

**PEMANFAATAN 3D PRINT UNTUK PEMBUATAN ALAT
PERAGA MESIN TURBOFAN CFM56-7B**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

**Nama : Firman Yudha Kusdianto
No. Mahasiswa : 17525113
NIRM : 2017023648**

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

2021

PERNYATAAN ORISINALITAS TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, Firman Yudha Kusdianto menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “PEMANFAATAN 3D PRINT UNTUK PEMBUATAN ALAT PERAGA MESIN TURBOFAN CFM56-7B” 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, 4 Desember 2021



Firman Yudha Kusdianto

NIM 17525113

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PEMANFAATAN 3D PRINT UNTUK PEMBUATAN ALAT

PERAGA MESIN TURBOFAN CFM56-7B

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Firman Yudha Kusdianto

No. Mahasiswa : 17525113

NIRM : 2017023648

Yogyakarta, 19 November 2021

Pembimbing I,



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PEMANFAATAN 3D PRINT UNTUK PEMBUATAN ALAT
PERAGA MESIN TURBOFAN CFM56-7B**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Firman Yudha Kusdianto

No. Mahasiswa : 17525113

NIRM : 2017023648

Tim Penguji

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

Ketua


Tanggal : 4 Desember 2021

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

Anggota I


Tanggal : 4 Desember 2021

Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng.


Anggota II


Tanggal : 1 Desember 2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin




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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan tugas akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua. Karena papa dan mama selalu bekerja keras dan selalu menjaga dalam doa-doa demi kebahagiaan saya. Terima kasih atas kasih sayang dan cinta dari papa dan mama selama ini. Saya akan tumbuh untuk menjadi yang terbaik yang saya bisa.

Selain untuk orang tua dan keluarga, laporan tugas akhir ini juga saya persembahkan untuk teman-temanku sekalian. Terima kasih selalu memberi bantuan ketika saya membutuhkan.

Bapak dan ibu dosen, Alhamdulillah sekarang saya sudah menjadi sarjana. Tentu ada banyak kejutan hidup yang menanti saya di dunia kerja nanti. Seluruh bekal ilmu yang pernah bapak dan ibu dosen berikan semoga menjadi modal untuk menjawab tantangan di masa mendatang. Untuk semua kemarahan, kritikan, dan tuntutan yang diberikan, saya mengucapkan banyak terima kasih.

HALAMAN MOTTO

“Sistem pendidikan yang bijaksana setidaknya akan mengajarkan kita betapa sedikitnya yang belum diketahui oleh manusia, seberapa banyak yang masih harus ia pelajari.”

(Sir John Lubbock)

“Sesungguhnya Allah berwasiat 3x kepada kalian untuk berbuat baik kepada ibu kalian, sesungguhnya Allah berwasiat kepada kalian untuk berbuat baik kepada ayah kalian, sesungguhnya Allah berwasiat kepada kalian untuk berbuat baik kepada kerabat yang paling dekat kemudian yang dekat.”

(HR. Ibnu Majah)

“Waktu bagaikan pedang. Jika kamu tidak memanfaatkannya dengan baik, maka ia akan memanfaatkanmu”

(HR. Muslim)

“Tujuan pendidikan harusnya untuk mengajarkan kita cara bagaimana berpikir, daripada mengajarkan apa yang harus dipikirkan – mengajarkan memperbaiki otak kita sehingga membuat kita bisa berpikir untuk diri sendiri, daripada membebani memori otak kita dengan pemikiran orang lain”

(Bill Beattie)

“Jika kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan”

(Imam Syafi'i)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Assalamu'alaikum wr. wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis akhirnya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Tugas Akhir ini dijalankan untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.


Penulis menyadari dalam kegiatan tugas akhir ini tidak akan pernah selesai tanpa adanya bantuan dan dorongan dari semua pihak. Dengan segala hormat dan kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan, baik secara moral maupun materiil selama tugas akhir hingga penyusunan Laporan ini. Ucapan terima kasih ini disampaikan kepada:

1. Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan kerja praktek ini.
2. Kedua orang tua yang sudah sangat banyak memberikan dukungan penuh kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir dengan keadaan lancar dan cepat selesai.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo M.T. selaku dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Eng. Risdiyono S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan baik.
6. Seluruh teman-teman, Staf Prodi dan Laboran laboratorium Teknik Mesin yang selalu membantu penulis dalam pelaksanaan tugas akhir maupun dalam proses penyusunan laporan.

Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan, sangat jauh dari kata sempurna. Hal tersebut karena penulis masih dalam tahap belajar. Saran yang membangun sangat diharapkan untuk proses belajar penulis. Atas perhatiannya penulis ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 19 November 2021



Firman Yudha Kusdianto

17525113

ABSTRAK

Turbofan adalah salah satu jenis mesin jet yang digunakan saat ini pada pesawat-pesawat komersil. Untuk mempermudah mempelajari mesin tersebut diperlukan sebuah alat peraga yang dapat diwujudkan menggunakan teknologi *3D print*. Pada penelitian ini, parameter proses untuk pembuatan spesimen dievaluasi terlebih dahulu untuk mendapatkan kekuatan tarik tertinggi yaitu suhu *nozzle* dan kecepatan cetak. Suhu *nozzle* divariasikan pada 205, 215, dan 225 °C sedangkan kecepatan cetak divariasikan pada 40, 50, dan 60 mm/s. Berdasarkan pengujian tarik spesimen yang telah dilakukan, didapatkan parameter proses terbaik yaitu kecepatan cetak 40 mm/s dengan suhu *nozzle* 225 °C sebesar 22,463 MPa. Dari parameter terbaik tersebut digunakan untuk mewujudkan alat peraga mesin turbofan. Hasilnya, dengan alat peraga yang dibuat responden dapat memahami prinsip kerja dan detail komponen pada mesin turbofan.

Kata kunci: *Turbofan*, Alat Peraga, *3D Print*

ABSTRACT

Turbofan is one type of jet engine used today in commercial aircraft. To make it easier to learn the machine, we need a prop that can be realized using 3D print technology. In this study, the process parameters for the manufacture of specimens were evaluated first to obtain the highest tensile strength, namely nozzle temperature and print speed. The nozzle temperature was varied at 205, 215, and 225 oC while the print speed was varied at 40, 50, and 60 mm/s. Based on the tensile test that has been carried out, the best process parameters obtained are with a nozzle temperature of 225 oC and a print speed of 40 mm/s which is 22.463 MPa. The best parameters are used to realize turbofan engine props. As a result, with props made by respondents, they can understand the working principle and detail of the components on the turbofan engine.

Keywords: Turbofan, Props, 3D Print

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	xvii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 <i>Turbofan</i>	6
2.2.2 Boeing 737-800	8
2.2.3 <i>Computer Aided Design (CAD)</i>	8
2.2.4 <i>Rapid Prototyping</i>	10
2.2.5 <i>3D Print</i>	10
2.2.6 Mesin <i>3D Print</i> Flashforge Creator Pro	12
2.2.7 Polimer	14

2.2.8	<i>PolyLactic Acid</i>	15
2.2.9	Pengujian Tarik	16
2.2.10	<i>CNC Laser Cutting</i>	19
Bab 3	Metode Penelitian	20
3.1	Alur Penelitian	20
3.2	Kriteria Desain	21
3.3	Peralatan dan Bahan	22
3.3.1	Laptop	22
3.3.2	Mesin 3D <i>Print FDM Flashforge Creator Pro</i>	22
3.3.3	<i>Software Flash Print</i>	23
3.3.4	<i>Software SolidWork 2018</i>	23
3.3.5	Mesin Uji Tarik JTM-UTC 220 Serial 6604	23
3.3.6	Mesin CNC Laser	24
3.3.7	Pemilihan Bahan Produk Alat Peraga	24
3.3.8	Pemilihan Bahan Penyangga Alat Peraga	24
3.4	Objek Penelitian	24
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	27
4.1	Hasil Perancangan	27
4.2	Analisis dan Pembahasan	28
4.2.1	Hasil Pengujian Tarik	28
4.2.2	Pemilihan Parameter pencetakan Produk Terbaik	33
4.2.3	Hasil Pencetakan Produk	34
4.2.4	Kecepatan Putaran Mesin CFM56-7B	36
4.2.5	Sistem Penggerak	37
4.2.6	Perakitan Produk Alat Peraga	40
4.2.7	Rangkaian Motor DC dan LED	43
4.2.8	Cara Kerja Alat Peraga	46
4.2.9	Optimalisasi Desain	47
4.2.10	Pengujian Alat Peraga	49
BAB 5	Penutup	53
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya	53

Daftar Pustaka	54
LAMPIRAN	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Data <i>Properties</i> Material PLA	16
Tabel 3-1 Spesifikasi Laptop	22
Tabel 3-2 Parameter Spesimen Uji dengan Variasi Kecepatan Cetak.....	25
Tabel 3-3 Parameter Spesimen Uji dengan Variasi Suhu <i>Nozzle</i>	26
Tabel 4-1 Parameter Spesimen Uji dengan Variasi Kecepatan Cetak.....	29
Tabel 4-2 Nilai Kekuatan Tarik Maksimum Variasi Kecepatan Cetak.....	29
Tabel 4-3 Parameter Spesimen Uji dengan Variasi Suhu <i>Nozzle</i>	30
Tabel 4-4 Nilai Kekuatan Tarik Maksimum Variasi Suhu <i>Nozzle</i>	30
Tabel 4-5 Skoring Penentuan Parameter Pencetakan Produk	33
Tabel 4-6 Data Mesin CFM56-7B.....	37
Tabel 4-7 Data Kecepatan Putaran Poros Alat Peraga	38
Tabel 4-8 Tabel data kecepatan putaran aktual motor.....	39
Tabel 4-9 Sambungan Kabel <i>Jumper</i> antara <i>Driver</i> Motor L298N dengan Motor dc dan Arduino	44
Tabel 4-10 Sambungan Kabel <i>Jumper</i> antara LCD dengan Arduino	45
Tabel 4- 11 Sambungan Kabel <i>Jumper</i> antara Potensio dengan Arduino	45
Tabel 4- 12 Sambungan Kabel <i>Jumper</i> antara LED dengan Arduino	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Mesin Jet Turbofan CFM56-7B	7
Gambar 2-2 Spesifikasi Boeing 737-800.....	8
Gambar 2-3 <i>Software SolidWorks</i>	9
Gambar 2-4 Jenis-jenis Rapid Prototyping.....	10
Gambar 2-5 Ilustrasi Proses FDM	12
Gambar 2-6 (a) Mesin 3D <i>Print</i> Flashforge Creator Pro; (b) Spesifikasi Mesin 3D <i>print</i> Flashforge Creator Pro.....	13
Gambar 2-7 Jenis-jenis Polimer	14
Gambar 2-8 Struktur Material PLA.....	16
Gambar 2-9 Mesin Uji Tarik	17
Gambar 2-10 Kurva Tegangan Regangan	18
Gambar 2-11 CNC <i>Laser Cutting</i>	19
Gambar 3-1 Diagram Alir Alur Penelitian	21
Gambar 3-2 Mesin 3D <i>Print</i> Flashforge Creator Pro.....	22
Gambar 3-3 Mesin Uji Tarik JTM-UTC 220 Serial 6604	23
Gambar 3-4 Standar Ukuran ASTM D 638-02	25
Gambar 4-1 Hasil Perancangan Desain	27
Gambar 4-2 (a) Grafik Hasil Pengujian Tarik Variasi Kecepatan Cetak; (b) Grafik Hasil Pengujian Tarik Variasi Suhu <i>Nozzle</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4-3 Hasil Pencetakan Model dengan Raft dan Support.....	35
Gambar 4-4 (a) Rancangan Penyangga Alat Peraga; (b) Hasil Laser Cutting Penyangga Alat Peraga.....	36
Gambar 4-5 Pengecekan kecepatan aktual motor.....	39
Gambar 4-6 (a) Pemasangan Dudukan; (b) Pemasangan <i>Cover</i> Luar; (c) Pemasangan <i>Gear</i> dan <i>Bearing</i> ; (d) Pemasangan Kipas (<i>fan</i>) dan Dudukan LPC	41
Gambar 4-7 (a) Pemasangan dudukan HPC; (b) Pemasangan Jalur Bahan Bakar; (c) Pemasangan dudukan HPT; (d) Pemasangan <i>Cover</i> dalam Bagian Depan dan Belakang	42

