010). Converting a C-130 Hercules into a Compound Helicopter: A Conceptual Design Study. *Abstract for the AHS Specialists' Conference on Aeromechanics*.
- Carneiro, O., Silva, A., & Gomes, R. (2015). Fused Deposition Modeling with Polypropylene. *Materials and Design Journal*.
- Durgashyam, K., Reddy, M. I., Balakrishna, A., & Satyanarayana, K. (2019). Experimental investigation on mechanical properties of PETG material processed by fused deposition modeling method. *Materials Today: Proceedings*.
- Federal Aviation Administration. (2009). Turboprop. *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*.
- FlashForge. (2021, 10 21). Retrieved from Flashforge Professional 3D Printer Manufacture - FlashForge: <https://www.flashforge.com/product-detail/flashforge-creator-pro-3d-printer>
- Goldberg, J. (2003). *The C-130 Hercules*. New York: The Rosen Publishing Group, Inc.
- Grabowik, C., Kalinowski, K., Ćwikła, G., Paprocka, I., & Kogut, P. (2017). Tensile tests of specimens made of selected group of the filament materials manufactured with FDM method. *MATEC Web Conf*.
- Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, r. (2016). 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction. *Procedia Engineering* 151.
- India FDocuments. (2015). Gas Turbines - Turboprop Engines and Propellers. *India FDocuments*.
- Iskandar, Santika, P. M., & Rasyid, K. (2017). Analisis Perhitungan Prestasi Dan Efisiensi Mesin Turboprop Pesawat Cn235-100 Menggunakan Perangkat Lunak Data Reduction Program (DRP). *JURNAL TEKNIK MESIN - ITI Vol. 1, No. 2*.

- Jacobs, & Francis, P. (1992). Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography. *Society of Manufacturing Engineers*.
- Janah, K. K., Supriyono, & Martini. (2016). Pengaruh Penggunaan Alat Peraga Pesawat Sederhana dalam Pembelajaran IPA terhadap Hasil Belajar. *Pensa: Jurnal Pendidikan Sains*.
- Kubina, S. J., Trueman, C. W., Gaudine, D., & Lau, a. A. (2004). Modeling Multiple HF Antennas on the C-130/Hercules Aircraft – Part I. *EMC Laboratory, Concordia University*.
- Mujadi. (1994). Desain dan Pembuatan Alat Peraga IPA. *Universitas Terbuka*.
- Ningsih, D. H. (2005). Computer Aided Design / Computer Aided Manufactur [CAD/CAM]. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK Volume X, No. 3*.
- Pamasaria, H. A., Herianto, & Saputra, T. H. (2019). PENGARUH PARAMETER PROSES 3D PRINTING TIPE FDM (FUSED DEPOSITION MODELING) TERHADAP KUALITAS HASIL PRODUK. *Seminar Nasional IENACO*.