Gambar 4-8 (a) Pemasangan Dudukan LPT; (b) Pemasangan Baling-Baling Tiap Dudukan; (c) Letak Cover Dalam Pada Cover Luar; (d) Pemasangan Cover Dalam Bagian Atas; (e) Pemasangan Cover Luar Bagian Atas	43
Gambar 4-9 Rangkaian Elektronika Arduino	44
Gambar 4-10 Hasil Akhir Perancangan Modeling Mesin <i>Turbofan</i> CFM56-7B	48
Gambar 4-11 Hasil Akhir Produk Alat Peraga Mesin Jet Turbofan CFM56-7B .	48
Gambar 4-12 Pengambilan Data Responden Menggunakan <i>Zoom Meeting</i>	49
Gambar 4-13 Hasil Kuesioner Pemahaman Responden Terhadap Cara Kerja Mesin	50
Gambar 4-14 Hasil Kuesioner Kesesuaian Komponen Antara Alat Peraga dengan Mesin Asli	50
Gambar 4-15 Hasil Kuesioner Terkait Kesesuaian Mekanisme Kerja Alat Peraga dengan Mesin Asli	51
Gambar 4-16 Hasil Kuesioner Terkait Ketertarikan Responden dengan Alat Peraga yang Dibuat	51

DAFTAR NOTASI

A_o	: Luas penampang (m^2)
F	: Beban maksimum (N)
FDM	: <i>Fused Deposition Modelling</i>
f	: frekuensi (Hz)
<i>Gear Ratio</i>	: Perbandingan <i>gear</i>
HPC	: <i>High Pressure Compressor</i>
HPT	: <i>High Pressure Turbine</i>
L	: Panjang sampel pengukuran (mm)
LPC	: <i>Low Pressure Compressor</i>
LPT	: <i>Low Pressure Turbine</i>
l	: Lebar (m)
N	: jumlah putaran per menit (RPM)
n_1	: Banyaknya gigi <i>gear</i> 1
n_2	: Banyaknya gigi <i>gear</i> 2
n	: Banyaknya data/ banyaknya putaran
P	: Jumlah kutub gulungan (pole)
PLA	: <i>PolyLactic Acid</i>
p	: Nilai penyusutan panjang (%)
R_a	: Kekasaran rata - rata aritmatik (μm)
R_z	: Kekasaran rata - rata dari puncak ke lembah (μm)
t	: Ketebalan (m)/ waktu (s)
σ	: Kekuatan tarik maksimum (Pa)
(\bar{x})	: Nilai rata-rata (mm)
$\sum_{i=1}^k x_i$: Nilai penjumlahan dari semua data yang ada (mm)
x_0	: Nilai yang ada (mm)
x	: Nilai sesungguhnya (mm)
V_v	: Perbesaran vertikal

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alat peraga pendidikan merupakan segala sesuatu yang dapat digunakan untuk dapat merangsang pikiran, perasaan, perhatian, keterampilan dan kemauan siswa. Dengan adanya hal ini dapat mendorong terjadinya proses belajar pada siswa. Melalui penggunaan alat peraga, hal-hal yang abstrak dapat disajikan dalam bentuk konkrit yang dapat dilihat, dipegang, dicoba sehingga dapat dengan mudah dipahami oleh siswa. Dengan adanya alat peraga yang membuat siswa lebih tertarik dan aktif dalam belajar. Seperti contoh yang dilakukan oleh guru-guru SMP Kabupaten Kepahiang, Bengkulu membuat alat peraga untuk mengatasi masalah nilai pelajaran matematika siswa yang rendah. Setelah dibuatkan alat peraga siswa menjadi lebih tertarik dan aktif dalam belajar mata pelajaran tersebut sehingga mengakibatkan nilai siswa-siswi mereka meningkat (Handayani, 2015). Dalam pembuatan alat peraga sendiri banyak memanfaatkan teknologi yang ada. Contoh alat peraga yang berbentuk video pembelajaran maka membutuhkan teknologi seperti *software* untuk mengedit video, alat peraga yang dibuat dari bahan besi maupun kayu memanfaatkan teknologi seperti perkakas bor, gerinda, mesin CNC, dll. Namun jika ingin membuat alat peraga dengan bentuk yang kompleks dan rumit sehingga tidak dapat dibentuk dengan mesin CNC dan sebagainya maka perlu dibuat dengan pemanfaatan *3D print*.

Saat ini salah satu teknologi yang sedang berkembang yaitu teknologi 3D Printer dengan mesin untuk pembuatan produk bisa dilakukan dengan mudah, cepat dan mendetail. 3D printer ini bisa mencetak, modelling, purwarupa atau pemodelan, alat-alat peraga untuk pendidikan, model perhiasan, alat-alat penunjang kesehatan, desain produk, mainan anak-anak dan berbagai kebutuhan untuk mencetak bentuk dalam 3 dimensi sehingga teknologi ini menjadi salah satu tren teknologi informasi dan komunikasi masa kini. Pengaplikasian *3D print* untuk pembuatan alat peraga dalam bidang pendidikan sudah banyak ditemukan. Pada bidang pendidikan sekolah medis terdapat beberapa alat peraga pendidikan yang

terbuat dari 3D *print*, antara lain: struktur rahang bawah manusia, pembuatan model manusia, peralatan operasi, dll. Selain itu dalam dunia sekolah otomotif juga terdapat beberapa alat peraga yang terbuat dari pengaplikasian 3D *print*, yaitu: alat peraga rem motor dan alat peraga mekanisme kerja kaca mobil. Selanjutnya dalam dunia perkuliahan dibuat beberapa alat peraga, seperti mesin *stirling* untuk membantu mahasiswa belajar materi termodinamika, alat peraga berbasis kontrol sistem PID, dll.

Potensi pengembangan pengaplikasian 3D *print* untuk pembuatan alat peraga sangat intensif. Hal ini ditandai dengan munculnya alat peraga berbentuk lebih kompleks dan detail dalam berbagai bidang, contohnya dalam bidang sekolah otomotif dibuat alat peraga mekanisme kerja dari mesin mobil selain itu telah dibuat alat peraga sederhana sistem kerja turbin pelton yang dapat digunakan sebagai penunjang pembelajaran mahasiswa. Dengan adanya hal tersebut tidak menutup kemungkinan bahwa pengaplikasian 3D *print* dalam pembuatan alat peraga masuk ke dunia sekolah penerbangan. Pada sekolah penerbangan terutama seperti mesin jet pesawat jenis *turbofan* memiliki bentuk-bentuk kompleks dan detail. Mesin jet *turbofan* adalah mesin pesawat yang diciptakan untuk menyempurnakan mesin jet *turbojet* dan *turboprop*. Mesin ini memiliki kelebihan, antara lain: efisiensi bahan bakar yang baik dan tingkat kebisingan yang rendah, serta mampu terbang mencapai ketinggian 45.000 kaki diatas permukaan air laut. Dengan latar belakang tersebut maka dibuatlah penelitian sebagai tugas akhir berjudul “PEMANFAATAN 3D *PRINT* UNTUK PEMBUATAN ALAT PERAGA MESIN JET *TURBOFAN* CFM56-7B”.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Apa parameter yang berpengaruh terhadap hasil produk dari 3D *print* tipe FDM dengan material *PolyLactic Acid* (PLA) merk *esun*?
2. Bagaimana cara membuat alat peraga untuk mendemonstrasikan mesin jet *turbofan* CFM56-7B pada pesawat boeing 737-800?
3. Bagaimana cara menjelaskan cara kerja mesin *turbofan* CFM56-7B?

1.3 Batasan Masalah

Dalam merancang bangun mesin jet *turbofan* ini, terdapat beberapa batasan masalah yaitu:

1. Penelitian menggunakan mesin 3D *print Flashforge Creator Pro*.
2. Penelitian hanya pada gerak mekanik dengan menggunakan material *PolyLactic Acid (PLA) merk esun*.
3. Hasil desain akan dicetak menggunakan parameter dari hasil penelitian.
4. Produk dibuat dengan skala 1:78 dari ukuran asli.
5. Jenis mesin yang dibuat adalah mesin *turbofan CFM56-7B*.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat alat peraga mesin jet *turbofan* menggunakan 3D *print*.
2. Mengetahui parameter terbaik dalam membuat barang dengan bahan PLA menggunakan mesin 3D *print Flashforge Creator Pro*.
3. Mengetahui cara pembuatan dan cara menjelaskan mekanisme kerja alat peraga untuk mendemonstrasikan mesin jet *turbofan CFM56-7B* pada pesawat boeing 737-800.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Berikut adalah beberapa manfaat dari penelitian yang dilakukan:

1. Mampu membuat rancang bangun alat peraga mesin jet *turbofan CFM56-7B* dengan baik.
2. Mampu menunjukkan parameter terbaik dalam membuat barang dengan bahan PLA menggunakan mesin 3D *print 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. Dan yang terakhir adalah 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 1982 peneliti bernama Hideo Kodama memperkenalkan teknik rapid prototyping atau teknik membentuk suatu produk dengan cepat yang terintegrasi dengan sistem CAD dan mesin dengan sistem rapid prototyping. (Sutopo, 2017). Tahapan pengembangan produk tradisional terdiri dari beberapa tahap, yaitu tahapan yang pertama pembuatan konsep desain, yang kedua detail desain, yang ketiga analisis teknik, yang keempat *prototyping*, yang kelima pembuatan *tool*, dan tahapan yang terakhir adalah produksi. Tahapan-tahapan tersebut dilakukan secara dengan berurutan. Dengan adanya teknologi *rapid prototyping* semua tahapan dapat dilakukan secara bersamaan dan dapat diiterasi dengan cepat (*concurrent*) (Gibson, 2013). Salah satu metode *rapid prototyping* yang sering digunakan adalah *3D print*.