- Pambudi, A. I. (2017). Analisis Pengaruh Internal Geometri Terhadap Sifat Mekanik Material Polylactic Acid (PLA) Dipreparasi Menggunakan 3D Printing. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Pham, D., & Gault, R. (1998). A comparison of rapid prototyping technologies. *International Journal of Machine Tools & Manufacture 38*.
- Rabeta, B. (2020). Perbandingan Analisis Termodinamika Mesin Tpe-331 Dan Pt6a-42 Terhadap Variasi Ketinggian Terbang. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan, Vol, V No. 2*.
- Rolls-Royce plc. (2013). T56: Power for the Hercules, Orion, Hawkeye, and Greyhound. *Rolls-Royce plc*.
- Sadiman, & S, A. (2010). Media Pendidikan Pengertian, Pengembangan, dan Pemanfaatannya. *Jakarta: Rajawali Press*.
- Sudhakar, M. S. (2019). Mechanical property of FDM printed ABS: influence. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technolog, 18*.
- Surdia, T., & Shinroku, S. (2005). Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta: Pradya Paramita.

- Syam, W. P. (2017). Metrologi Manufaktur: Pengukuran Geometri dan Analisis Ketidakpastian. Nottingham.
- Yudanarsa, H. (2011). PERANCANGAN SARANA PENGETESAN MESIN PESAWAT TURBOPROP . *Jurnal Angkasa*.
- Zimmerman, D. G., & Kern, W. H. (1964). The Allison Turboprop Aircraft Engine Engine as an Industrial Prime Mover. *AN ASME PUBLICATION*.

LAMPIRAN

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
int LED1 = 2;
int LED2 = 3;
int LED3 = 4;
int LED4 = 7;
int LED5 = 8;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(9, OUTPUT);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Kontrol Motor DC");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("dg Potensio (A0)");
  lcd.clear();
  pinMode(LED1, OUTPUT);
  pinMode(LED2, OUTPUT);
  pinMode(LED3, OUTPUT);
  pinMode(LED4, OUTPUT);
  pinMode(LED5, OUTPUT);
}

void loop()
{
  int val = analogRead(A0);
  int pwm = map(val, 0, 1023, 0, 255);
  analogWrite(9, pwm);
  int rpm = (pwm*9.035);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("RPM:");
  lcd.print(rpm);
  lcd.print(" ");
  delay(100);

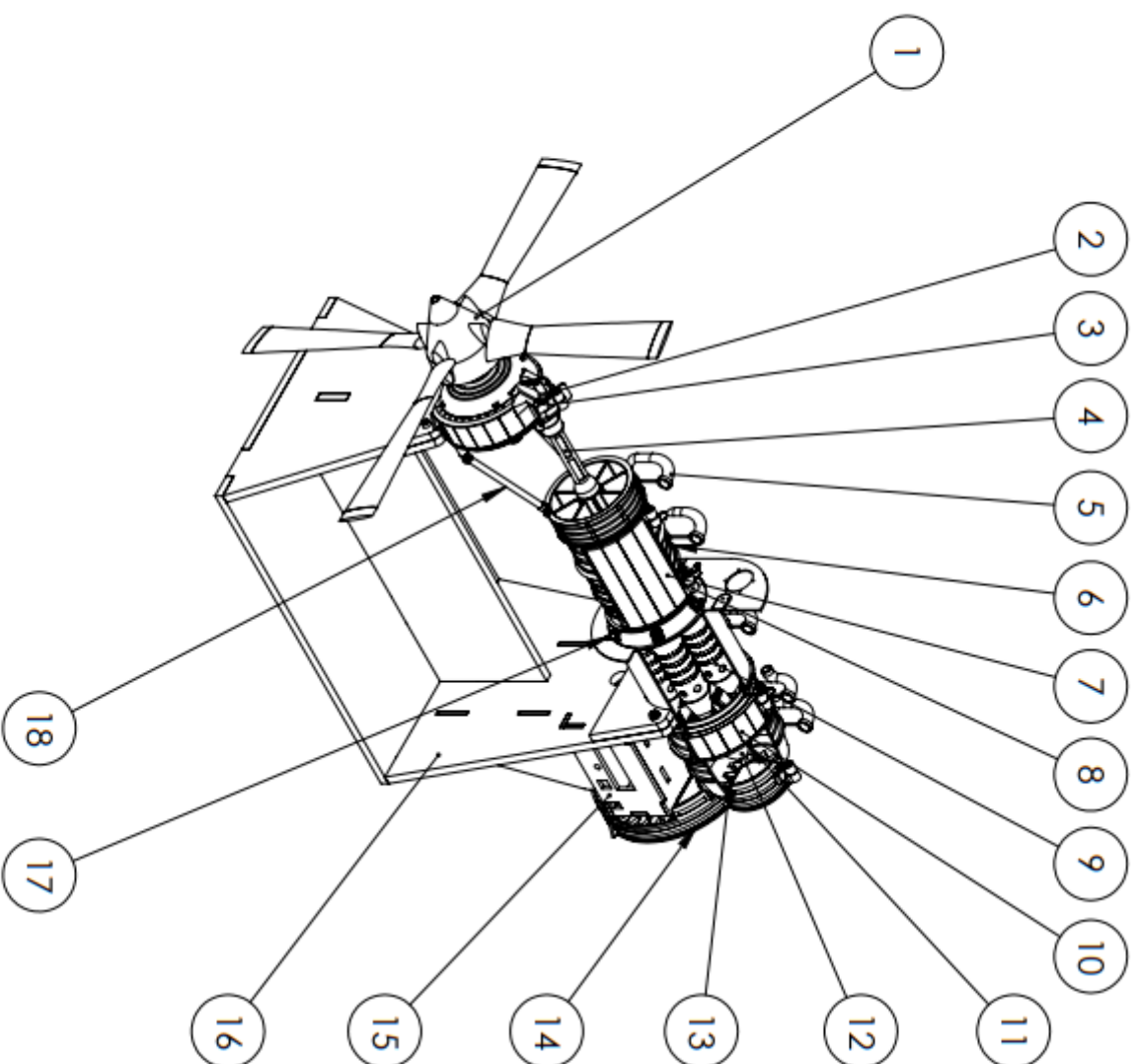
  if ( pwm > 85 ){
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    delay(750);
    digitalWrite(LED1, LOW);
    delay(750);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    delay(750);
    digitalWrite(LED2, LOW);
    delay(750);
    digitalWrite(LED3, HIGH);
    delay(750);
    digitalWrite(LED3, LOW);
    delay(750);
    digitalWrite(LED4, HIGH);
    delay(750);
    digitalWrite(LED4, LOW);
    delay(750);
    digitalWrite(LED5, HIGH);
    delay(750);
    digitalWrite(LED5, LOW);
    delay(750);
  }
```

```

if ( pwm > 85 && pwm <= 170){
digitalWrite(LED1, HIGH);
  delay(500);
digitalWrite(LED1, LOW);
  delay(500);
digitalWrite(LED2, HIGH);
  delay(500);
digitalWrite(LED2, LOW);
  delay(500);
digitalWrite(LED3, HIGH);
  delay(500);
digitalWrite(LED3, LOW);
  delay(500);
digitalWrite(LED4, HIGH);
  delay(500);
digitalWrite(LED4, LOW);
digitalWrite(LED5, HIGH);
  delay(500);
digitalWrite(LED5, LOW);
  delay(500);
}

if ( pwm > 170 && pwm <= 255){
digitalWrite(LED1, HIGH);
  delay(250);
digitalWrite(LED1, LOW);
  delay(250);
digitalWrite(LED2, HIGH);
  delay(250);
digitalWrite(LED2, LOW);
  delay(250);
digitalWrite(LED3, HIGH);
  delay(250);
digitalWrite(LED3, LOW);
  delay(250);
digitalWrite(LED4, HIGH);
  delay(250);
digitalWrite(LED4, LOW);
digitalWrite(LED5, HIGH);
  delay(250);
digitalWrite(LED5, LOW);
}
}

```



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Propeller		1
2.	Reduction Gearbox		1
3.	Cover Pelindung RGA		1
4.	Poros (shaft)		1
5.	Cover LED		1
6.	Engine Housing		1
7.	14 Stage Axial-Flow Compressor		1
8.	Cover Pelindung Compressor		1
9.	6 Cylindrical Through-Flow Combustion Liner		1
10.	4 Stage Axial Turbine		1
11.	Cover Pelindung Turbine		1
12.	Tail Cone		1
13.	Spur Gear Motor Penggerak		1
14.	Cover Pelindung Spur Gear		1
15.	Tower Box		1
16.	Penyangga		1
17.	Fuel Injector Nozzle		1
18.	Power Shaft Support		1



Skala : 1:8
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

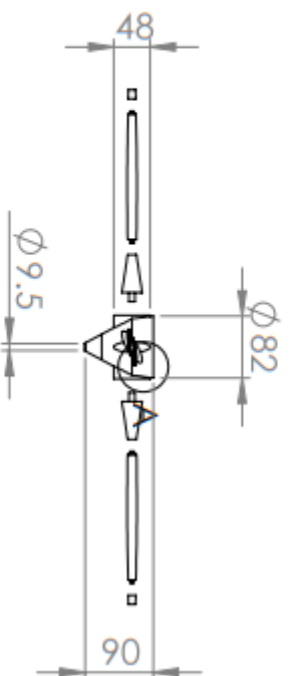
Digambar :Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

Keterangan :

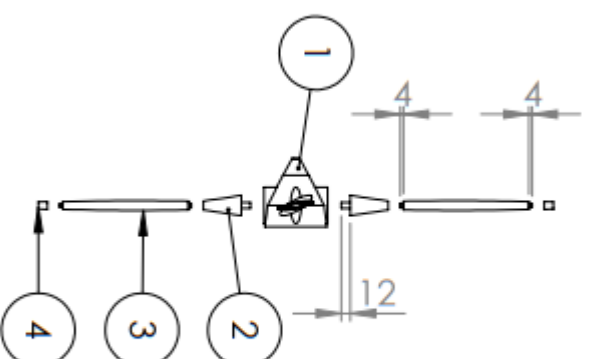
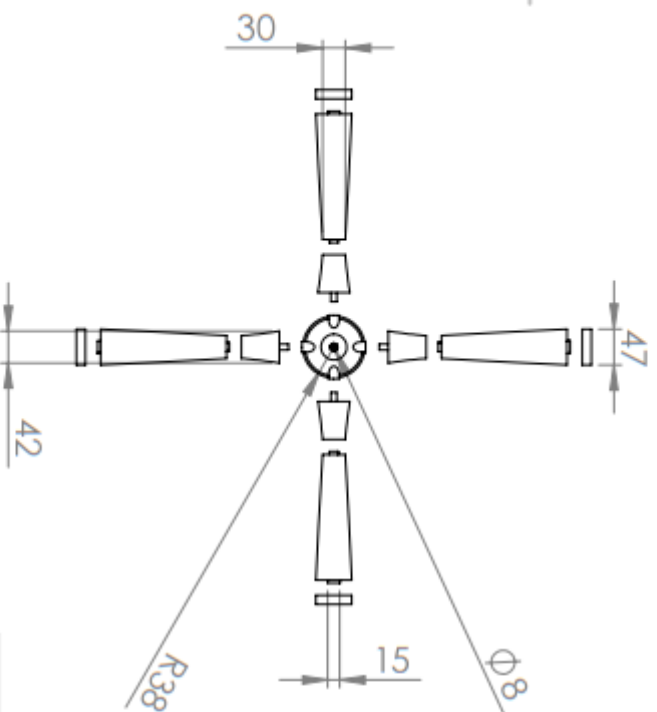
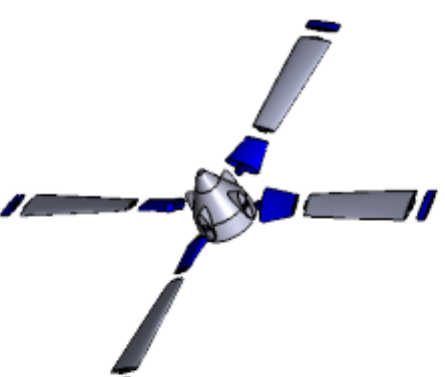
Teknik Mesin FTI UII

Alat Peraga Allison T56

A4



DETAIL A
SCALE 1 : 3



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Spinner		1
2.	Propeller Part 1		4
3.	Propeller Part 2		4
4.	Propeller Part 3		4



Skala : 1:10
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Spinner dan Propeller

A4

6

5

4

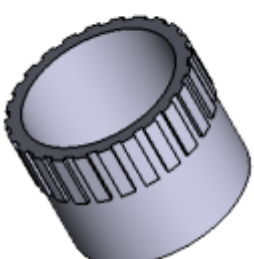
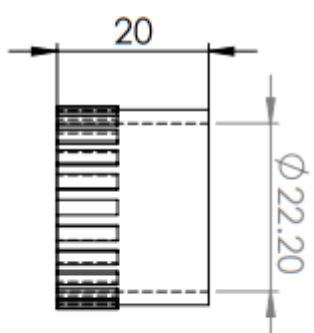
3

2

1

D

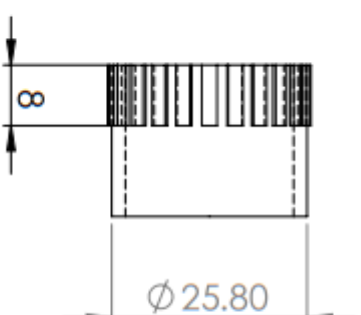
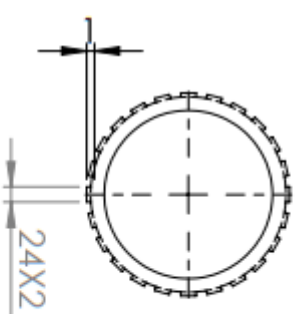
D



C

B

B



A

A



Skala	: 1:1	Digambar :	Muhammad Nur Fauzi	Keterangan :
Satuan Ukuran :	mm	NIM	: 17525103	
Tanggal	: 28/2/2022	Diperiksa :	Faisal Arif Nurgasang	

Teknik Mesin FTI UII

Propeller Shaft Cover

A4

6

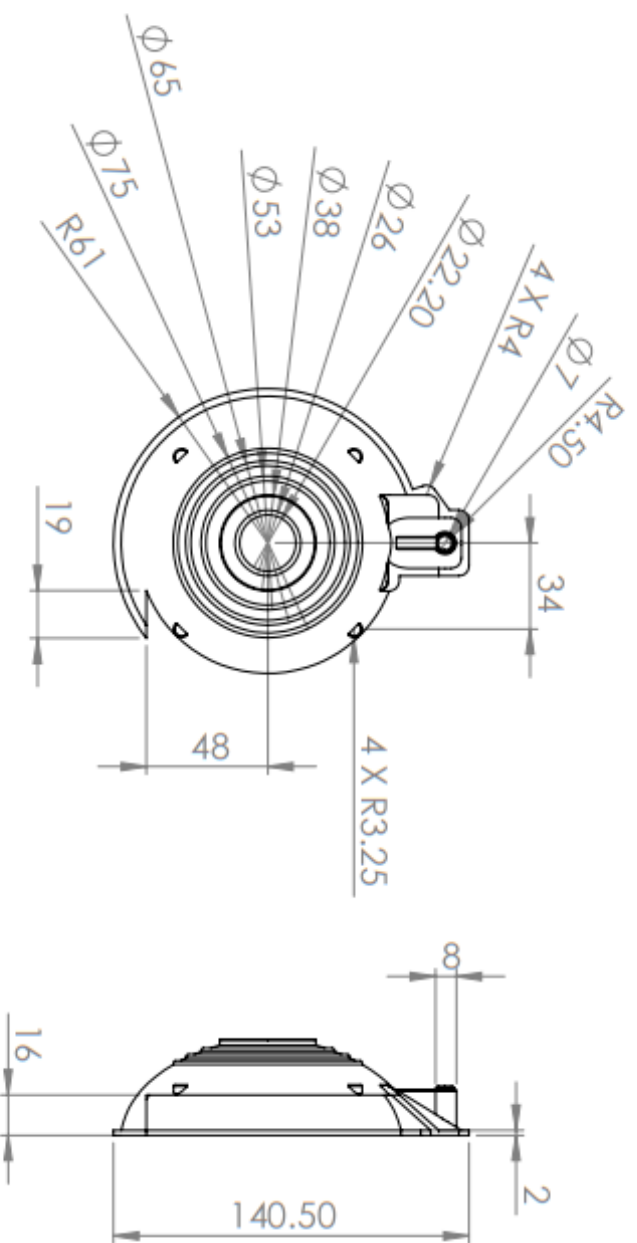
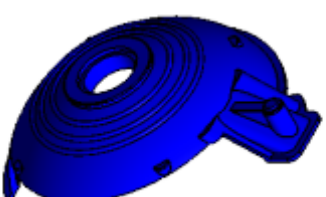
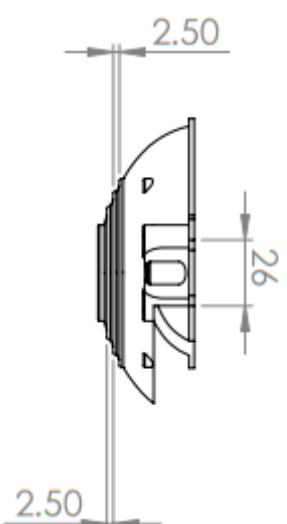
5

4

3

2

1