Salah satu pengaplikasian *3D print* paling banyak digunakan saat ini adalah pembuatan alat peraga. Hal ini disebabkan karena *3D print* mampu membuat bentuk-bentuk dari yang paling sederhana sampai kompleks. Beberapa alat peraga dari pengaplikasian *3D print* telah selesai dibuat. Luthfi Hamdani Maula (2019), dalam penelitiannya menemukan hasil bahwa dengan dibuatkan alat peraga media pengukuran belajar matematika untuk siswa sekolah dasar mampu meningkatkan kemampuan siswa praktik keterampilan spasial virtual. Ida Kristiani (2020) melakukan penelitian dalam pembuatan alat peraga mesin *stirling* untuk belajar fisika materi termodinamika. Dari penelitian ini ditemukan hasil bahwa mesin *stirling* yang dibuat menggunakan aplikasi *3D print* dapat beroperasi dengan baik. Selain itu prinsip kerja mesin yang memanfaatkan perbedaan suhu juga dapat divisualisasikan secara baik. Husfizar Ramadhani (2019), melakukan penelitian tentang pembuatan alat peraga untuk belajar struktur rahang bawah manusia. Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa pencetakan yang dilakukan menggunakan mesin *3D print* prusa i8 mampu membuat bentuk alat peraga sesuai yang diinginkan.

Selain penelitian tentang pembuatan alat peraga, penelitian tentang parameter proses pencetakan 3D *print* juga sudah banyak dilakukan. Hal ini dilakukan untuk menentukan parameter yang digunakan agar menghasilkan hasil pencetakan terbaik. Arif Imbang Pambudi (2017), dalam penelitian ini membahas tentang bentuk internal geometri terbaik untuk mendapatkan hasil pencetakan produk terbaik. Penelitian menggunakan mesin 3D *print* Prusa i3 dengan variasi sampel 3 buah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel kontrol memiliki hasil kekuatan tarik dan *bending* yang sesuai dengan referensi *datasheet filament PLA*. Objek dengan internal geometri *triangle* berukuran 9 mm dan ketebalan 2 mm memiliki kekuatan tarik dan *bending* yang lebih baik dari geometri *honeycomb*. Herda Agus Pamasaria (2019), melakukan penelitian tentang pengaruh proses parameter 3D *print* tipe FDM terhadap kualitas hasil produk. Penelitian ini menggunakan mesin 3D *print* tipe FDM *Cartesian Ender 3* dan material PLA. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil penelitian terdapat pengaruh perubahan suhu dan kecepatan pada kerataan sisi atas sedangkan sisi samping dan kesikuan tidak terpengaruh.

2.2 Dasar Teori

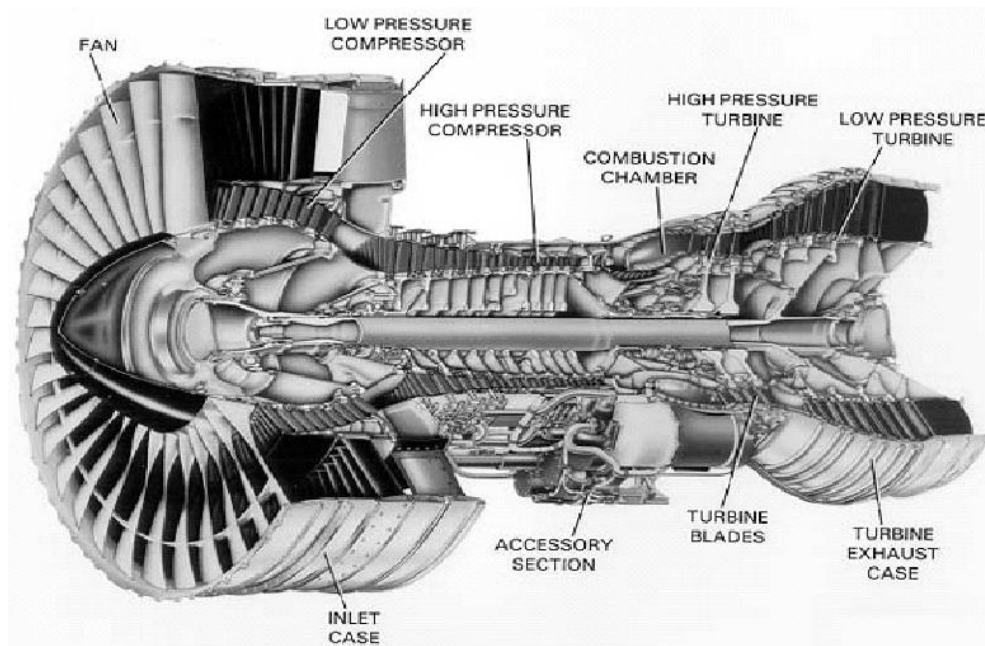
2.2.1 Turbofan

Turbofan merupakan salah satu jenis mesin pesawat jet. Jenis mesin jet ini menyerupai mesin jet *turbojet*. Mesin jet *turbofan* merupakan mesin jet yang digunakan pada semua pesawat komersial saat ini. Hal ini disebabkan oleh efisiensi bahan bakar yang baik dan tingkat kebisingan yang rendah. Mesin *turbofan* diciptakan guna menyempurnakan mesin jet *turbojet* dan *turboprop*. Mesin jet *turbojet* memiliki kelemahan pada boros bahan bakar walaupun memiliki tenaga yang lebih besar daripada jenis mesin jet lainnya. Sedangkan mesin jet *turboprop* memiliki kelemahan hanya mampu terbang mencapai 25.000ft saja. Oleh sebab itu diciptakanlah mesin *turbofan* ini guna menyempurnakan kekurangan pada kedua jenis mesin jet sebelumnya.

CFM56-7B merupakan salah satu jenis mesin *turbofan* keluaran dari *CFM International*. Menurut *CFM international*, CFM56-7B adalah mesin yang cocok

bagi Boeing NG. Secara total, lebih dari 8.000 mesin CFM56-7B beroperasi pada pesawat 737, menjadikannya kombinasi mesin pesawat paling populer dalam penerbangan komersial. Hal ini dikarenakan mesin memiliki desain yang sederhana dan kokoh, yang memberikan keandalan, daya tahan, dan *reparability* tertinggi di kelasnya.

Cara kerja mesin jet *turbofan* adalah kompresor tekanan rendah menyerap udara luar dan mengkompresnya kemudian udara tersebut masuk ke kompresor tekanan tinggi. Setelah masuk ke kompresor tekanan tinggi udara dikompres kembali kemudian masuk di ruang pembakaran. Pada ruang pembakaran udara yang telah dikompres akan bercampur dengan bahan bakar dan dihidupkan dengan busi yang ada. Dari ruang pembakaran, kemudian masuk ke turbin tekanan tinggi setelah itu masuk ke turbin tekanan rendah. Pada turbin tekanan rendah udara akan keluar menjadi gaya dorong setelah bercampur dengan udara yang ada di *bypass*. Udara *bypass* adalah udara yang tidak melewati inti mesin namun mengalir antara *cover* dalam mesin dan *cover* luar mesin. Gambar 2-1 menunjukkan bentuk dari mesin CFM56-7B.



Gambar 2-1 Mesin Jet Turbofan CFM56-7B

(Sumber: A Case Study of Pratt and Whitney Aircraft's Commercial Spares Planning1)

2.2.2 Boeing 737-800

Boeing 737-800 termasuk dalam keluarga Boeing *Next-Generation* (NG) yang digunakan oleh beberapa maskapai sebagai pesawat komersil. Boeing NG mulai dibangun pada tahun 1993 untuk menghadapi persaingan dengan keluarga *airbus* A320 dimana seri 800 nantinya akan menggantikan boeing 727-200. 737 NG merupakan keluarga pertama dalam pesawat jet dengan *single-aisle* yang dirancang secara bersamaan menggunakan 100% desain 3D digital dan teknologi manufaktur. Boeing mengatakan bahwa pesawat ini memberikan keandalan yang unggul, efisiensi bahan bakar yang baik, dan pengembalian bernilai tinggi yang dibutuhkan maskapai di pasar yang kompetitif saat ini.

Boeing melakukan pengembangan terhadap 737-NG seperti penambahan keunggulan pada sayap dimana menghasilkan dapat menambah ketinggian saat terbang dan lebih cepat. Selain itu juga ada pengembangan pada *winglet* dimana berpengaruh terhadap kemampuan *take-off*, mengurangi konsumsi bahan bakar dan kebisingan, dan mengurangi biaya perawatan mesin. Pesawat ini menggunakan 2 mesin *turbofan* jenis CFM56-7B (Boeing, 2008). Gambar 2-2 menunjukkan spesifikasi pada pesawat Boeing 737-800.

	737-700	737-800	737-900
Seats (2-class)	126	162	178
Maximum seats	149	189	220
Length	33.6 m (110 ft 4 in)	39.5 m (129 ft 6 in)	42.1 m (138 ft 2 in)
Wingspan	35.8 m (117 ft 5 in)	35.8 m (117 ft 5 in)	35.8 m (117 ft 5 in)
Height	12.5 m (41 ft 3 in)	12.5 m (41 ft 3 in)	12.5 m (41 ft 3 in)
Engine	CFM-56	CFM-56	CFM-56

Gambar 2-2 Spesifikasi Boeing 737-800

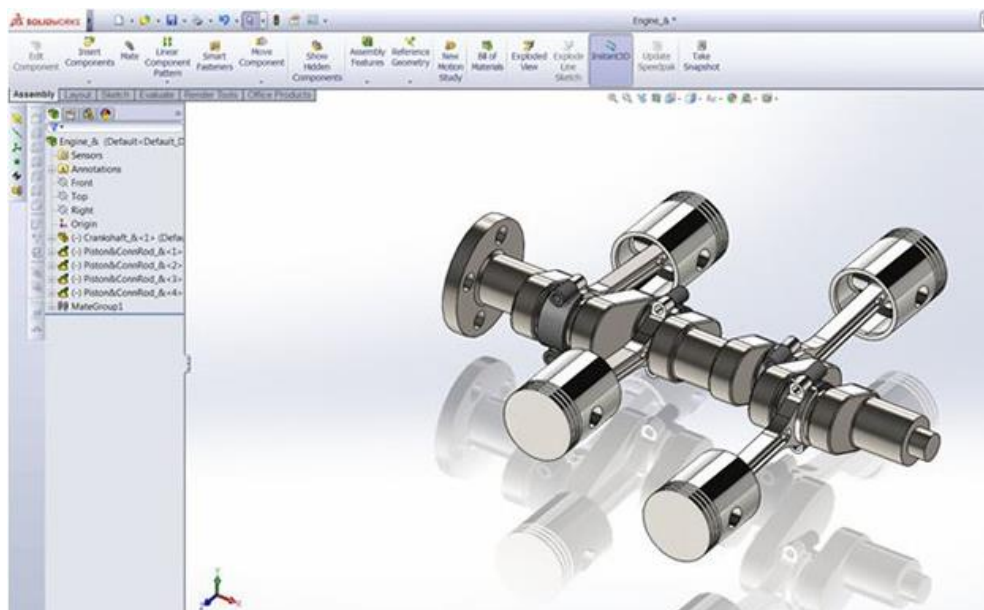
(Sumber: Boeing, 2008)

2.2.3 Computer Aided Design (CAD)

Computer aided design merupakan hasil pengembangan grafis interaktif pada tahun 1960-an dan kemajuan dari produktivitas *engineer* desain pada tahun 1970-an. CAD digunakan untuk mendefinisikan suatu komponen, menganalisis faktor dalam komponen, mensimulasikan sifat mekaniknya, dll (Wibisono, 2016). CAD digunakan secara luas pada perangkat yang berbasis komputer yang membantu seorang *engineer*, arsitek, profesional perancangan yang banyak bekerja

dengan aktivitas rancangan. Secara sederhana *Computer Aided Design* digunakan untuk merancang dan mengembangkan produk menggunakan komputer guna menghasilkan produk yang baik bagi pengguna.