Skala	: 1:3
Satuan Ukuran	: mm
Tanggal	: 28/2/2022

Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UH

Reduction Gearbox Housing 1

A4

6

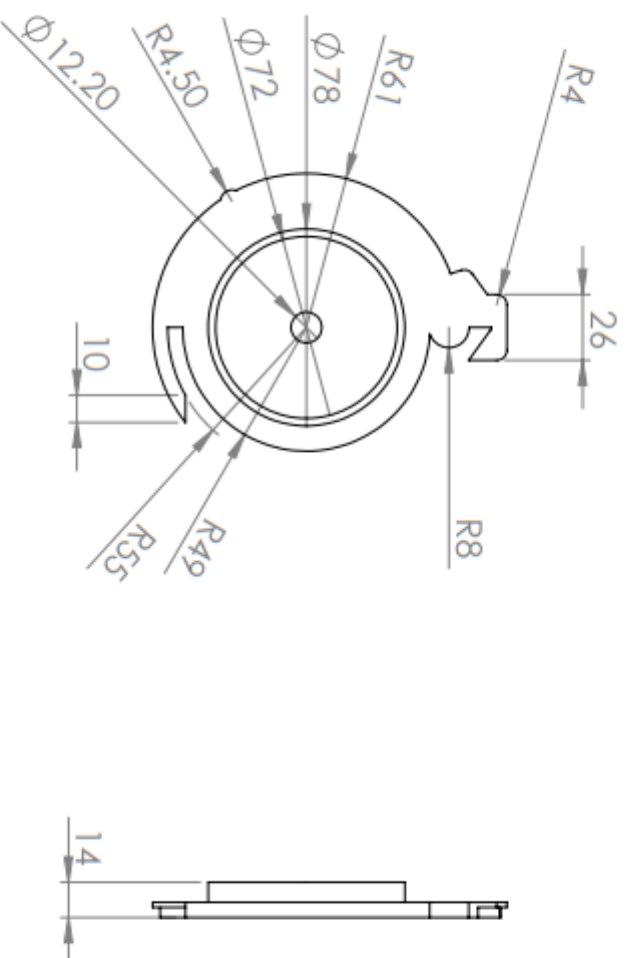
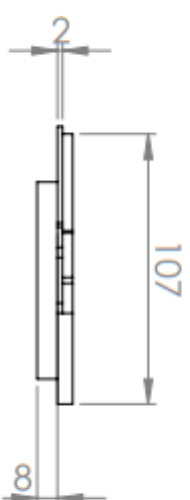
5

4

3

2

1



Skala : 1:3

Satuan Ukuran : mm

Tanggal : 28/2/2022

Digambar : Muhammad Nur Fauzi

NIM : 17525103

Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Reduction Gearbox Housing 2

A4

6

5

4

3

2

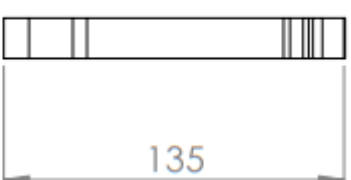
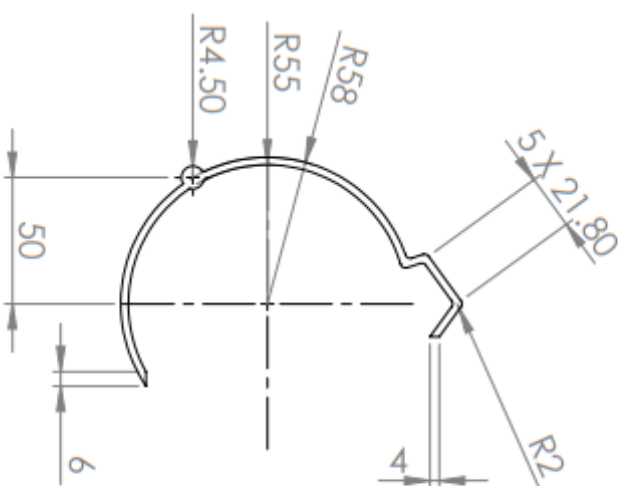
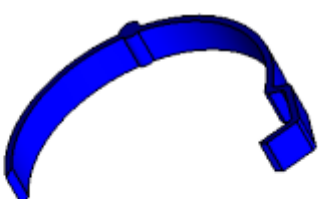
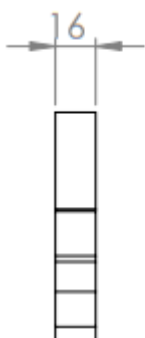
1

D

C

B

A



Skala : 1:3

Satuan Ukuran : mm

Tanggal : 28/2/2022

Digambar : Muhammad Nur Fauzi

NIM : 17525103

Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Reduction Gearbox Housing 3

A4

6

5

4

3

2

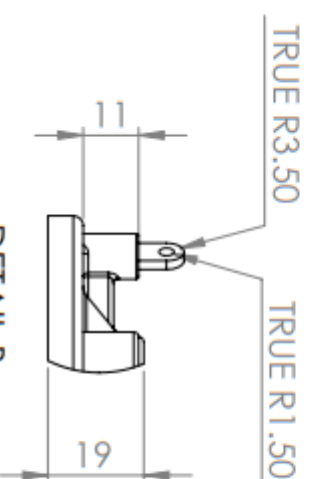
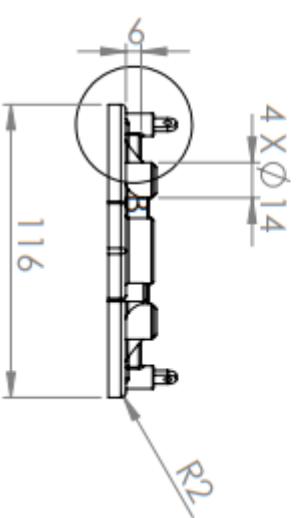
1

D

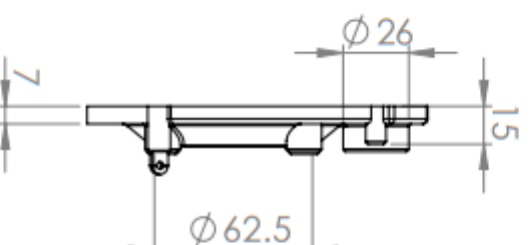
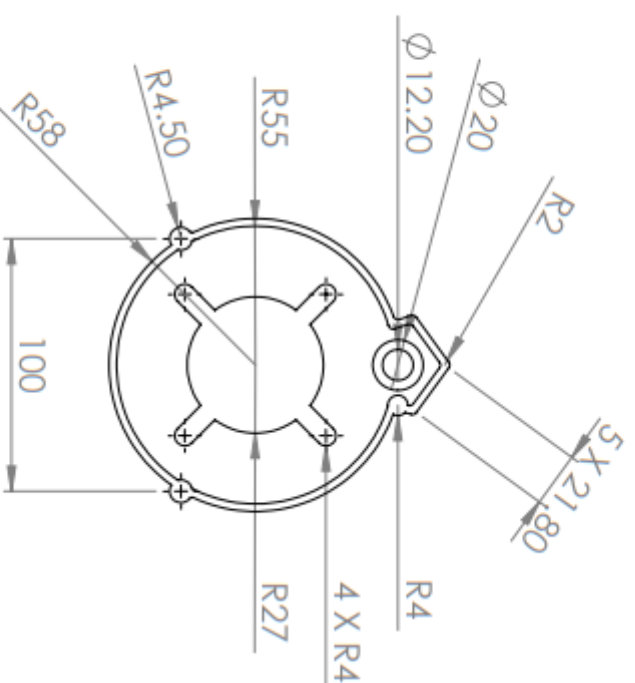
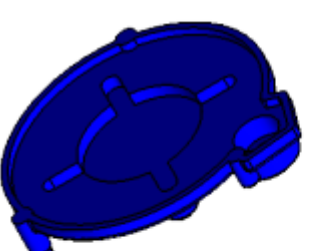
C

B

A



DETAIL B
SCALE 2 : 3



Skala : 1:3
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

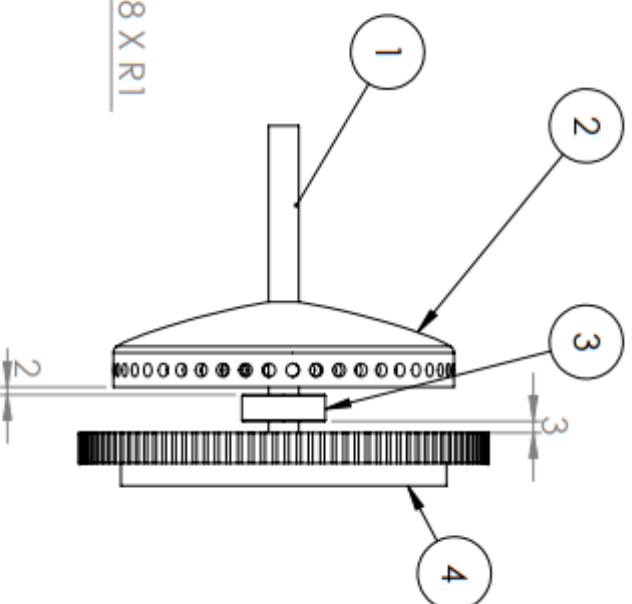
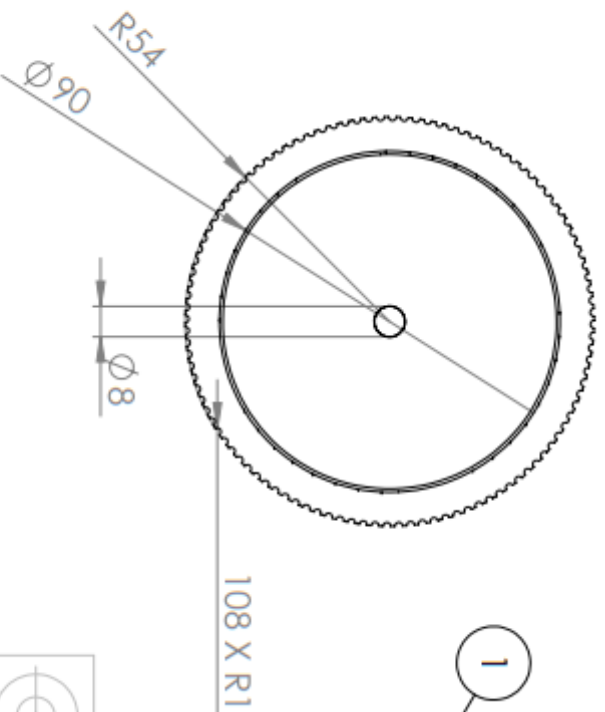
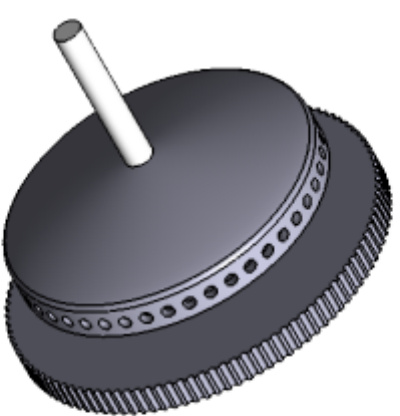
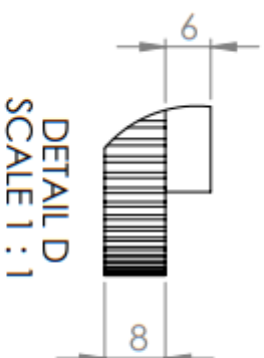
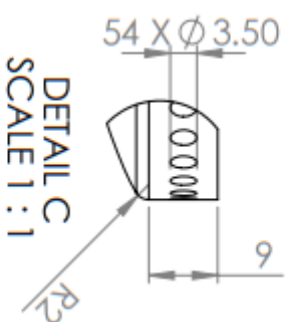
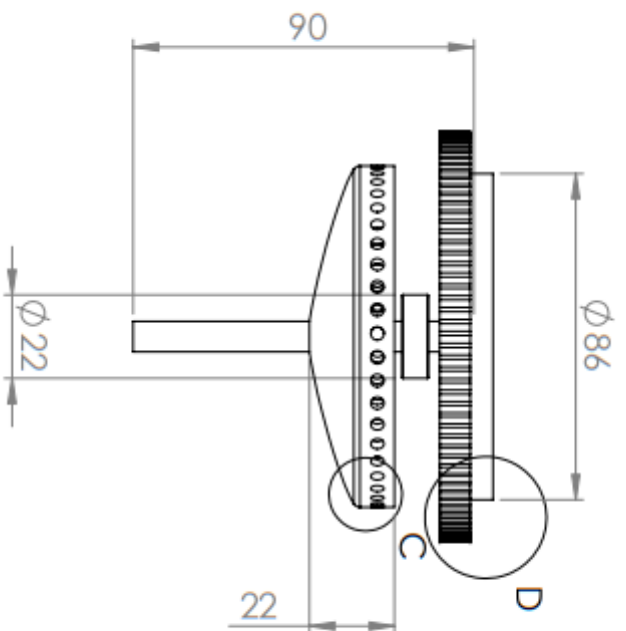
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Reduction Gearbox Housing 4

A4



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Propeller Shaft		1
2.	Ring Gear Housing Accessories		1
3.	ISO 15 ABB - 108 - 8,SI,NC, 8_68		1
4.	Gear 108T		1



Skala : 1:2
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

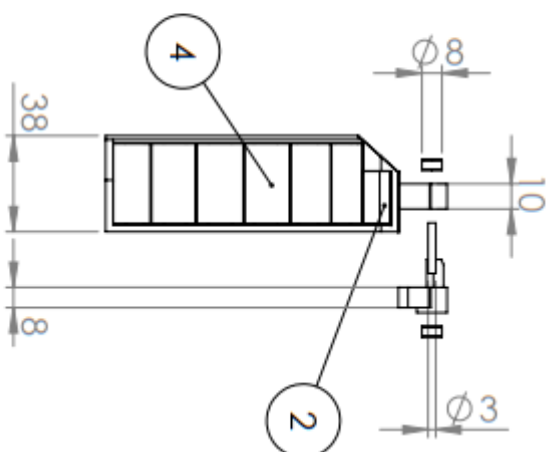
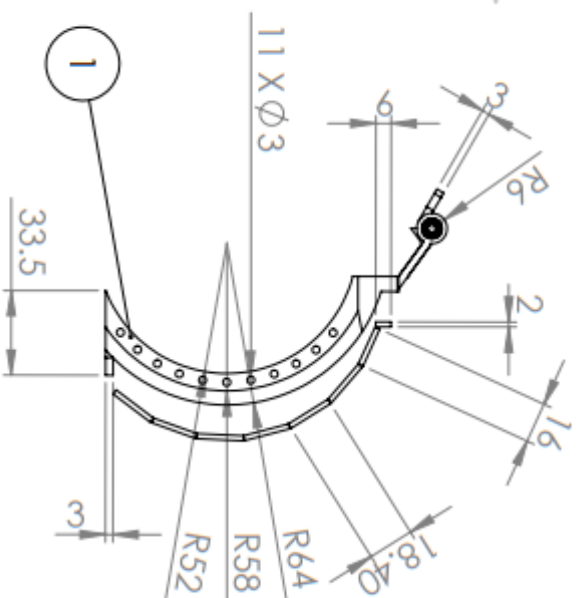
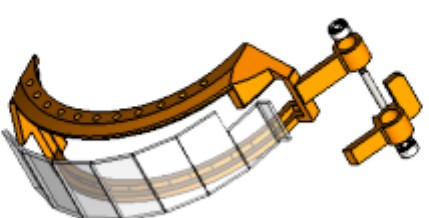
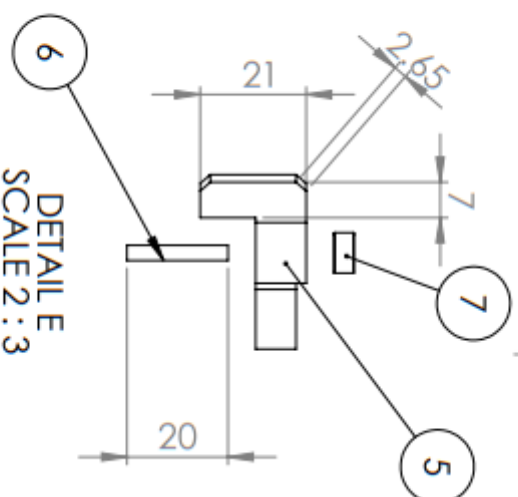
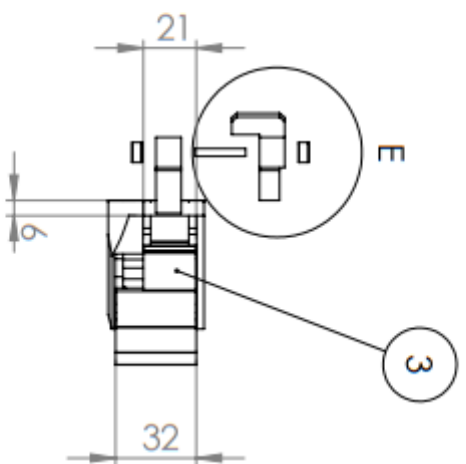
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Propeller Shaft, Bearing, dan Gear

A4



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Frame		1
2.	Shield 1		1
3.	Shield 2		1
4.	Shield 3		6
5.	Hinge		1
6.	Poros 3 mm		1
7.	ISO 15 ABB - 393 - 8, DE, NC, 8_68		2



Skala : 1:3
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nungesang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Cover Pelindung Reduction Gearbox

A4

6

5

4

3

2

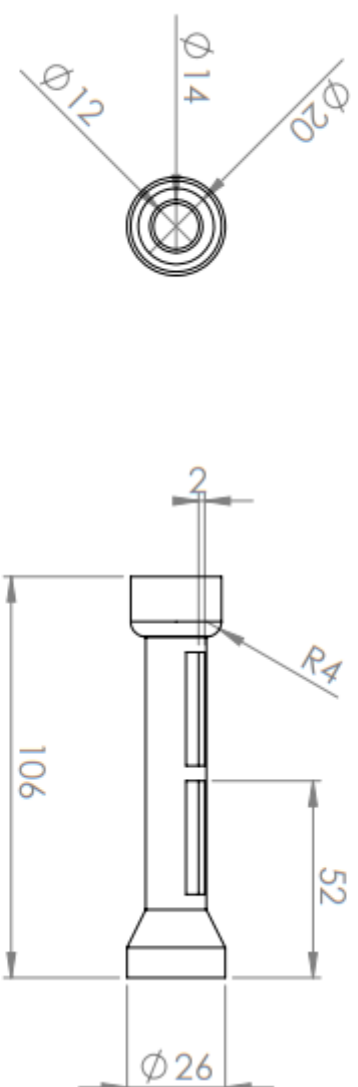
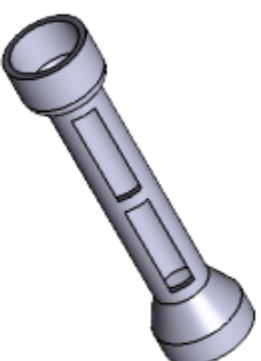
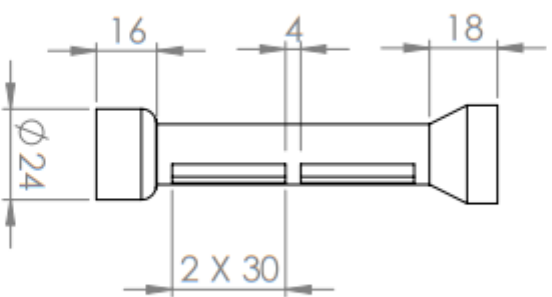
1

D

C

B

A



Skala

: 1:2

Satuan Ukuran : mm