Pada saat ini dapat banyak ditemukan *software* CAD, salah satunya adalah *SolidWorks*. *Solidworks* adalah salah satu *software* CAD yang dikeluarkan oleh *Dassault Systemes* dimana hanya dapat beroperasi pada komputer berbasis *Microsoft Windows*. Dalam pembuatan model di *SolidWorks* biasanya dimulai dengan sketsa 2D. Sketsa terdiri dari geometri seperti titik, garis, busur, kerucut (kecuali hiperbola), dan splines. Dimensi ditambahkan ke sketsa untuk menentukan ukuran dan lokasi geometri. Dimensi dalam sketsa dapat ditentukan sendiri atau dengan hubungan ke parameter lain di dalam atau diluar sketsa. *File SolidWorks* (sebelum versi 2015) menggunakan format *file* penyimpanan terstruktur *Microsoft*. Dengan adanya hal ini menyebabkan terdapat berbagai bentuk *file*, seperti: SLDDRW untuk *file* gambar, SLDPRT untuk *file* komponen, SLDASM untuk *file* perakitan. *SolidWorks* memungkinkan penyimpanan informasi model 3D dalam format *.step maupun *.stl sehingga model dapat ditampilkan dan dimodifikasi di platform dari vendor lain. Berikut sesuai dengan Gambar 2-3 adalah penggunaan *software SolidWorks*.

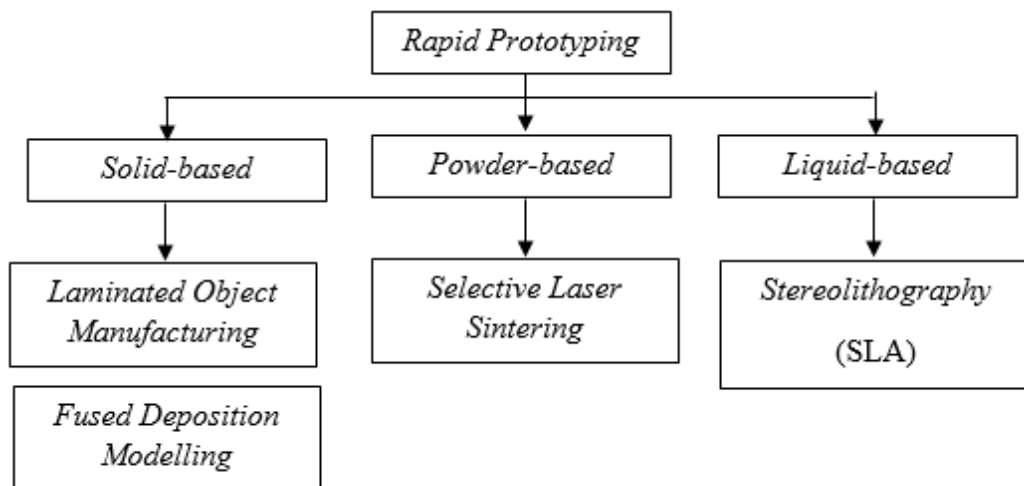


Gambar 2-3 *Software SolidWorks*

(Sumber: <https://www.3dnatives.com/en/solidworks-3d-print-090320194/>)

2.2.4 Rapid Prototyping

Rapid Prototyping (RP) adalah proses manufaktur yang membuat objek atau komponen dari perangkat lunak desain berbantuan komputer (CAD). RP dapat digunakan untuk mencetak gambar 3D sesuai dengan bentuk dan ukuran yang telah ditentukan. Metode ini pertama kali digunakan pada tahun 1986 di California, Amerika Serikat, dengan metode *stereolithography*. Proses RP diawali dengan membuat desain model tiga dimensi menggunakan aplikasi CAD. Desain yang telah dibuat kemudian diorientasikan kepada ruang pembuatan. Konsep mesin RP adalah mencetak objek tiga dimensi dengan menambahkan material secara lapis demi lapis sesuai dengan *layering* yang telah ditentukan dalam *Software slicing*. Kualitas objek yang dihasilkan tergantung pada tebal lapisan dari mesin RP. Semakin tipis setiap lapisan penyusunnya maka kualitas permukaan objek atau komponen yang dibuat akan semakin baik (Carneiro, 2015). Sesuai dengan Gambar 2-4 berikut merupakan jenis-jenis RP.



Gambar 2-4 Jenis-jenis Rapid Prototyping

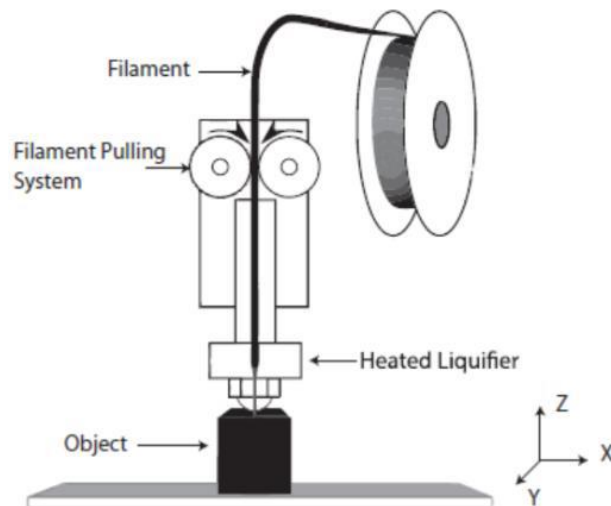
Sumber: Carneiro, 2015

2.2.5 3D Print

Fused Deposition Modelling 3D Print merupakan teknologi RP yang dikembangkan oleh *Stratasys* menggunakan material termoplastik. Teknologi ini terus dilakukan pengembangan sampai suatu perusahaan desain 3D berhasil

menemukan sebuah material baru *nanocomposite* yang terdiri dari berbagai material plastik dan besi sampai saat ini bisa dirasakan. Saat ini, teknologi *3D print* mampu mengolah bahan yang beraneka ragam, seperti bahan cair maupun padat (bahan cair akan dipadatkan terlebih dahulu). Selain itu bahan - bahan tersebut telah memiliki berbagai jenis warna sehingga memungkinkan para pengguna untuk berinovasi langsung sesuai dengan kreativitas pada produk yang akan dibuat. Semenjak dimulainya abad ke 21 dimana telah berkembangnya teknologi secara besar, harga pasar untuk *3D printer* ini meningkat. Tercatat bahwa pada tahun 2012 harga ini meningkat sejumlah 29% dari tahun 2011 yaitu sebesar 2,2 juta dolar. Meski demikian dapat diperkirakan bahwa suatu saat teknologi ini akan menjadi konsumsi publik yang dapat dengan mudah ditemukan pada pasar, karena pada dasarnya teknologi ini dapat menekan biaya yang dikeluarkan masyarakat untuk membeli sejumlah barang rumah tangga tertentu, karena dengan alat ini dapat menciptakan berbagai barang sesuai dengan keinginan dan kebutuhan.

Cara kerja mesin cetak 3D tidak berbeda jauh dengan *printer* pada umumnya. Desain objek yang akan dibuat terlebih dahulu harus dikonversi ke dalam 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 lainnya. Hasil desain kemudian disimpan dalam format *.stl* untuk membentuk lapisan - lapisan yang membentuk objek menggunakan aplikasi pencetakan tiga dimensi (Carneiro, 2015).



Gambar 2-5 Ilustrasi Proses FDM

(Sumber: Carneiro, Silva, & Gomes, 2015)

Gambar 2-5 adalah ilustrasi gambar dari proses FDM mesin 3D *print*. Walaupun terlihat sederhana, namun terdapat model kontrol untuk mengatur semua parameter secara bersamaan. Parameter tersebut diantaranya : *filament feeding rate*, *extrusion width*, *linear speed*, dan *layer thickness*. Parameter - parameter tersebut merupakan kesatuan yang mempengaruhi hasil pada proses FDM. Sebelum dicetak, pengaturan parameter - parameter tersebut diatur menggunakan *Software slicing*. Objek yang akan dicetak harus berada pada area kerja yang menggambarkan area *bed* 3D *printer*.

2.2.6 Mesin 3D Print Flashforge Creator Pro

Mesin 3D *print Flashforge Creator Pro* merupakan salah satu mesin 3D *print* tipe FDM keluaran *flashforge*. Mesin ini memiliki fitur lengkap yang tepat dan andal berkat teknologi *open source*. Mesin ini telah terbukti menjadi *printer* 3D yang presisi dan berkualitas tinggi dengan banyak peningkatan berdasarkan model. Mesin 3D *print* ini memiliki struktur rangka dari logam, penutup atas dari akrilik, meja kerja yang telah dioptimalkan, *extruder* ganda dengan dual kumparan, dan bekerja dengan optimal pada bahan ABS dan PLA.

Pada mesin ini memiliki *dual extruder* paten sehingga mampu me-*loading filament* secara halus dan membuat objek dengan warna maupun bahan material berbeda. Sedangkan untuk *build size* mesin ini adalah 227 mm x 150 mm x 148

mm. Mesin ini memiliki teknologi *open source* dimana pengguna dapat memilih *Software* yang akan digunakan, seperti *cura*, *flashprint*, *3D builder*, *simplify 3D* maupun yang lainnya. Untuk lebih lengkap sesuai dengan Gambar 2-6 berikut adalah bentuk mesin dan spesifikasi lengkap dari mesin yang digunakan.



(a)

Specification			
Print		Device	
Extruder Number:	2	Device Measure:	528*380*403 (530) 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,PSA, ABS, PETG	Output:	24V, 13.3A
Print Volume:	227*148*150mm	Power:	320w
Layer Resolution:	0.1mm-0.4mm	Spool:	External
Print Resolution:	x0.2mm		
Software/Communication		Other	
Data Transmission:	SD card	Camera:	no
Software:	FlashPrint	Filter Fan:	no
Output:	X3G files	Resume Print:	no
Input:	3MF/STL/OBJ/STP/STEP/PNG/JPG/PDF files	Running Noise:	50dB
		Working Environment:	18-30°C

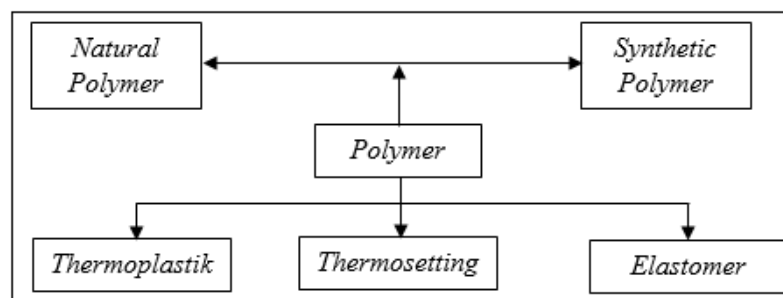
(b)

Gambar 2-6 (a) Mesin 3D *Print* Flashforge Creator Pro; (b) Spesifikasi Mesin 3D *print* Flashforge Creator Pro

Sumber: www.flashforge.com

2.2.7 Polimer

Polimer adalah salah satu bahan rekayasa bukan logam (*non-metallic*) material yang penting. Saat ini bahan polimer telah banyak digunakan sebagai bahan pengganti dari logam terutama karena memiliki sifat yang ringan, tahan korosi dan kimia, dan murah, khususnya untuk aplikasi pada temperatur rendah. Hal lain yang menjadi pertimbangan adalah daya hantar listrik dan panas yang rendah, kemampuan untuk meredam kebisingan, warna dan tingkat transparansi yang bervariasi, serta kesesuaian desain dan proses permesinannya (Saptono, 2008).



Gambar 2-7 Jenis-jenis Polimer

Sumber: (Saptono, 2008)

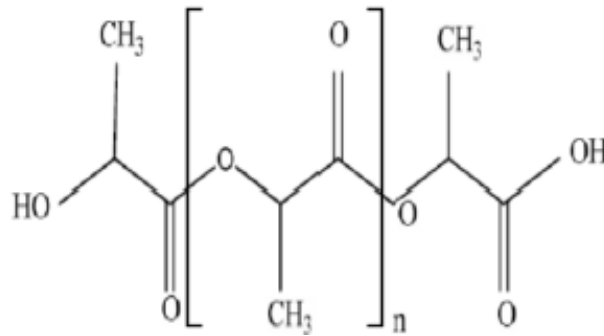
Polimer terbagi menjadi 3 sesuai dengan Gambar 2-7, yaitu termoplastik, termoset, dan elastomer. Polimer termoplastik seperti *polyethylene*, memiliki sifat - sifat termoplastik yang disebabkan oleh struktur rantainya yang *linear (linear)*, bercabang (*branched*) atau sedikit bersambung (*crosslinked*). Polimer dari jenis ini akan bersifat lunak dan viskos (*viscous*) pada saat dipanaskan dan menjadi keras dan kaku (*rigid*) pada saat didinginkan secara berulang-ulang. Polimer termoplastik memiliki sifat - sifat khusus, antara lain: berat molekul kecil, tidak tahan terhadap panas, jika dipanaskan akan melunak, jika didinginkan akan mengeras, mudah untuk diregangkan, fleksibel, titik leleh rendah, dapat dibentuk ulang (daur ulang), mudah larut dalam pelarut yang sesuai, dan memiliki struktur molekul *linear* atau bercabang. Sementara itu, polimer termoset (*thermosetting*) contohnya *bakelite*, hanya melebur pada saat pertama kali dipanaskan dan selanjutnya mengeras secara permanen pada saat didinginkan. Polimer jenis ini bersifat lebih keras dan kaku (*rigid*) karena strukturnya molekulnya yang

membentuk jejaring tiga dimensi yang saling terhubung (*network*). Untuk polimer jenis elastomer seperti karet alam, memiliki daerah elastis non *linear* yang sangat besar disebabkan oleh adanya sambungan antar rantai (*crosslinks*) yang berfungsi sebagai 'peringat bentuk' (*shape memory*) sehingga karet dapat kembali ke bentuk semula ketika beban eksternal dihilangkan.

2.2.8 PolyLactic Acid

Poli (asam laktat) atau *PolyLactic Acid* (PLA) adalah material yang paling luas diteliti dan bersifat *biodegradable* (terurai dengan alami) serta merupakan poliester alifatik terbarukan. PLA pertama kali disintesis pada tahun 1932 oleh Carothers (at DuPont). PLA memiliki potensi yang terbukti baik untuk menggantikan polimer konvensional berbasis petrokimia untuk aplikasi industri atau sebagai biomaterial terkemuka untuk berbagai aplikasi dalam bidang kedokteran. PLA merupakan termoplastik *biodegradable* yang disusun oleh monomer - monomer asam laktat. Melalui polimerisasi asam laktat akan dibentuk PLA. PLA bersifat *biodegradable* karena memiliki beberapa gugus hidroksil pada ujung rantainya. Selain itu PLA bersifat *biocompatible* artinya polimer ini dapat diterima dalam tubuh tanpa menimbulkan efek berbahaya.

PLA adalah kristal polimer dan bersifat rapuh, sehingga ketika proses pembuatan dibutuhkan *plasticizer* guna meningkatkan sifat mekanisnya. Metode yang biasa digunakan untuk menghasilkan PLA adalah reaksi polimerisasi pembukaan cincin (*Ring Opening Polymerization*) laktida. ROP berlangsung dengan menggunakan katalis dalam bentuk ion logam seperti seng, dibutil seng, timbal, timah(II) 2 etil heksanoat, timah (IV) halida, dan beberapa alkoksida logam lainnya. Sebagian besar katalis yang digunakan dalam proses ROP memiliki sifat beracun dan sangat berbahaya untuk aplikasi pangan dan medis. Struktur material PLA dapat dilihat pada Gambar 2-8 dan data *properties* dapat dilihat pada Tabel 2-1 dibawah ini:



Gambar 2-8 Struktur Material PLA

(Sumber: Rahmat Saptono, 2008)

Tabel 2-1 Data *Properties* Material PLA

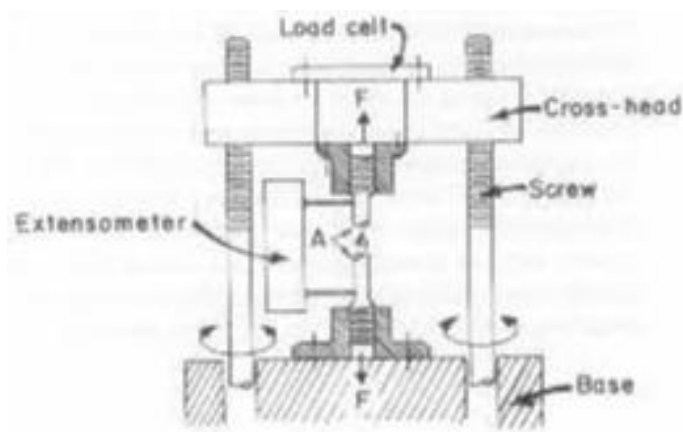
No.	Data <i>Properties</i>	Nilai
1	<i>Technical Name</i>	<i>Poly(lactide) (PLA)</i>
2	<i>Chemical Formula</i>	$(C_3H_4O_2)_n$
3	Diameter	1,75mm
4	<i>Print temperature</i>	190 ⁰ C-225 ⁰ C
5	<i>Melting temperature</i>	173 ⁰ C
6	<i>Maximum print bed temperature</i>	70 ⁰ C
7	<i>Print speed</i>	30 mm/s-60 mm/s
8	<i>Tensile strength</i>	57 Mpa
9	<i>Yield modulus</i>	70 Mpa
10	<i>Poisson`s ratio</i>	0,36
11	<i>Rockwell hardness</i>	88 HR
12	<i>Heat deflection temperature</i>	55 ⁰ C
13	<i>Ultimate tensile strength</i>	73 Mpa
14	<i>Young`s modulus</i>	1280 Mpa
15	<i>Density</i>	1,25 g/cm ³

(Sumber: *Physical and mechanical properties of PLA*)

2.2.9 Pengujian Tarik

Uji tarik adalah pemberian gaya atau tegangan tarik pada material guna mengetahui besar kekuatan tarik dari suatu material. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai

data pendukung bagi spesifikasi bahan. Uji tarik dilakukan dengan cara penarikan uji dengan gaya tarik secara terus menerus sehingga bahan uji mengalami perpanjangan terus menerus sampai putus. Hasil uji tarik tersebut mencatat fenomena hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi selama proses uji tarik dilakukan. Mesin uji tarik terdiri dari beberapa bagian pendukung utama seperti Gambar 2-9, antara lain: *load cell*, *extensometer*, *moving crosshead*, dan spesimen.



Gambar 2-9 Mesin Uji Tarik

Sumber: (Slamet Mualif, 2012)

Data yang diperoleh dari uji tarik adalah data pengukuran serta kurva tarik (Gambar 2-10). Nilai kekuatan tarik maksimum (σ) adalah beban maksimum (F) dibagi dengan luas penampang awal (A_0) spesimen uji (Spackman, Frank, & Kyle C. Picha, 2016).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad 2.1$$

Keterangan:

σ = Kekuatan tarik maksimum (Pa)

F = Beban maksimum (N)

A_0 = Luas penampang (m^2)

Nilai luas penampang awal (A_0) dari spesimen uji adalah lebar (l) dikali dengan ketebalan (t). Nilai tersebut adalah nilai minimum luas penampang sebagai

pembagi kekuatan patah ketika spesimen uji putus (Spackman, Frank, & Kyle C. Picha, 2016).

$$A_o = lxt \quad 2.2$$

Keterangan:

A_o = Luas penampang (m^2)

l = Lebar (m)

t = Ketebalan (m)

Selain nilai tegangan tarik didapat pula nilai regangan. Regangan (ϵ) adalah perubahan panjang (Δl) dibagi dengan panjang awal (l_o).

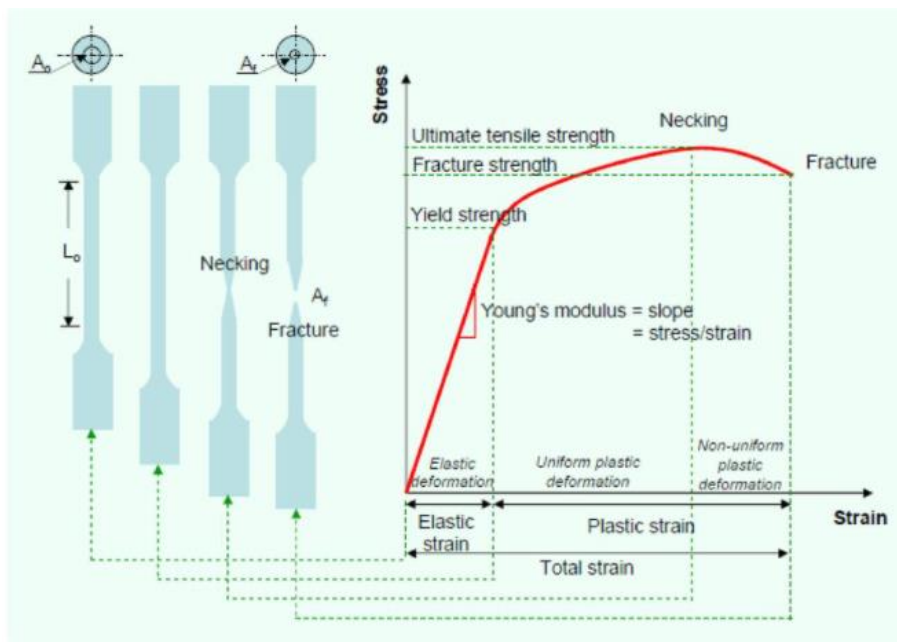
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_o} \quad 2.3$$

Keterangan:

ϵ = Regangan (%)

Δl = Pertambahan panjang (m)

l_o = Panjang awal (m)



Gambar 2-10 Kurva Tegangan Regangan

Sumber: (Slamet Muallif, 2012)

2.2.10 CNC Laser Cutting

CNC (*Computer Numerical Control*) adalah suatu mesin yang dikendalikan secara numerik oleh komputer atau mikrokontroler. CNC diciptakan karena pengoperasian mesin dengan cara manual oleh manusia memiliki banyak keterbatasan. Oleh sebab itu diciptakan mesin CNC yang dikendalikan oleh komputer atau mikrokontroler sehingga pergerakan pada sumbu X dan sumbu Y serta sumbu Z dapat dikendalikan secara presisi. Mesin CNC memiliki dua atau lebih arah gerakan yang disebut dengan sumbu axis. Gerakan pada axis antara lain linear yang merupakan garis lurus atau gerakan *circular* yang merupakan gerakan melingkar. Pada umumnya sumbu yang terdapat pada mesin CNC adalah X, Y, dan Z. Salah satu cara melihat kerja yang kompleks dari mesin CNC adalah banyak axis yang dimilikinya serta kombinasi gerakan pada setiap axisnya.