Digambar : Muhammad Nur Fauzi

NIM : 17525103

Tanggal

Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Power Shaft Cover

A4

6

5

4

3

2

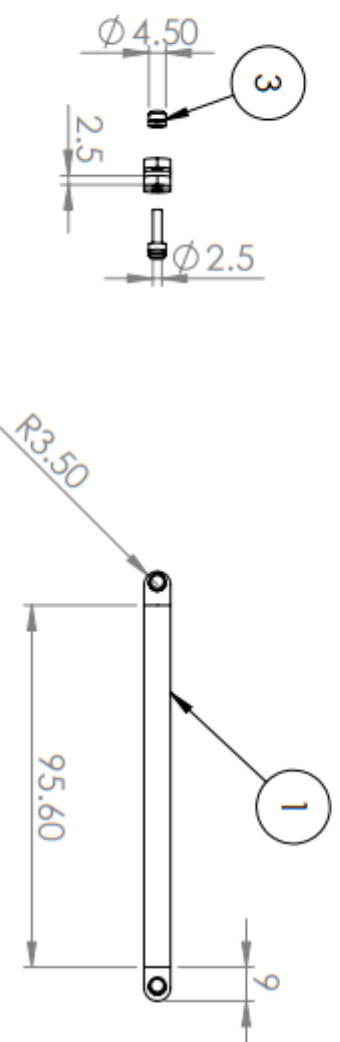
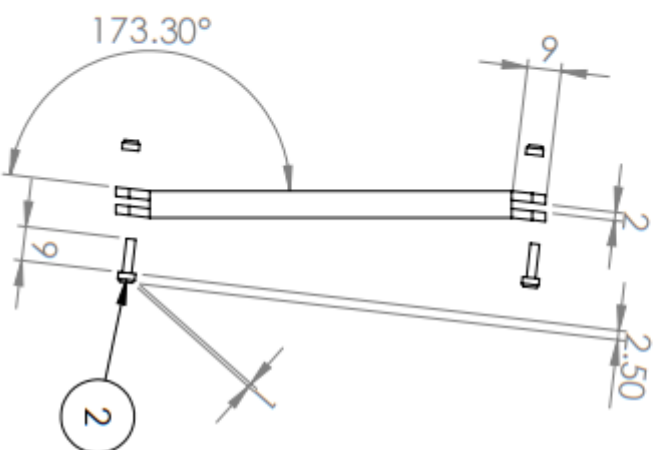
1

D

C

B

A



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Power Shaft Support		2
2.	Male Clip		4
3.	Female Clip		4



Skala : 1:2
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

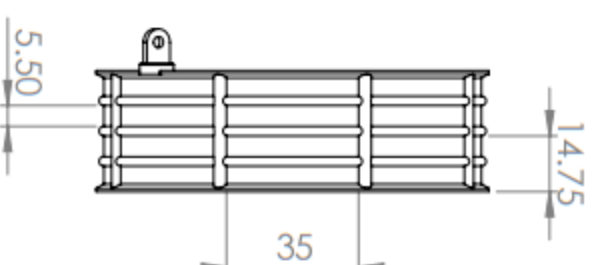
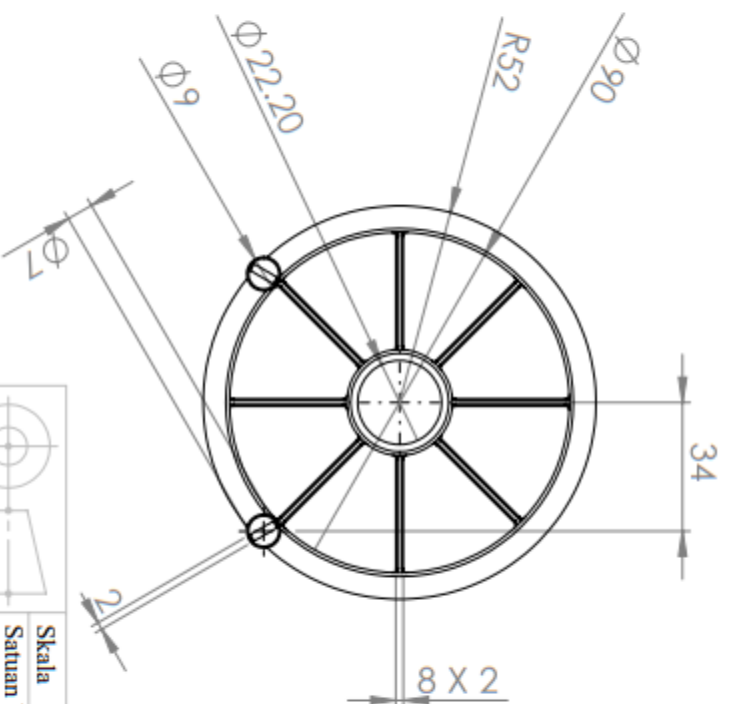
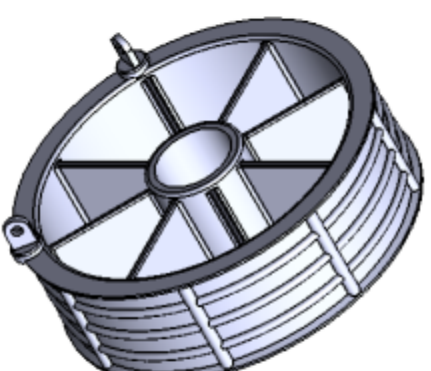
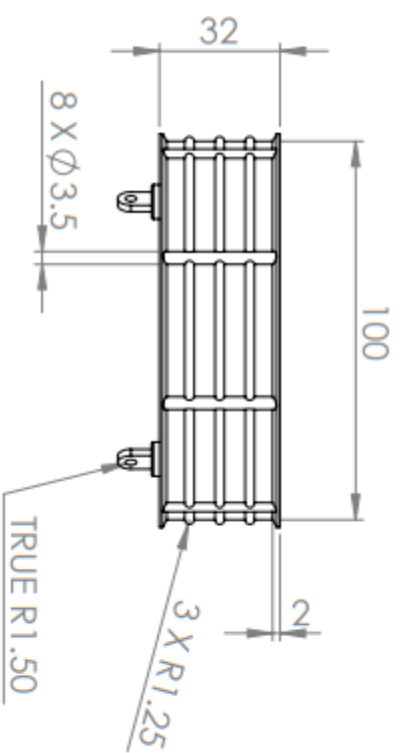
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Power Shaft Support dan Clip Set

A4



Skala : 1:2
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nungesang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Engine Housing 1

A4

6

5

4

3

2

1

D

D

C

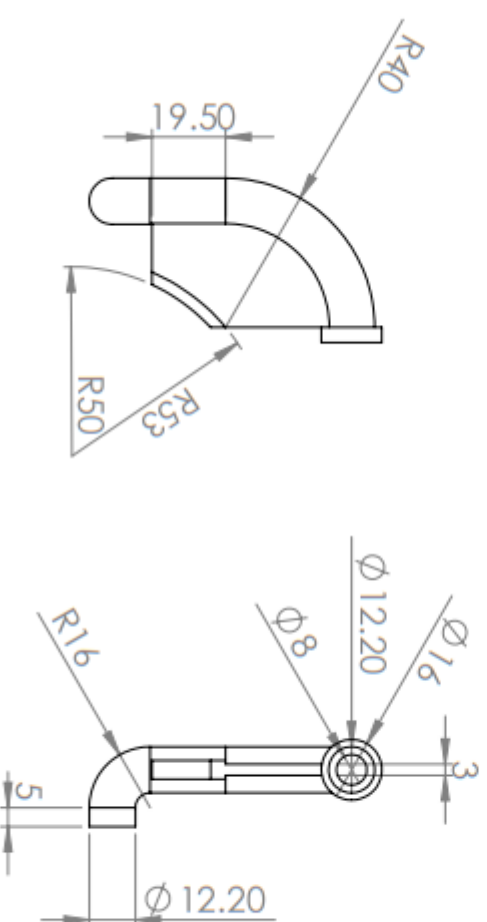
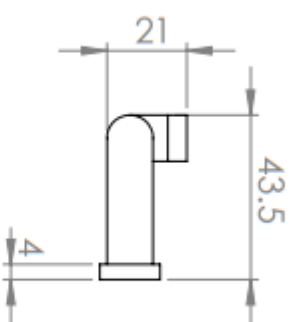
C

B

B

A

A



Skala : 1:2
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

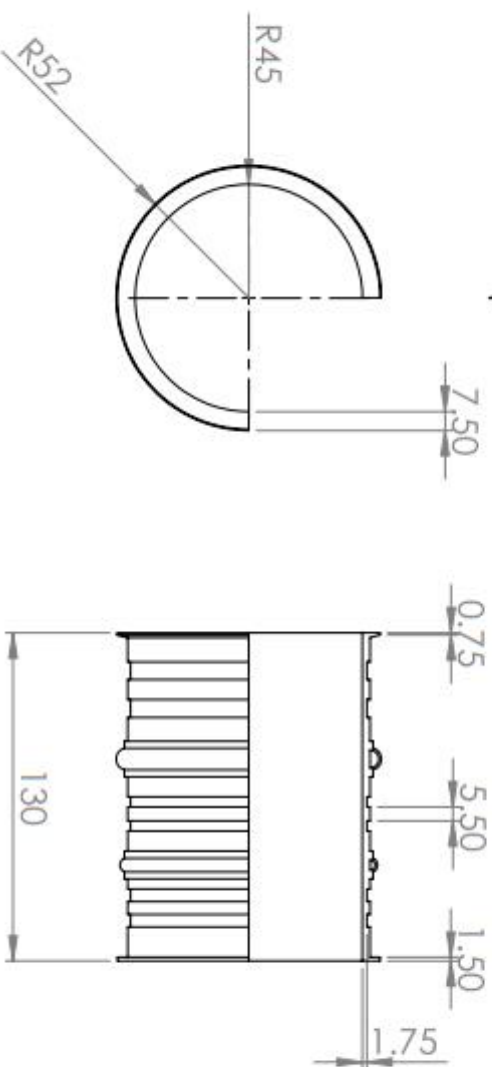
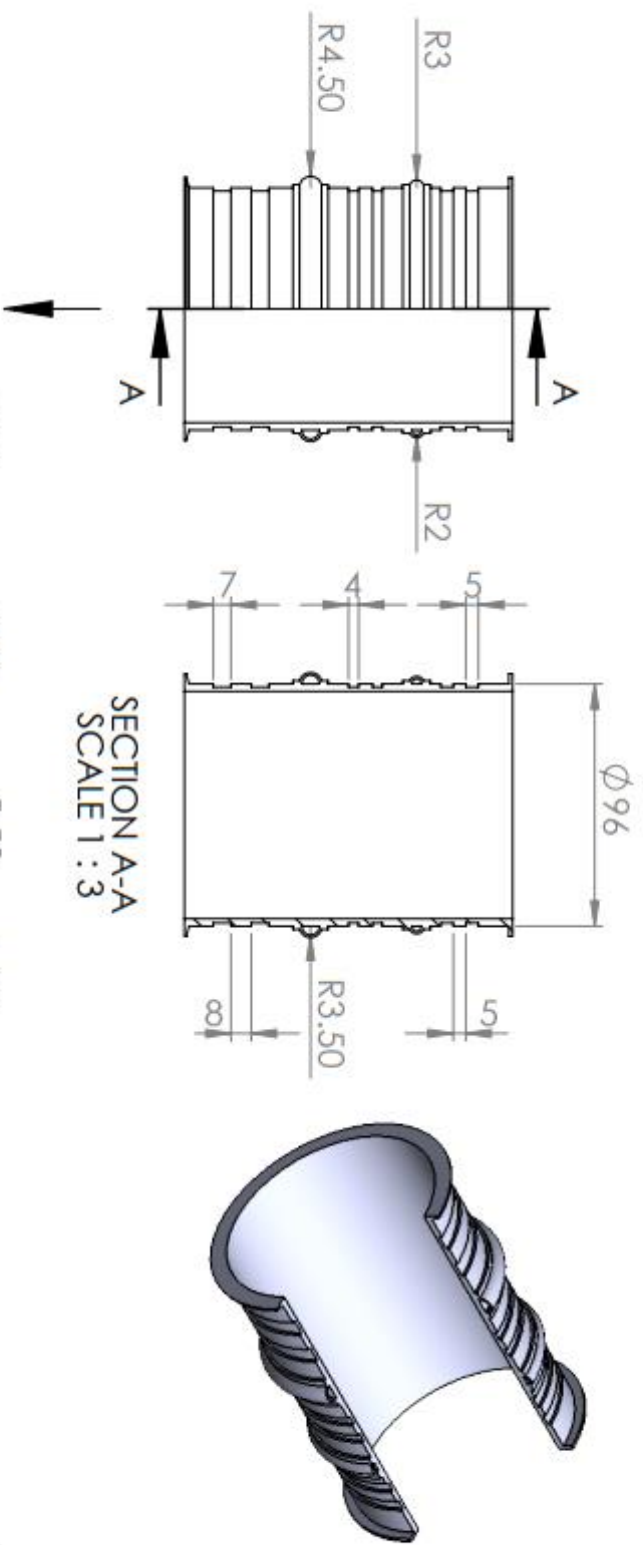
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faissal Arif Nurgessang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Cover LED Intake

A4



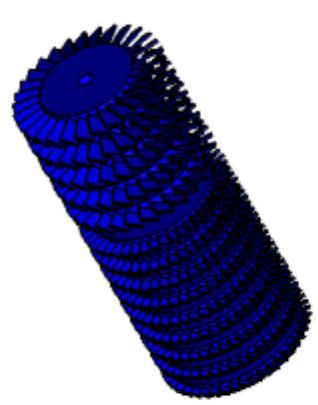
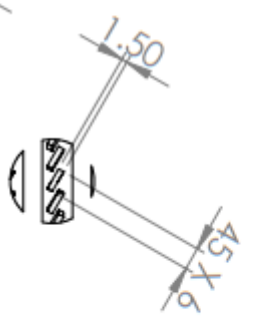
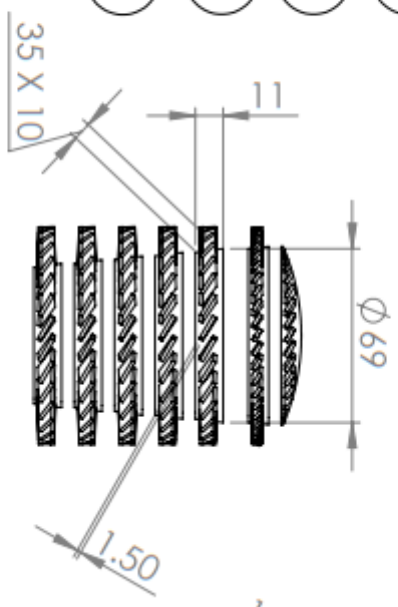
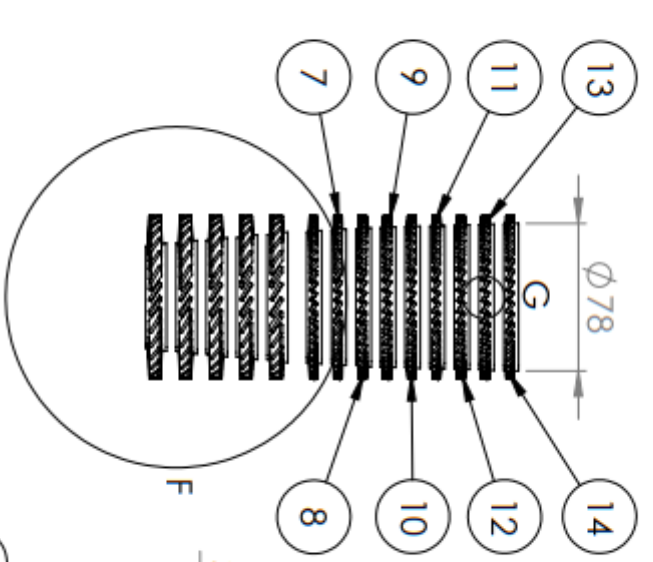
Skala	: 1:3	Digambar :	Muhammad Nur Fauzi
Satuan Ukuran :	mm	NIM	: 17525103
Tanggal	: 28/2/2022	Diperiksa :	Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UH

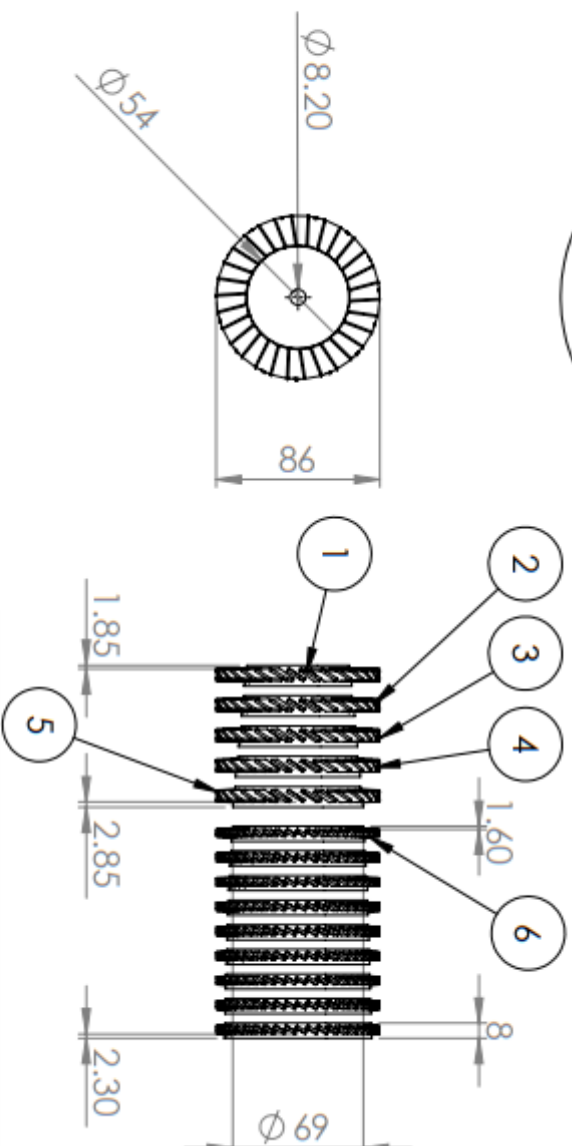
Engine Housing 2

A4



DETAIL F
SCALE 1 : 3

DETAIL G
SCALE 1 : 2



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Compressor Stage 1		1
2.	Compressor Stage 2		1
3.	Compressor Stage 3		1
4.	Compressor Stage 4		1
5.	Compressor Stage 5		1
6.	Compressor Stage 6		1
7.	Compressor Stage 7		1
8.	Compressor Stage 8		1
9.	Compressor Stage 9		1
10.	Compressor Stage 10		1
11.	Compressor Stage 11		1
12.	Compressor Stage 12		1
13.	Compressor Stage 13		1
14.	Compressor Stage 14		1



Skala : 1:4
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

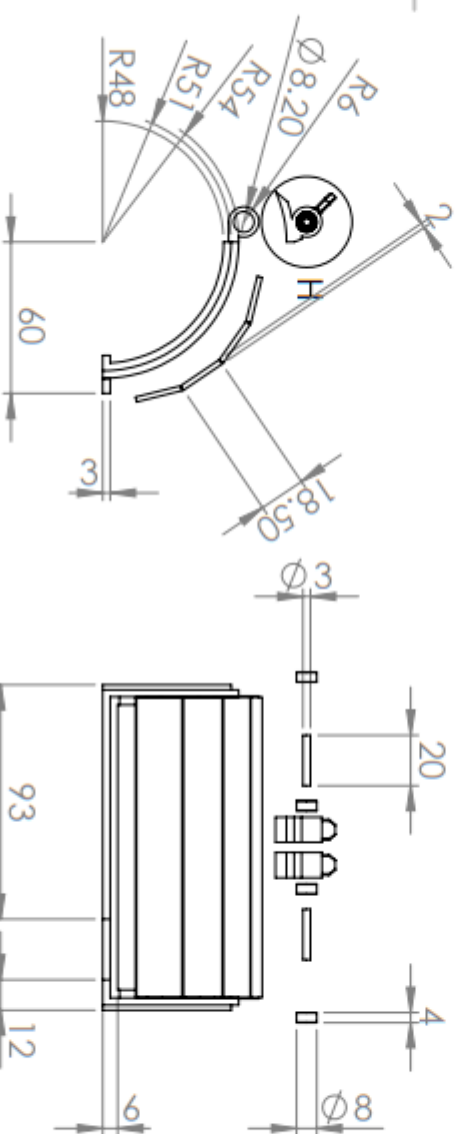
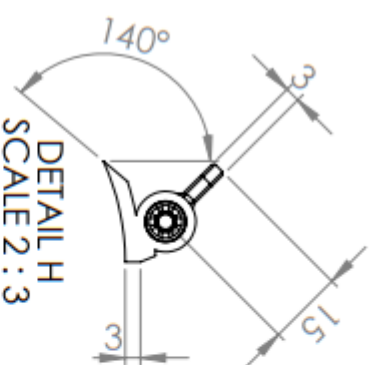
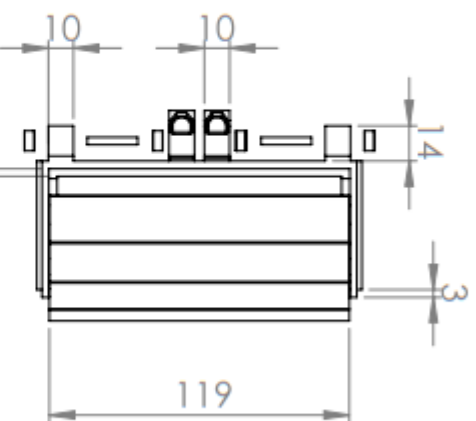
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faissal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

14 Stage Axial-Flow Compressor

A4



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Frame		1
2.	Shield		4
3.	Hinge		2
4.	Poros 3 mm		2