Prinsip kerja pemotongan laser adalah mengarahkan sinar laser daya tinggi ke material yang akan dipotong melalui komputer. Teknologi pemotongan laser perusahaan dapat memotong bentuk yang sulit diproses pada mesin milling CNC. Hasil yang didapat cukup akurat karena memiliki tingkat akurasi 0,001 mm. Frekuensi operasi dioda pemotongan laser itu sendiri dalam spektrum yang terlihat adalah sekitar 10¹⁴ Hz-15 Hz, atau ratusan ribu kali frekuensi gelombang mikro. Cahaya yang dihasilkan digunakan untuk memotong berbagai bahan, seperti akrilik, plat besi, kayu MDF, kayu lapis dan lain-lain (Syaiyullah Muhammad, 2021). Gambar 2-11 menunjukkan mesin CNC *laser Cutting* yang sedang beroperasi untuk memotong plat.



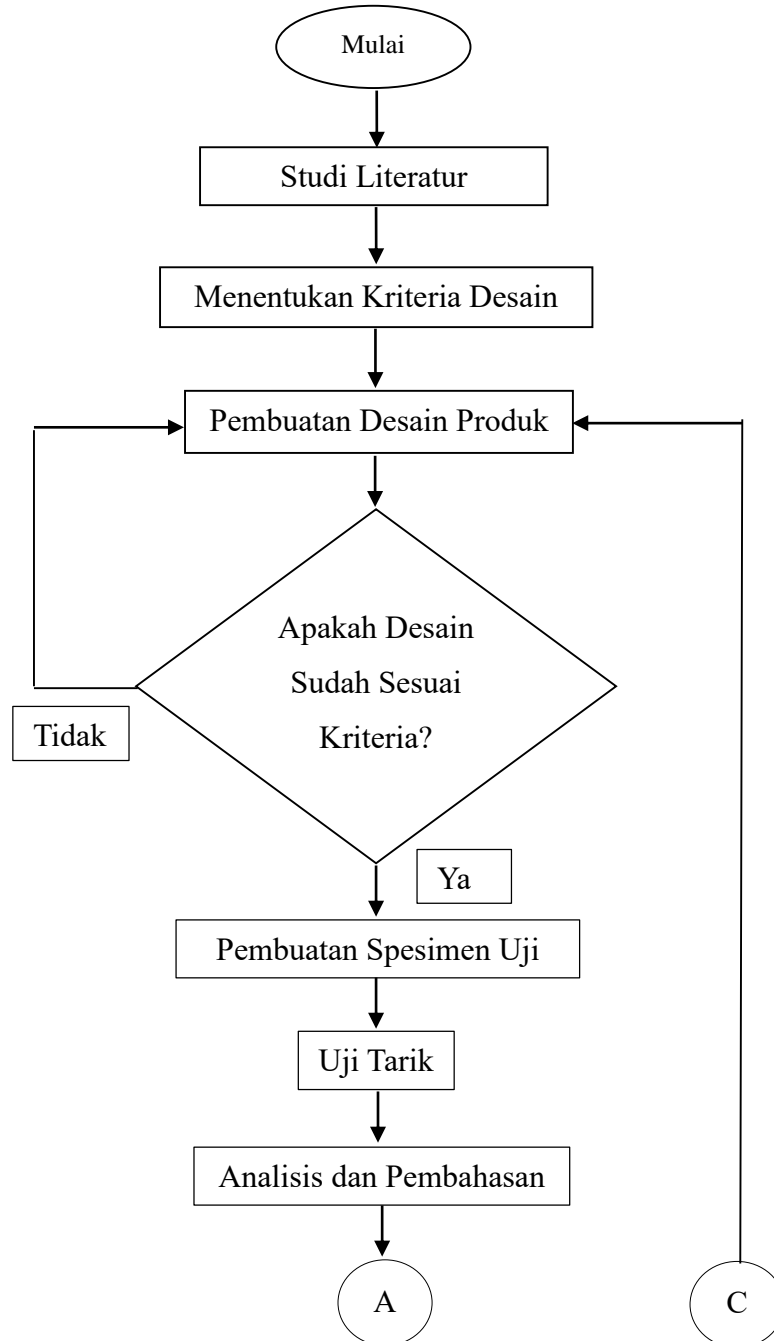
Gambar 2-11 CNC *Laser Cutting*

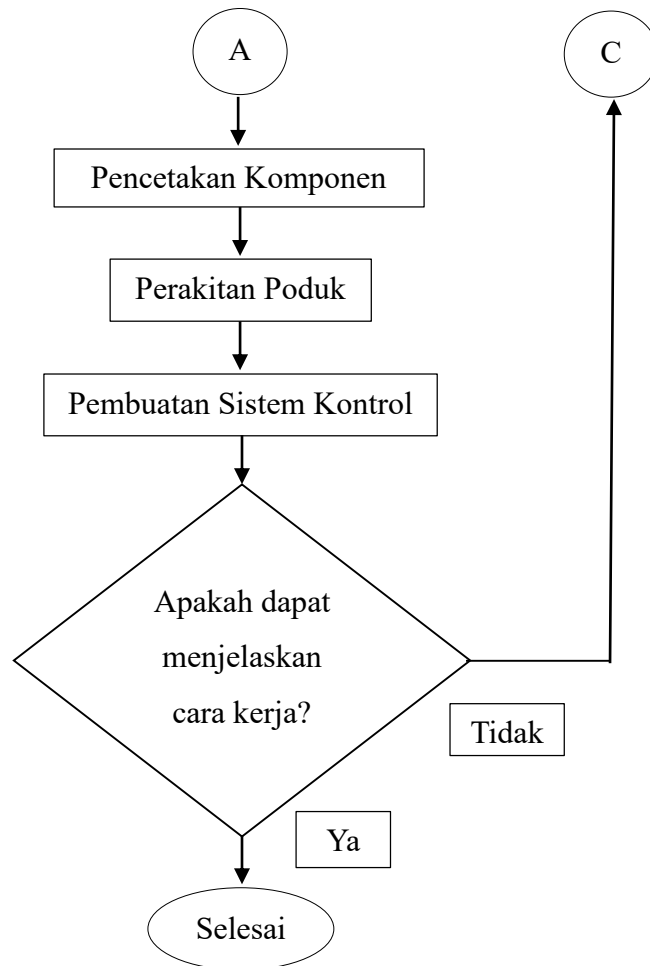
(Sumber: jogjalasercut)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan alur yang telah ditentukan. Alur penelitian yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 3-1 dibawah ini:





Gambar 3-1 Diagram Alir Alur Penelitian

3.2 Kriteria Desain

Alat peraga mesin jet *turbofan* ini digunakan sebagai alat peraga pembelajaran sehingga dapat membantu dalam proses belajar mengajar lebih efektif dan efisien. Oleh sebab itu dibutuhkan kriteria desain seperti berikut:

1. Alat peraga yang dibuat dapat mendemonstrasikan cara kerja mesin *turbofan*.
2. Alat peraga yang dibuat mudah dipahami.

3.3 Peralatan dan Bahan

3.3.1 Laptop

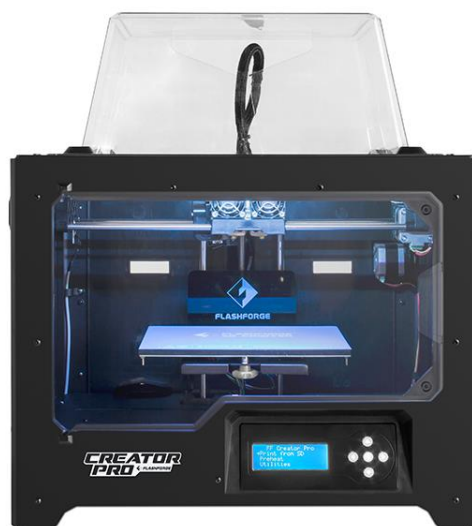
Laptop menjadi salah satu alat yang penting dalam proses penelitian ini. Laptop digunakan untuk mendesain rancang bangun. Spesifikasi laptop yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3-1 dibawah ini:

Tabel 3-1 Spesifikasi Laptop

Sistem operasi	Windows 10
<i>Random access memory (RAM)</i>	8 GB
VGA	Nvidia Geforce 930MX
CPU	Intel Core I5 7 th Gen
<i>System type</i>	64-bit

3.3.2 Mesin 3D Print FDM Flashforge Creator Pro

Mesin 3D Print FDM Flashforge Creator Pro adalah salah satu perangkat keras yang dapat melakukan pencetakan objek 3D dari gambar file. Pada mesin ini memiliki *dual extruder* sehingga mampu membuat objek dengan bahan material berbeda. Sedangkan untuk *build size* mesin ini adalah 227 mm x 150 mm x 148 mm. Gambar 3-2 menunjukkan mesin yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 3-2 Mesin 3D Print Flashforge Creator Pro

Sumber: www.flashforge.com

3.3.3 Software Flash Print

Software ini adalah salah satu *Software slicer 3D print* dimana merupakan *Software* bawaan untuk semua produk keluaran dari FlashForge. *Software* ini digunakan untuk menentukan parameter-parameter pencetakan desain hingga mendapatkan *G-code* guna diterjemahkan oleh mesin *printer* untuk mencetak objek sesuai parameter yang diinginkan.

3.3.4 Software SolidWork 2018

Software ini merupakan *software CAD* yang cukup lengkap selain dapat digunakan untuk pemodelan tetapi juga dapat digunakan untuk simulasi. Karena alasan itu *software* ini digunakan untuk proses simulasi objek.

3.3.5 Mesin Uji Tarik JTM-UTC 220 Serial 6604

Mesin uji Tarik digunakan untuk menguji tegangan maksimal yang dapat diterima oleh spesimen uji. Hal ini dilakukan guna mengetahui parameter terbaik dalam proses pencetakan barang. Gambar 3-3 menunjukkan mesin yang digunakan untuk pengujian tarik.



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

Sumber: Lab. Manufaktur Teknik Mesin USD

3.3.6 Mesin CNC Laser

Mesin CNC laser adalah mesin yang memiliki penggabungan teknologi dari CNC dan laser. Mesin ini mampu memotong material, menggrafir (*engraving*), dan membuat tanda (*marking*). Mesin ini digunakan untuk memotong akrilik yang akan digunakan untuk penyangga dari alat peraga.

3.3.7 Pemilihan Bahan Produk Alat Peraga

Bahan yang dipilih untuk penelitian adalah *PolyLactic Acid* (PLA). Hal ini dikarenakan material memiliki beberapa kelebihan, seperti memiliki kekuatan tarik yang bagus, kualitas permukaan yang bagus (halus), ideal untuk mencetak prototipe benda, dan tidak beracun sehingga aman untuk peserta didik. Selain memiliki kelebihan-kelebihan yang telah disebutkan, material ini merupakan material yang sering digunakan untuk *3D print* sehingga mudah ditemukan dipasaran dan memiliki banyak varian warna.

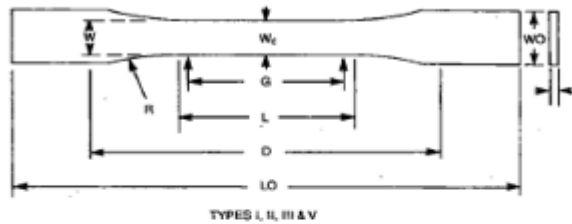
3.3.8 Pemilihan Bahan Penyangga Alat Peraga

Bahan yang dipilih untuk penyangga alat peraga adalah akrilik. Hal ini dikarenakan akrilik dianggap lebih kuat menahan beban yang ada daripada material *filament* PLA. Selain itu proses pembuatan akrilik lebih cepat dan lebih hemat material daripada *filament* PLA. Akrilik yang digunakan untuk penyangga memiliki ketebalan 10mm.

3.4 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah hasil cetak dari mesin *3D print*. Hasil cetak dari mesin akan diteliti dan diuji guna mengetahui produk dari parameter proses pencetakan yang telah divariasikan. Produk yang memiliki hasil terbaik maka parameternya akan digunakan untuk mencetak produk alat peraga. Pengujian tarik dilakukan guna mengetahui nilai kekuatan tarik dari material yang digunakan. Pada pengujian ini dibuat spesimen uji sesuai standar yaitu ASTM D 638-02 dengan tipe I. Sesuai dengan Gambar 3-4 dibawah ini merupakan standar ukuran ASTM D 638-02 yang dibuat menggunakan bantuan SolidWork 2018.

ASTM D 638 - 02a



Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under	
	Type I	Type II
W—Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)
WO—Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)
G—Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)
RO—Outer radius (Type IV)

Gambar 3-4 Standar Ukuran ASTM D 638-02

Sumber: ASTM D 638

Setelah dilakukan pembuatan model spesimen maka model tersebut dicetak sesuai dengan variasi parameter yang telah ditentukan. Pembuatan spesimen uji sebanyak 9 buah dimana terdiri dari 3 buah untuk setiap kondisi. Pada pengujian tarik dilakukan dengan menguji spesimen uji dimana parameter yang divariasikan adalah kecepatan cetak. Setelah didapatkan nilai parameter kecepatan cetak terbaik dilanjutkan dengan pengujian tarik untuk parameter suhu *nozzle* yang divariasikan. Parameter pencetakan spesimen uji tarik untuk parameter variasi kecepatan cetak dan suhu *nozzle* dapat dilihat pada Tabel 3-2 dan Tabel 3-3 dibawah ini.

Tabel 3-2 Parameter Spesimen Uji dengan Variasi Kecepatan Cetak

No.	Sampel	Parameter Tetap				Parameter Variasi
		Tebal Layer (mm)	Suhu Meja (°C)	Density (%)	Suhu Nozzle (°C)	Kecepatan (mm/s)
1	I	0,18	45	20	215	40
2	II	0,18	45	20	215	50
3	III	0,18	45	20	215	60

Tabel 3-3 Parameter Spesimen Uji dengan Variasi Suhu *Nozzle*

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	0,18	45	20	40	205
2	II	0,18	45	20	40	215
3	III	0,18	45	20	40	225

Jika pencetakan spesimen telah selesai dibuat maka akan dilakukan pengujian Tarik. Berikut adalah langkah-langkah yang harus dilakukan ketika melakukan pengujian tarik pada spesimen:

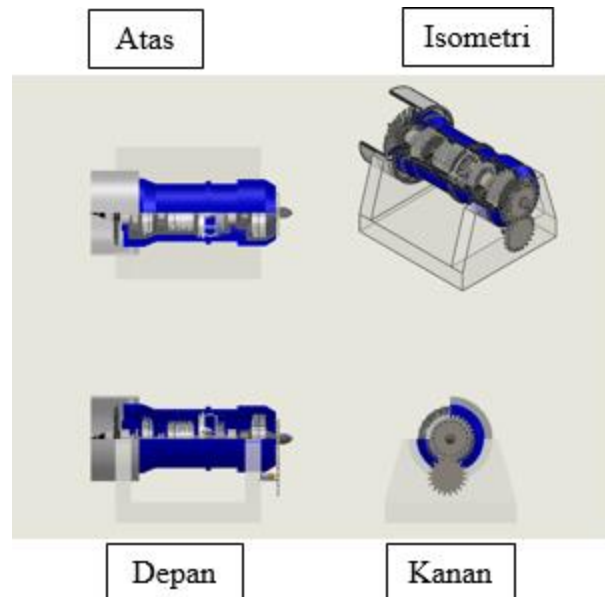
1. Siapkan alat uji dan spesimen yang akan diuji.
2. Ukur dimensi spesimen sebelum dilakukan pengujian.
3. Masukkan dan setting kertas milimeter block di atas mesin plotter.
4. Pasang dan pastikan spesimen yang akan diuji terjepit dengan baik pada mesin uji tarik.
5. Jalankan mesin uji tarik.
6. Setelah terjadi patahan segera hentikan mesin pengujian
7. Ambil hasil rekaman hasil pengujian yang tertera di milimeter blok pada mesin plotter.
8. Ulang langkah 2 sampai 7 untuk pengujian spesimen lainnya.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

Pada perancangan desain, desain yang dipilih adalah mesin jet *turbofan* untuk pesawat boeing 737-800. Mesin jet ini sendiri memiliki ukuran asli yang cukup besar sehingga alat *3D print* tidak mampu mencetak sesuai ukuran asli. Oleh sebab itu dilakukan pembuatan desain dengan skala 1:78. Cara pembuatan desain dengan skala 1:78 adalah membagi semua dimensi dari mesin asli dengan 78 terlebih dahulu kemudian dibuat menggunakan bantuan *Solidworks 2018*. Pada hasil desain produk terdapat beberapa komponen, antara lain: Kipas (*Fan*), poros (*shaft*),udukan kompresor tegangan rendah, kompresor tegangan rendah,udukan kompresor tegangan tinggi, kompresor tegangan tinggi, ruang pembakaran,udukan turbin tegangan tinggi, turbin tegangan tinggi,udukan turbin tegangan rendah, turbin tegangan rendah. Hasil perancangan desain dapat dilihat pada Gambar 4-1 dibawah ini:



Gambar 4-1 Hasil Perancangan Desain

Pada perancangan juga dilakukan pembuatan rasio *gear*. Rasio *gear* digunakan untuk membedakan kecepatan putaran dari poros. Terdapat perbedaan kecepatan putaran poros pada tekanan rendah dan tekanan tinggi. Yang dimaksud

tekanan rendah adalah kipas (*fan*), kompresor tekanan rendah dan turbin tekanan rendah sedangkan tekanan tinggi adalah kompresor tekanan tinggi dan turbin tekanan tinggi. Diketahui bahwa kecepatan putaran tekanan rendah adalah 10.273 RPM sedangkan tekanan tinggi adalah 14.460 RPM. Oleh sebab itu dilakukan perhitungan rasio gigi *gear* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\mathbf{Gear\ Ratio} = \frac{\mathbf{n1}}{\mathbf{n2}} = \frac{\mathbf{Rpm\ Input}}{\mathbf{Rpm\ Output}} \quad 4.1$$

Dimana:

Gear Ratio : Perbandingan *gear*

n1 : Banyaknya gigi *gear* 1

n2 : Banyaknya gigi *gear* 2

RPM *input* : Kecepatan putaran poros penggerak (RPM)

RPM *Output* : Kecepatan putaran poros yang digerakkan (RPM)

Rasio *gear* untuk kecepatan putaran rendah dan kecepatan putaran tinggi sesuai data yang diperoleh adalah sebagai berikut

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

$$Gear\ Ratio = \frac{n1}{n2} = \frac{10.273}{14.460}$$

$$Gear\ Ratio = \frac{1}{1,408} = \frac{10}{14}$$

4.2 Analisis dan Pembahasan

4.2.1 Hasil Pengujian Tarik

Spesimen uji untuk pengujian tarik dibuat sesuai dengan standar ASTM D638-02 tipe I. Spesimen uji memiliki lebar sekitar 13mm dan ketebalan sekitar 4 mm. Nilai ukuran spesimen uji tidak dapat tepat karena terpengaruh oleh hasil pencetakan spesimen uji dari 3D *print*. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Manufaktur Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta menggunakan mesin uji tarik JTM-UTC 220 serial 6604. Pengujian tarik dilakukan guna

mengetahui sifat mekanis material terhadap beban tarik dimana sifat mekanik tersebut adalah titik tarik maksimum, titik putus, dan karakteristik material PLA (Lubis, 2016). Data dari pengujian tarik yang diperlukan yaitu data kekuatan luluh (*yield strength*).