5.	ISO 15 ABB - 393 - 8,DE,NC, 8_68		4



Skala : 1:3
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgessang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Cover Pelindung Compressor

A4

6

5

4

3

2

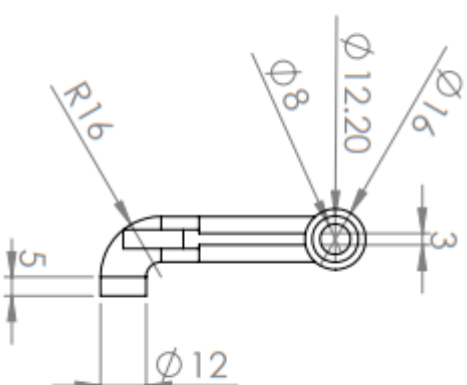
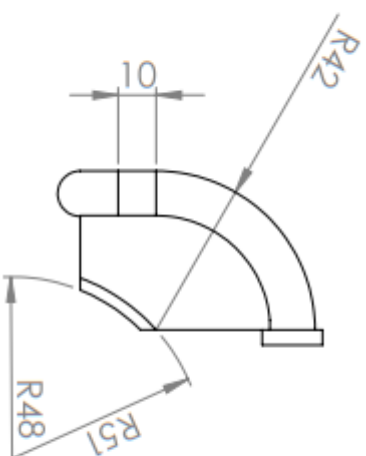
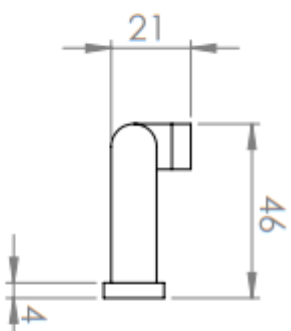
1

D

C

B

A



Skala

: 1:2

Satuan Ukuran : mm

NIM : 17525103

Tanggal

: 28/2/2022

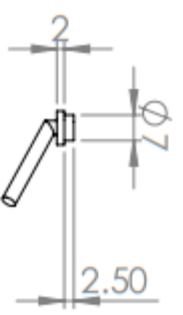
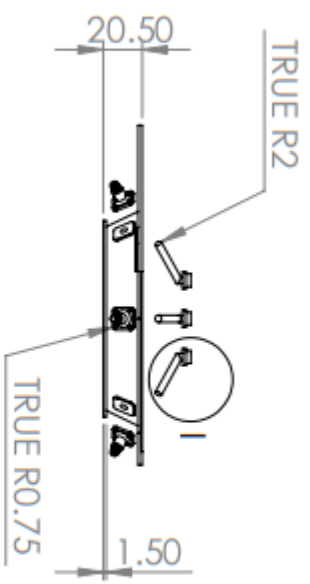
Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

Keterangan :

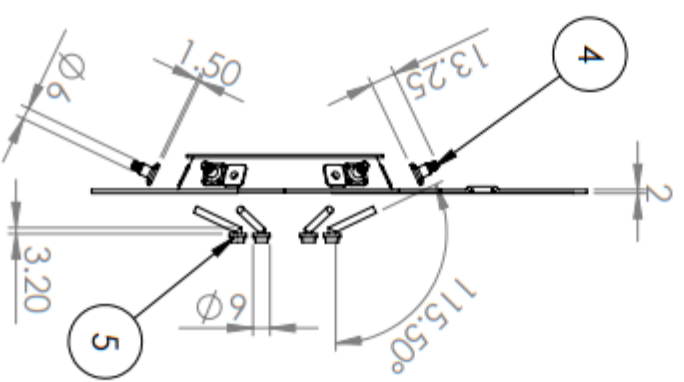
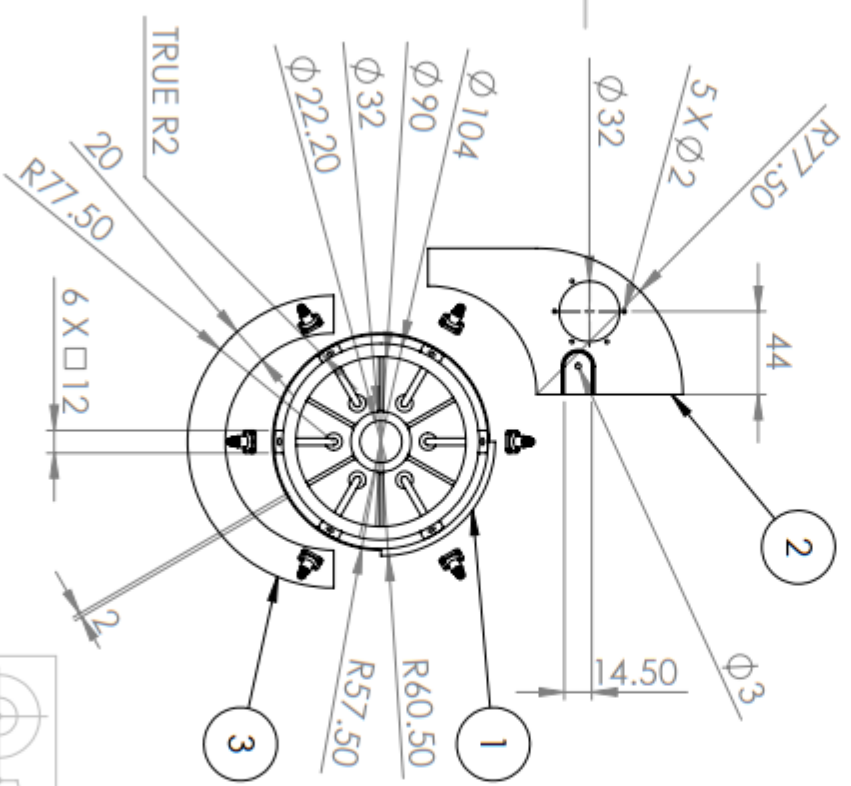
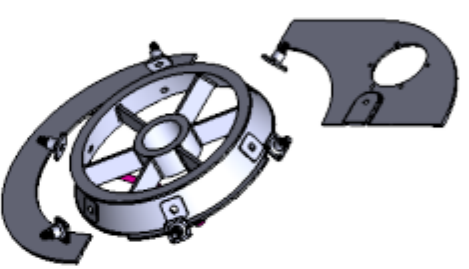
Teknik Mesin FTI UII

Cover LED Compressor

A4



DETAIL 1
SCALE 1 : 2



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Engine Housing 3		1
2.	Top Plate		1
3.	Bottom Plate		1
4.	Fuel Injector Nozzle		6
5.	Fuel Injector Pipe		6



Skala : 1:4
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

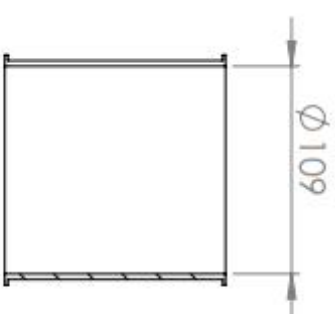
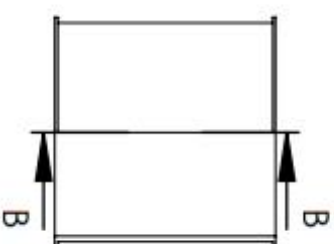
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

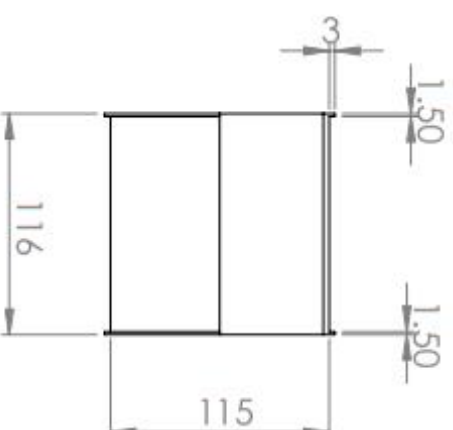
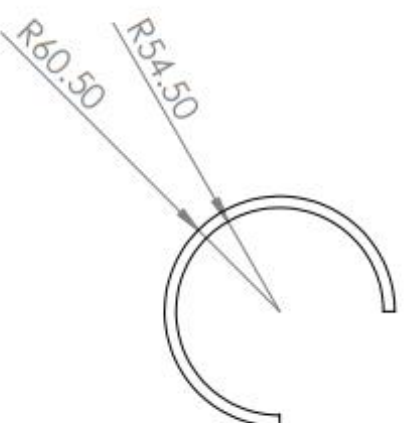
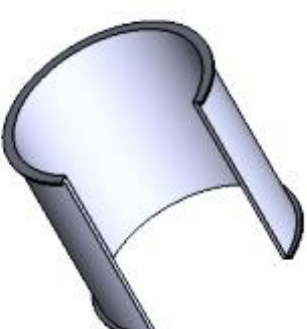
Teknik Mesin FTI UII

Engine Housing 3 dan Fuel Injector

A4



SECTION B-B
SCALE 1 : 4



Skala : 1:4
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

Keterangan :

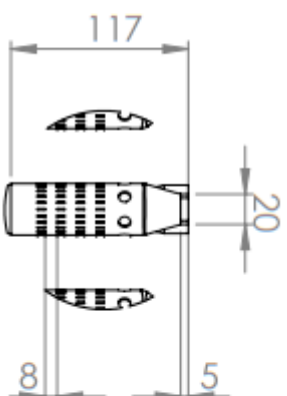
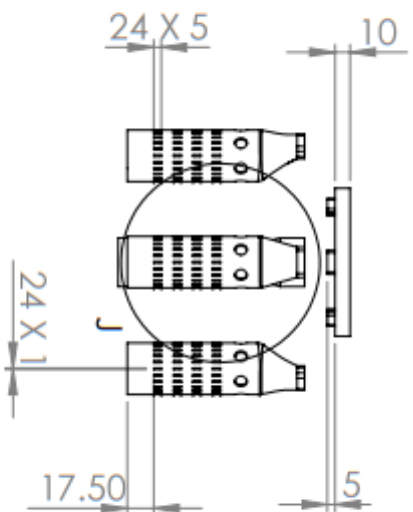
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103

Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

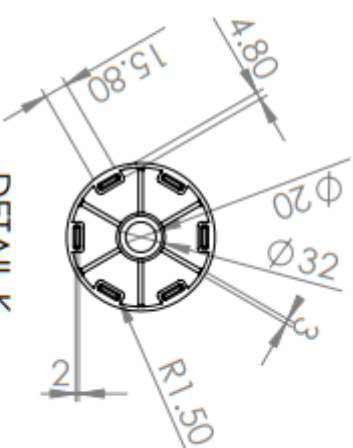
Teknik Mesin FTI UII

Engine Housing 4

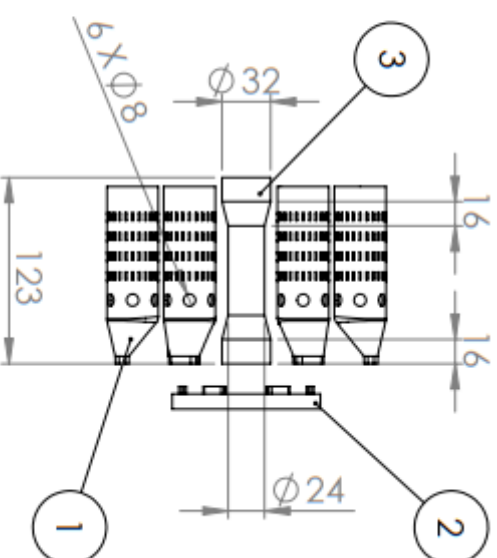
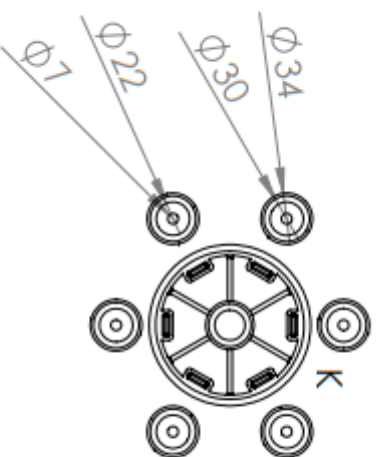
A4



DETAIL J
SCALE 1 : 5



DETAIL K
SCALE 1 : 5



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	6 Cylindrical Through-Flow Combustion Liner		6
2.	6 Cylindrical Through-Flow Combustion Liner Bracket		1
3.	Combustion Chamber Shaft Cover		1



Skala : 1:5
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

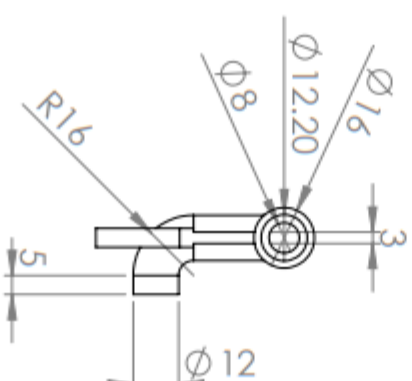
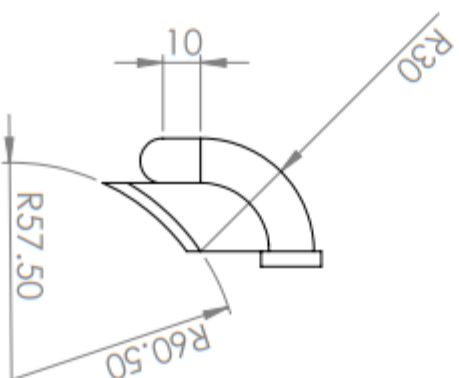
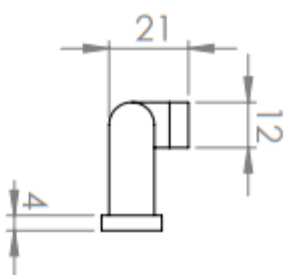
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Combustion Chamber

A4



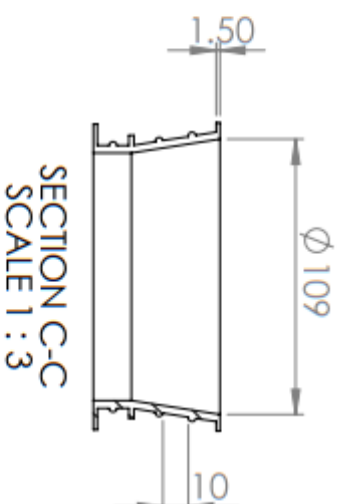
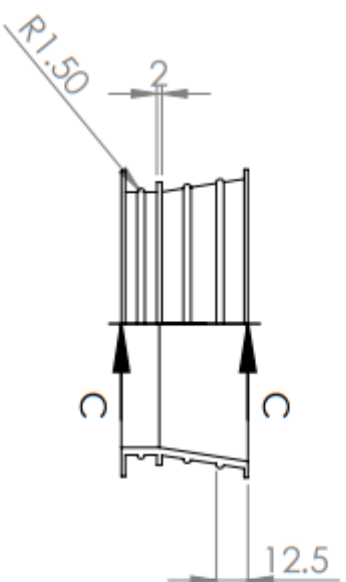
Skala	: 1:2	Digambar	: Muhammad Nur Fauzi
Satuan Ukuran	: mm	NIM	: 17525103
Tanggal	: 28/2/2022	Diperiksa	: Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

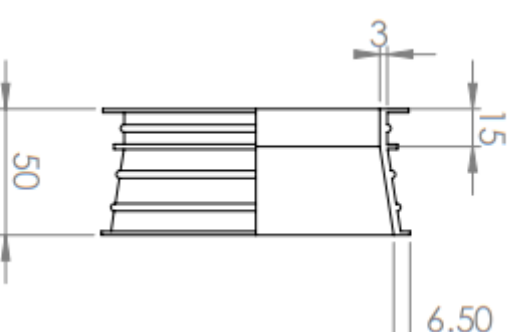
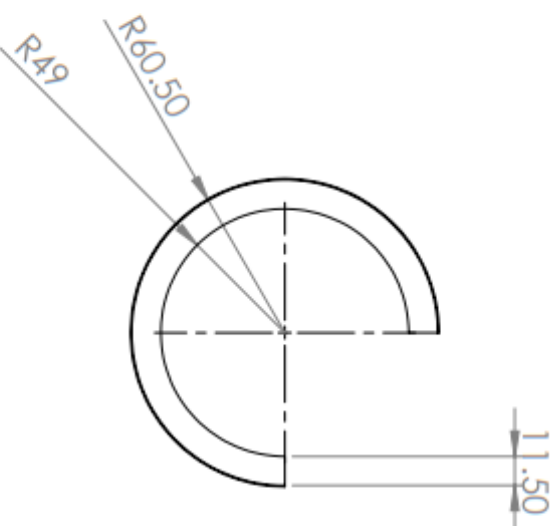
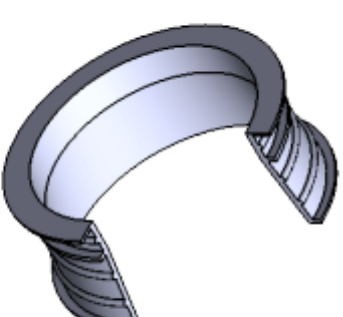
Teknik Mesin FTI UII

Cover LED Combustion Chamber

A4



SECTION C-C
SCALE 1 : 3



Skala : 1:3
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

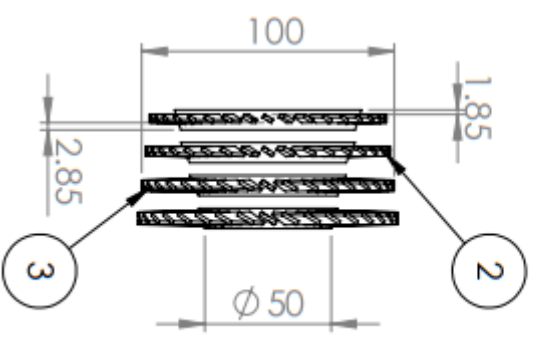
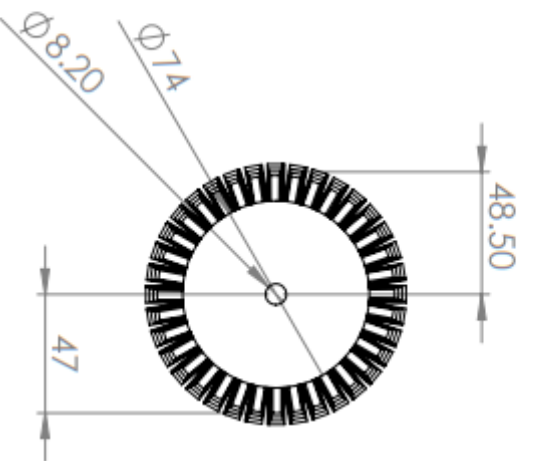
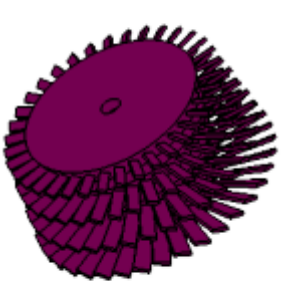
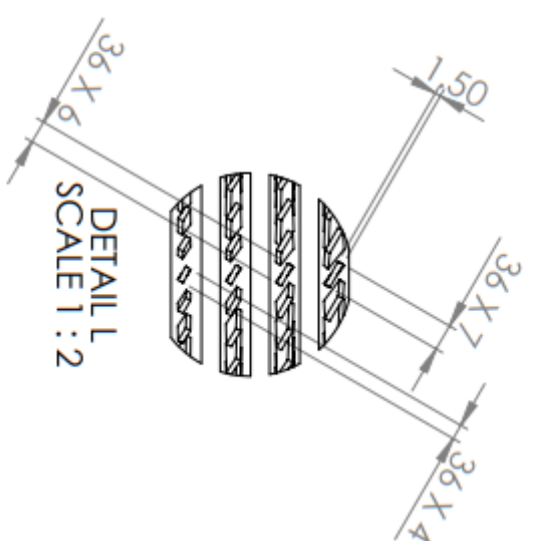
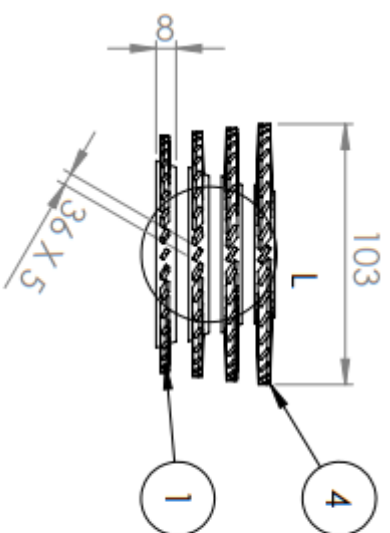
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Engine Housing 5

A4



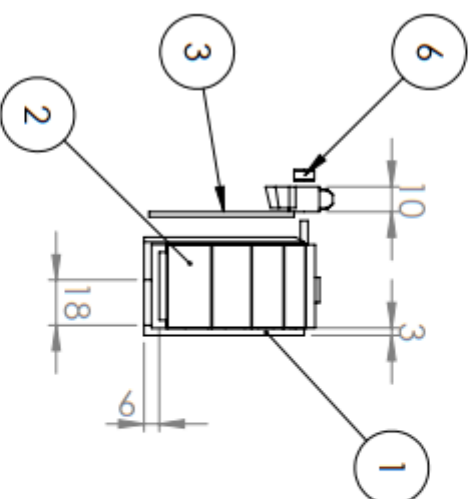
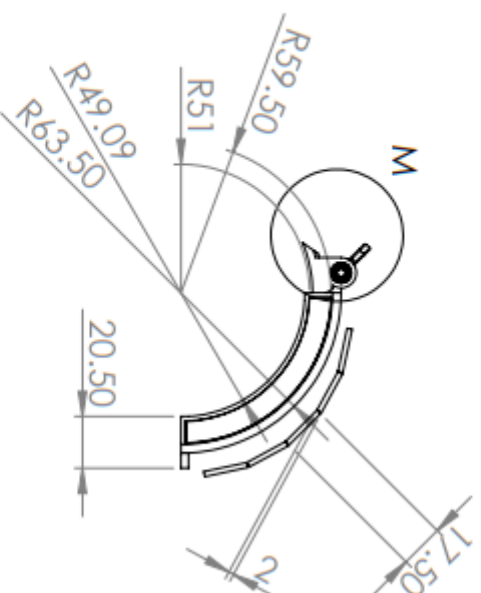
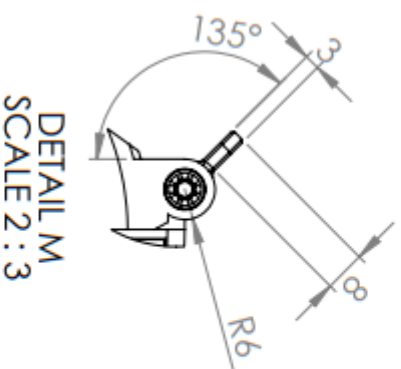
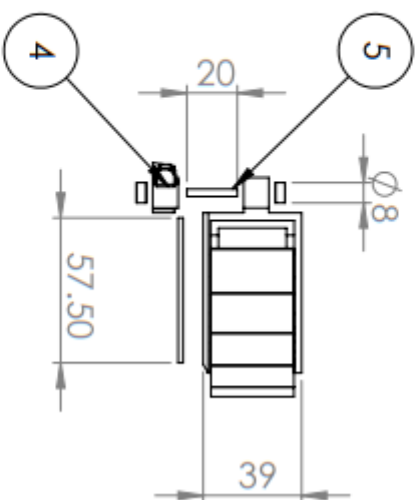
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Turbine Stage 1		1
2.	Turbine Stage 2		1
3.	Turbine Stage 3		1
4.	Turbine Stage 4		1

Skala : 1:10	Digambar : Muhammad Nur Fauzi	Keterangan :
Satuan Ukuran : mm	NIM : 17525103	
Tanggal : 28/2/2022	Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang	

Teknik Mesin FTI UII

4 stage axial turbine

A4



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Frame		1
2.	Shield 1		5
3.	Shield 2		1
4.	Hinge		1
5.	Poros 3 mm		1
6.	ISO 15 ABB - 393 - 8,DE,NC, 8_68		2



Skala : 1:4
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

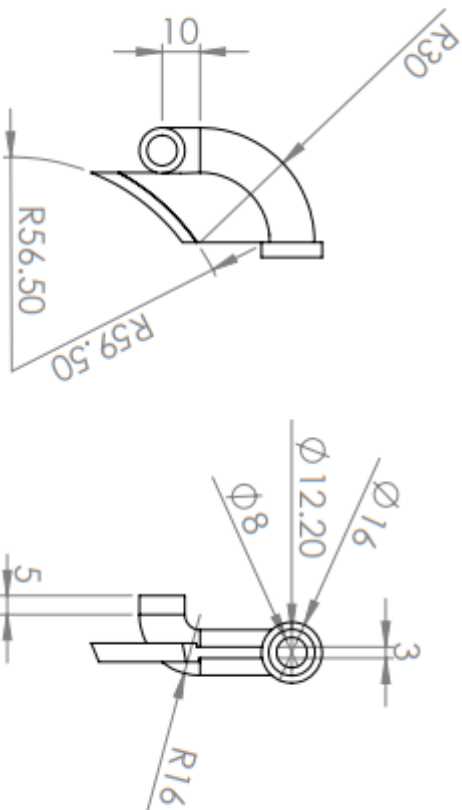
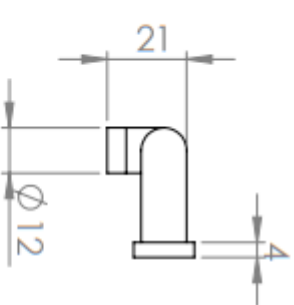
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Cover Pelindung Turbine

A4



Teknik Mesin FTI UII

Cover LED Turbine

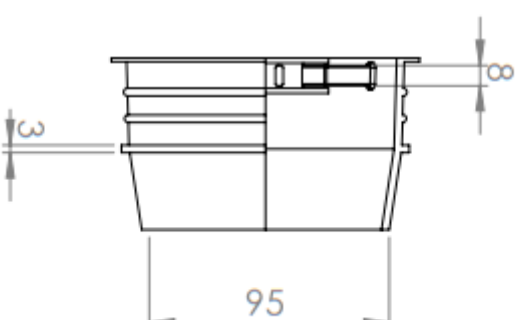
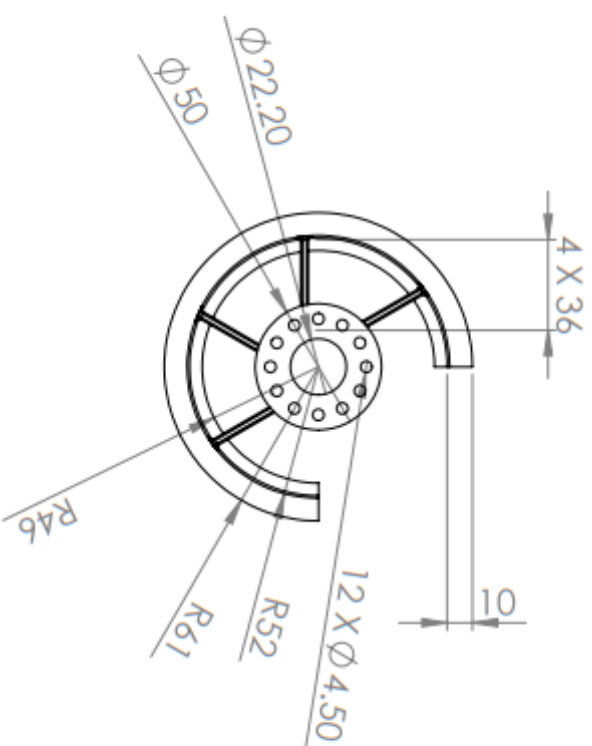
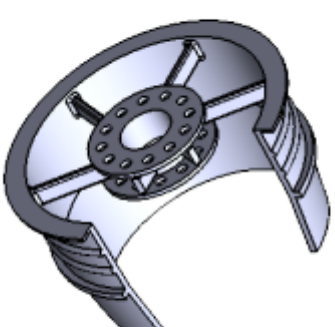
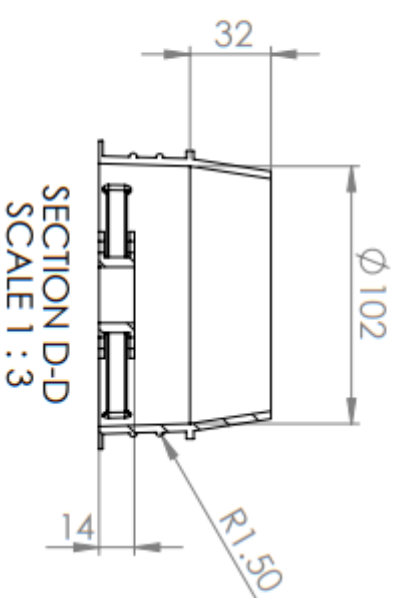
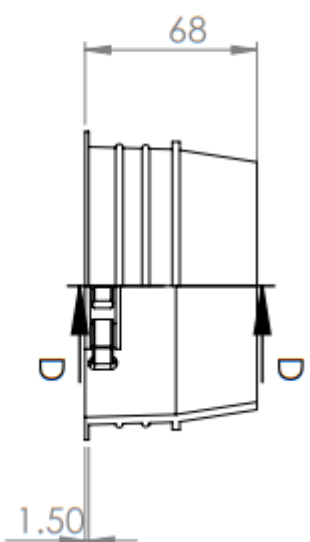
A4



Skala : 1:2
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :



Skala : 1:3
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nungesang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Engine Housing 6

A4

6

5

4

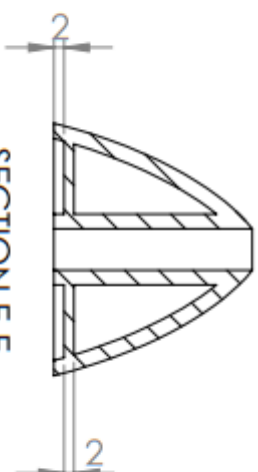
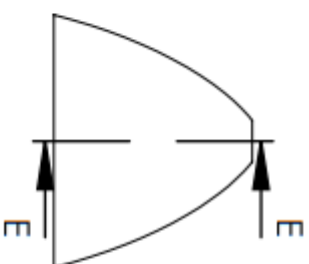
3

2

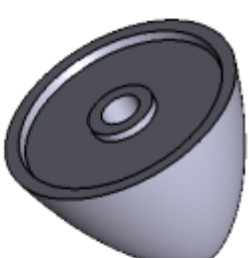
1

D

D



SECTION E-E
SCALE 2 : 3

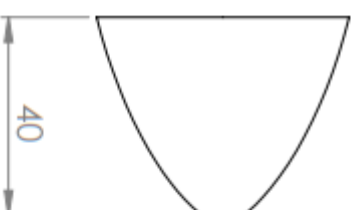
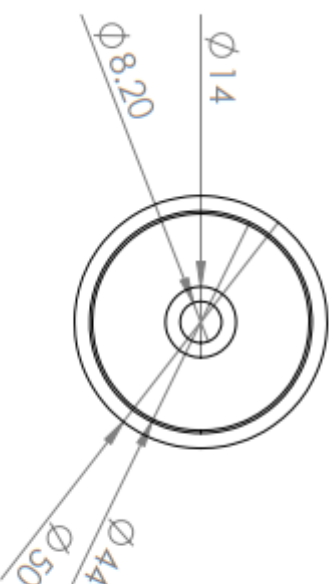


C

C

B

B



A

A



Skala	: 2:3	Digambar : Muhammad Nur Fauzi
Satuan Ukuran : mm		NIM : 17525103
Tanggal	: 28/2/2022	Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UH

Tail Cone

A4

6

5

4

3

2

1

6

5

4

3

2

1

D

D

C

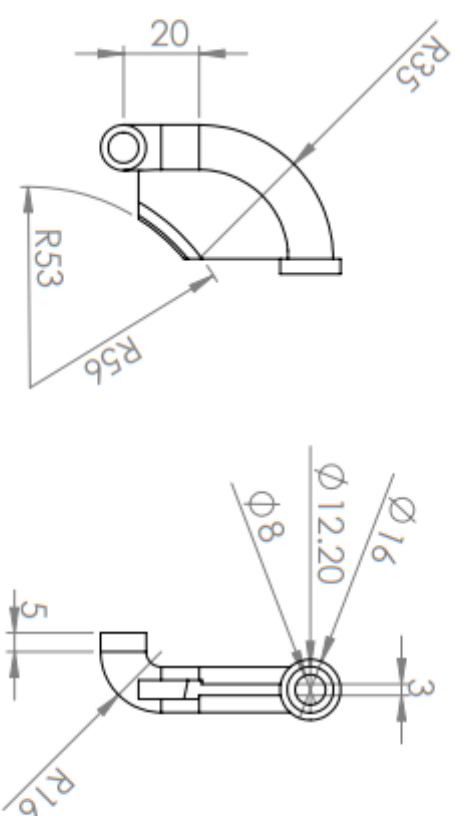
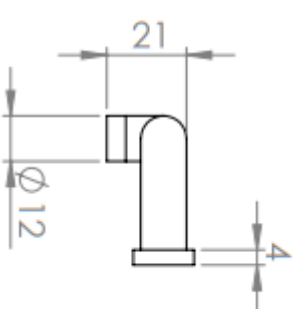
C

B

B

A

A



Skala : 1:2

Satuan Ukuran : mm

Tanggal : 28/2/2022

Digambar : Muhammad Nur Fauzi

NIM : 17525103

Diperiksa : Faisal Arif Nungesang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Cover LED Exhaust

A4

6

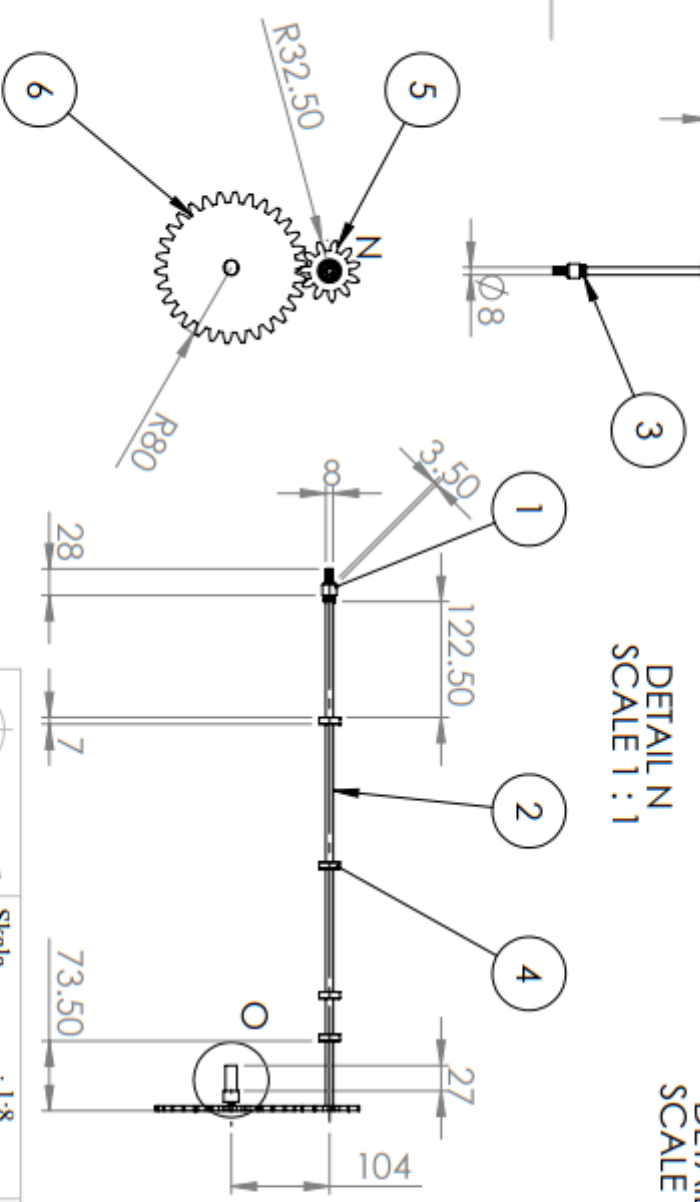
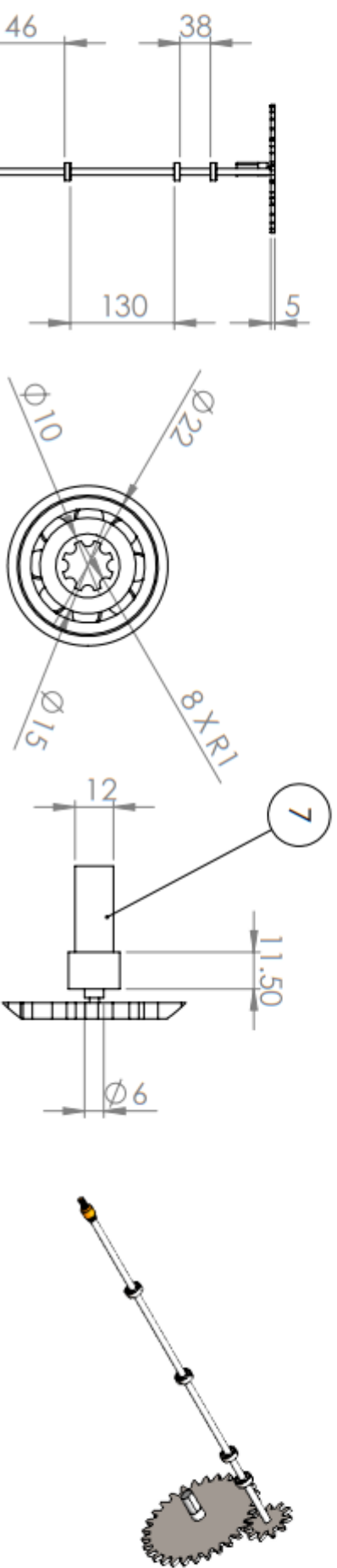
5

4

3

2

1



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY
1.	Gear 8T		1
2.	Power Shaft		1
3.	ISO 15 ABB - 378 - 20,DE,NC 20_68		1
4.	ISO 15 ABB - 108 - 8,DE,NC, 8_68		4
5.	ISO - Spur gear 5M 11T 20PA 5FW		1
6.	ISO - Spur gear 5M 30T 20PA 5FW		1
7.	Motor DC 1000 Rpm		1



Skala : 1:8
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

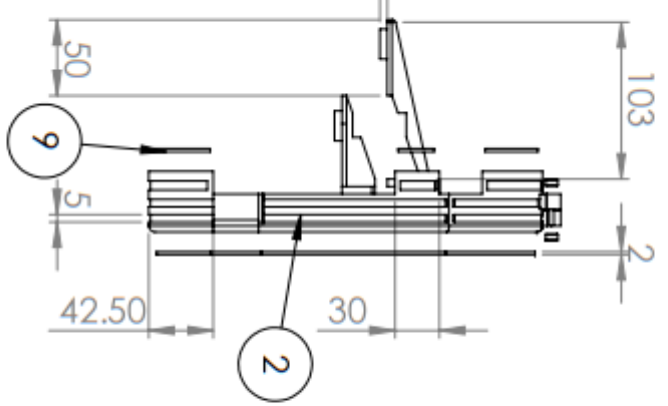
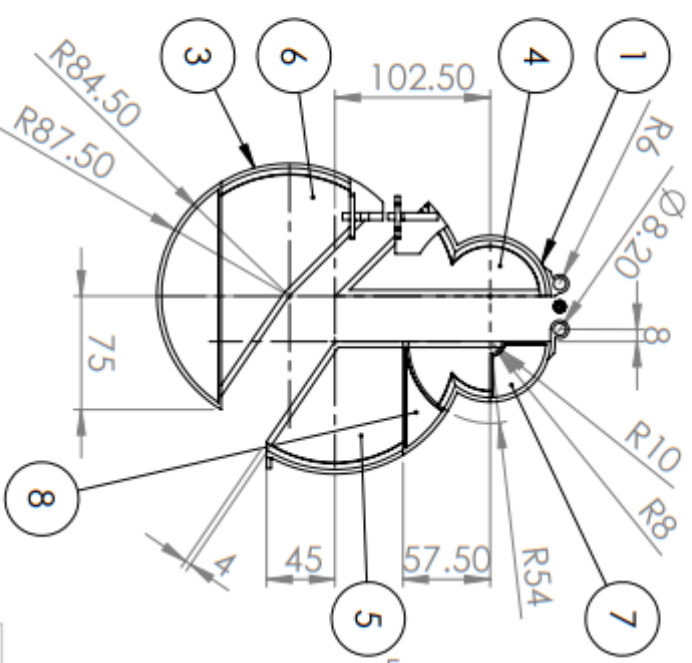
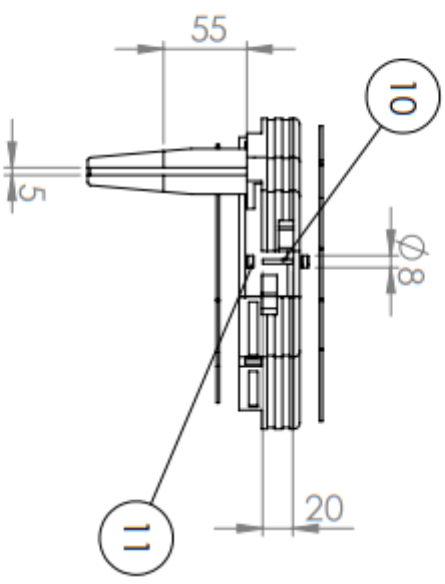
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nungesang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Power Shaft, Bearing, Gear, dan Motor

A4



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Frame 1		1
2.	Frame 2		1
3.	Frame 3		1
4.	Shield 1		1
5.	Shield 2		1
6.	Shield 3		1
7.	Shield 4		1
8.	Shield 5		1
9.	Shield 6		1
10.	Poros 3 mm		1
11.	ISO 15 ABB - 393 - 8,DE,NC, 8_68		2



Skala : 1:5
 Satuan Ukuran : mm
 Tanggal : 28/2/2022

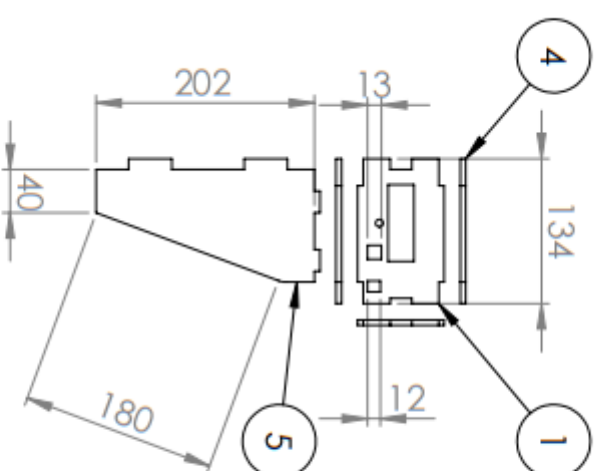
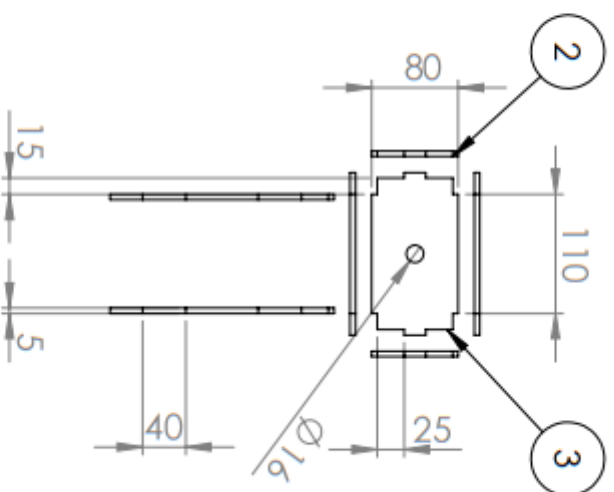
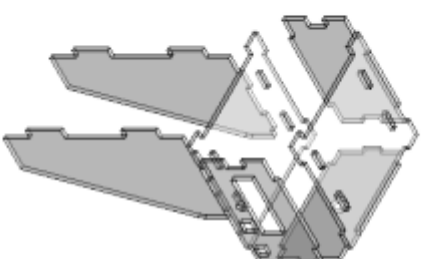
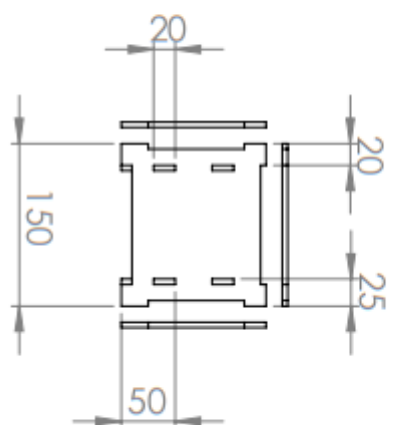
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
 NIM : 17525103
 Diperiksa : Faisal Arif Nungesang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Cover Pelindung Spur Gear

A4



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Box Kanan		1
2.	Box Kiri		1
3.	Box Belakang		1
4.	Box Atas dan Bawah		2
5.	Penyangga Tower Box		2



Skala : 1:7
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 28/2/2022

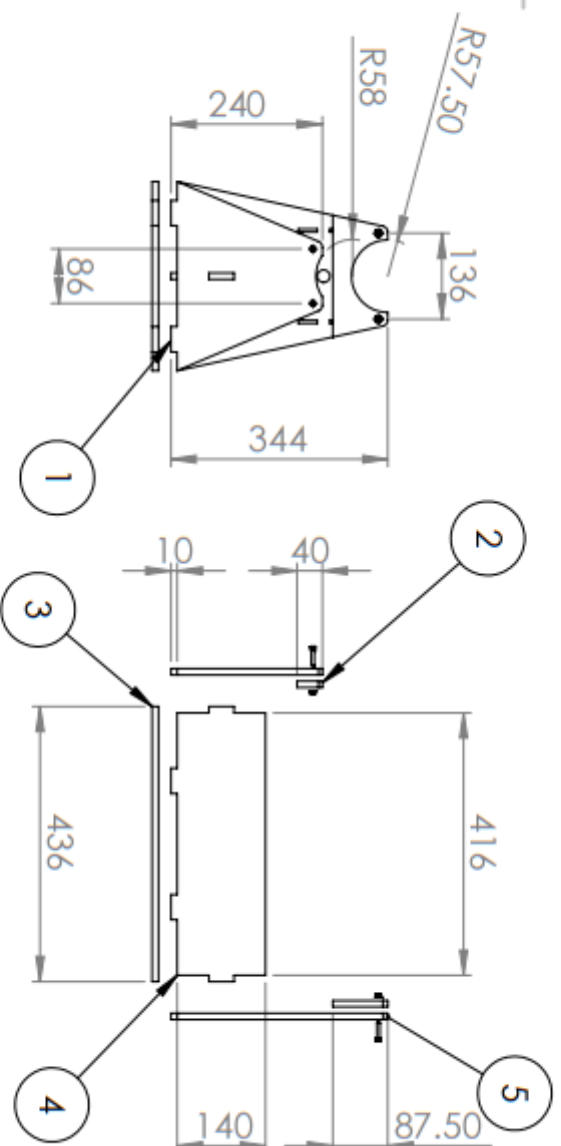
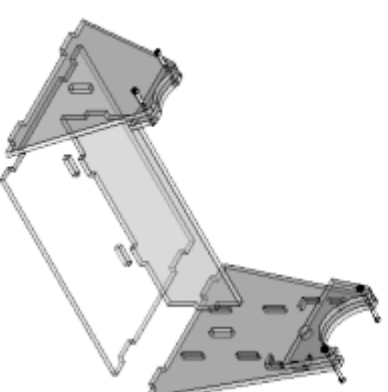
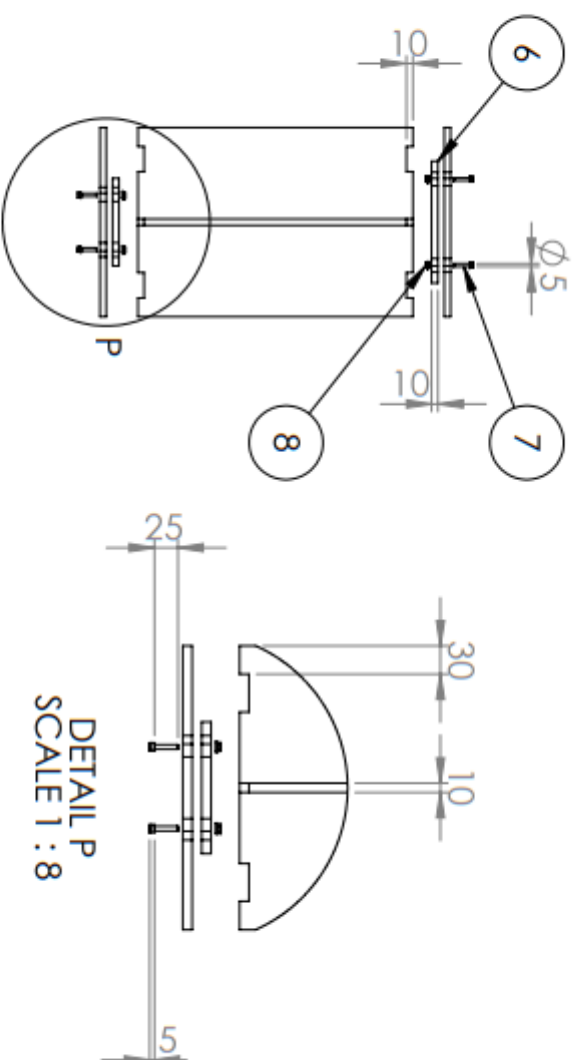
Digambar : Muhammad Nur Fauzi
NIM : 17525103
Diperiksa : Faisal Arif Nurgasang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Tower Box Rangkaian Elektrik

A4



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1.	Penyangga Depan		1
2.	Penyangga Depan Atas		1
3.	Penyangga Bawah		1
4.	Penyangga Tengah		1
5.	Penyangga Belakang		1
6.	Penyangga Belakang Atas		1
7.	ISO 4762 M5 x 25 - 25C		4
8.	ISO - 4161 - M5 - C		4

Skala : 1:12

Satuan Ukuran : mm

Tanggal : 28/2/2022

Digambar : Muhammad Nur Fauzi

NIM : 17525103

2. Diberiksa : Faisal Arif Nurgesang

Keterangan :

Teknik Mesin FTI UII

Penyanga

A4