Pada pengujian tarik dilakukan sebanyak 2 tahap karena terdapat 2 parameter pencetakan yang divariasikan, yaitu kecepatan cetak dan suhu *nozzle*. Parameter pembuatan spesimen uji untuk variasi kecepatan cetak dapat dilihat pada Tabel 4-1 berikut:

Tabel 4-1 Parameter Spesimen Uji dengan Variasi Kecepatan Cetak

No.	Sampel	Parameter Tetap				Parameter Variasi
		Tebal Layer (mm)	Suhu Meja (°C)	Density (%)	Suhu Nozzle (°C)	Kecepatan (mm/s)
1	I	0,18	45	20	215	40
2	II	0,18	45	20	215	50
3	III	0,18	45	20	215	60

Pengujian tarik dilakukan setelah selesai dibuat spesimen uji sesuai dengan Tabel 4-1. Data pengujian tarik spesimen uji untuk kecepatan pencetakan sebagai parameter proses yang divariasikan dapat dilihat pada Tabel 4-2 dibawah ini:

Tabel 4-2 Nilai Kekuatan Tarik Maksimum Variasi Kecepatan Cetak

No	Spesimen Uji	Kekuatan Luluh (MPa) ke-			Rata-rata
		I	II	III	
1	A1	17,652	16,954	17,542	17,383
2	B1	12,553	11,768	11,768	12,029
3	C1	11,964	12,258	12,062	12,095

Keterangan:

A1 = Spesimen dengan suhu 215 °C dan kecepatan 40 mm/s

B1 = Spesimen dengan suhu 215 °C dan kecepatan 50 mm/s

C1 = Spesimen dengan suhu 215 °C dan kecepatan 60 mm/s

Setelah dilakukan pengujian tarik terhadap spesimen uji dengan parameter yang divariasikan kecepatan cetak maka selanjutnya dilakukan pengujian tarik untuk parameter suhu *nozzle* yang divariasikan. Parameter pencetakan spesimen uji variasi suhu *nozzle* dapat dilihat pada Tabel 4-3 dibawah ini:

Tabel 4-3 Parameter Spesimen Uji dengan Variasi Suhu Nozzle

No.	Sampel	Parameter Tetap				Parameter Variasi
		Tebal Layer (mm)	Suhu Meja (°C)	Density (%)	Kecepatan (mm/s)	Suhu Nozzle (°C)
1	I	0,18	45	20	40	205
2	II	0,18	45	20	40	215
3	III	0,18	45	20	40	225

Pencetakan spesimen uji untuk variasi suhu *nozzle* dilakukan sebanyak pencetakan spesimen uji variasi kecepatan cetak. Pencetakan spesimen uji dilakukan 3 kali dengan setiap pencetakan dicetak 3 buah spesimen uji untuk setiap kondisi sehingga terdapat total 9 spesimen uji. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan hasil seperti pada Tabel 4-4 berikut ini:

Tabel 4-4 Nilai Kekuatan Tarik Maksimum Variasi Suhu Nozzle

No	Spesimen Uji	Kekuatan Luluh (MPa) ke-			Rata-rata
		I	II	III	
1	A2	19,879	20,787	22,463	21,043
2	B2	17,964	17,284	17,912	17,720

3	C2	22,561	21,337	23,490	22,463
---	----	--------	--------	--------	--------

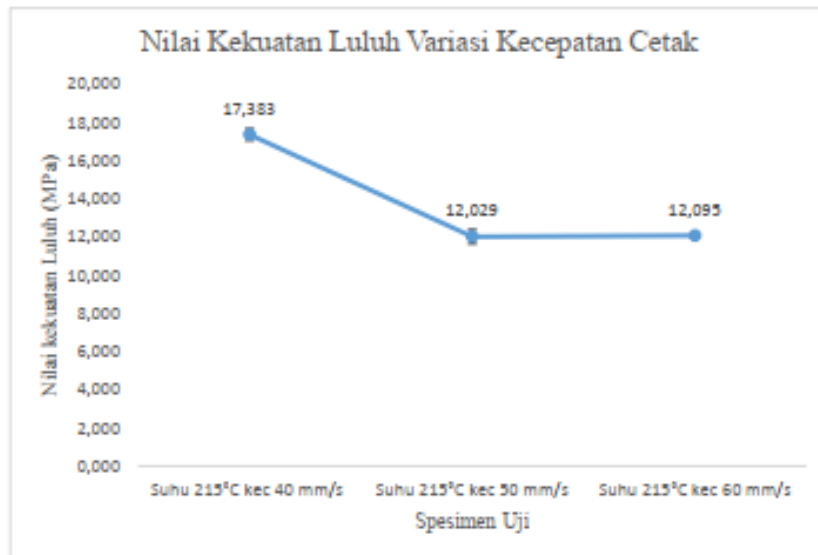
Keterangan:

A2 = Spesimen dengan kecepatan 40 mm/s dan suhu *nozzle* 205 °C

B2 = Spesimen dengan kecepatan 40 mm/s dan suhu *nozzle* 215 °C

C2 = Spesimen dengan kecepatan 40 mm/s dan suhu *nozzle* 225 °C

Nilai kekuatan tarik maksimum hasil pengujian ini sangat berbeda dari nilai yang ada pada *datasheet filament* PLA. Pada *datasheet* kekuatan tarik maksimum PLA adalah sekitar 57 MPa (Farah, Anderson, & Langer a, 2016). Sedangkan nilai kekuatan tarik maksimum spesimen uji hasil pencetakan 3D *print* dengan hasil terbaik pada suhu 225⁰C dan kecepatan 40 mm/s hanya 22,463 MPa. Perbedaan kekuatan tarik maksimum spesimen uji yang sangat besar dipengaruhi oleh pemilihan parameter saat melakukan pencetakan spesimen uji. Salah satu parameter yang berpengaruh besar adalah *infill degree*. *Infill degree* atau persentase volume pencetakan merupakan salah satu parameter yang ada saat akan melakukan pencetakan spesimen uji (Melenka, B.K.O, Schofiled, Dwason, & Carey, 2016). Semakin besar nilai persentase volume maka semakin besar kekuatan tarik maksimumnya karena benda akan semakin padat sehingga gaya tarik menarik antar *layer* semakin kuat. Begitu pula sebaliknya semakin kecil nilai persentase volume maka semakin kecil kekuatan tarik maksimumnya karena benda akan memiliki banyak rongga sehingga kekuatan tarik menarik antar *layer* kecil (Carneiro, Silva, & Gomes, 2015). Dari data pengujian variasi kecepatan cetak dan suhu *nozzle* yang diperoleh dilakukan pengolahan data menggunakan diagram garis dengan bantuan *Microsoft Excel*. Grafik hasil pengolahan data dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** dibawah ini:



(a)



(b)

Gambar 4-2 (a) Grafik Hasil Pengujian Tarik Variasi Kecepatan Cetak; (b) Grafik Hasil Pengujian Tarik Variasi Suhu Nozzle

Berdasarkan Gambar 4-2a diatas, dapat dilihat bahwa parameter proses variasi kecepatan cetak yang memiliki kekuatan tarik maksimum terbesar adalah suhu 215⁰C dengan kecepatan cetak 40 mm/s yaitu nilai 17,720 MPa dan parameter yang memiliki nilai terendah adalah suhu 215⁰C dengan kecepatan 50 mm/s yaitu 12,324 MPa. Sedangkan berdasarkan Gambar 4-2b didapatkan hasil pengujian parameter variasi suhu *nozzle* terbaik adalah kecepatan cetak 40 mm/s dengan suhu nozzle 225 ⁰C yaitu 22,463 MPa dan hasil terendah pada kecepatan 40 mm/s dengan suhu nozzle 215 ⁰C yaitu 17,720 MPa. Hal ini menunjukkan

bahwa parameter kecepatan pencetakan juga berpengaruh. Walaupun hanya ada satu parameter pencetakan yang berbeda namun dapat menyebabkan perbedaan pada hasil pencetakan spesimen uji (Carneiro, Silva, & Gomes, 2015).

4.2.2 Pemilihan Parameter pencetakan Produk Terbaik

Setelah dilakukan pengujian maka dilanjutkan dengan penentuan parameter terbaik untuk pencetakan produk. Penentuan parameter produk dilakukan dengan menggunakan metode skoring. Metode skoring adalah metode pemberian skor terhadap masing-masing nilai parameter. Pada penelitian ini parameter yang dipilih adalah parameter yang memiliki poin terbanyak. Metode skoring yang digunakan untuk penentuan parameter dapat dilihat pada Tabel 4-5 dibawah ini:

Tabel 4-5 Skoring Penentuan Parameter Pencetakan Produk

No.	Pengujian	Suhu			Kecepatan		
		205 °C	215 °C	225 °C	40 mm/s	50 mm/s	60 mm/s
1.	A3	X	√	X	X	√	X
2.	B3	X	X	√	√	X	X
Total		0	1	1	1	1	0

Keterangan:

A3 = Pengujian Geometri

B3 = Pengujian Tarik

√ = Parameter yang memiliki nilai terbaik dalam pengujian.

X = Parameter yang tidak memiliki nilai terbaik dalam pengujian.

Pada pemilihan parameter pencetakan produk dilakukan berdasarkan 4 data yang diperoleh, yaitu data kecepatan cetak terbaik dan suhu *nozzle* terbaik pada pengujian tarik serta kecepatan cetak terbaik dan suhu *nozzle* terbaik pada pengujian geometri. Untuk data pengujian geometri diperoleh dari referensi hasil pengujian yang dilakukan oleh mahasiswa Universitas Gajah Mada yang bernama Herda Agus Pamasaria pada tahun 2019. Data pengujian geometri yang diperoleh berguna untuk mengetahui perbedaan yang terjadi antara dimensi pada desain dan

dimensi hasil cetak. Dalam pengujian geometri yang dilakukan didapatkan hasil terbaik untuk parameter pencetakan dengan suhu *nozzle* 215⁰C dan kecepatan cetak 50 mm/s.

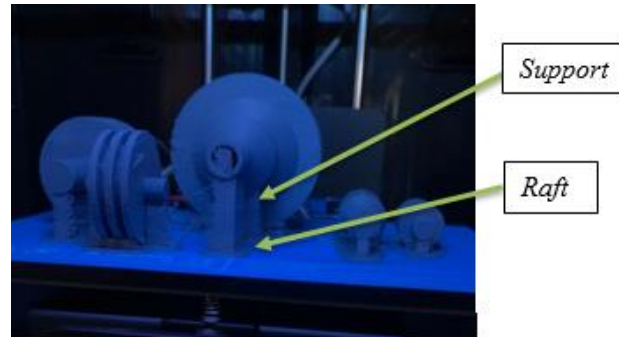
Berdasarkan Tabel 4-5, didapatkan hasil bahwa pada suhu 215⁰C mendapatkan skor 1 karena merupakan parameter terbaik dari hasil pengujian geometri. Untuk pengujian tarik parameter suhu *nozzle* terbaik adalah pada suhu 225⁰C sehingga parameter ini juga mendapatkan skor 1 sedangkan untuk suhu 205⁰C tidak mendapatkan skor karena tidak memiliki hasil terbaik pada pengujian yang telah dilakukan. Selanjutnya untuk parameter kecepatan cetak diperoleh hasil bahwa pada kecepatan cetak 40 mm/s mendapatkan skor 1 karena merupakan parameter terbaik pada pengujian tarik dan kecepatan cetak 50 mm/s juga mendapatkan skor 1 karena merupakan parameter terbaik pada pengujian geometri. Pada parameter kecepatan cetak 60 mm/s tidak mendapatkan skor karena parameter ini tidak memiliki hasil terbaik pada pengujian yang telah dilakukan.

Pada hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan parameter proses kecepatan cetak dan suhu *nozzle* terdapat skor yang sama maka pemilihan parameter cetak dikembalikan ke kebutuhan yang diperlukan. Dalam hal ini karena produk yang dibuat memerlukan 2 hasil terbaik dari pengujian yang dilakukan maka kedua parameter tersebut digunakan semua. Penggunaan parameter cetak yang dimaksud adalah pada pencetakan komponen alat peraga seperti kipas (*fan*) baling-baling kompresor dan turbin serta dudukannya menggunakan hasil terbaik pengujian geometri dengan parameter cetak suhu *nozzle* 215⁰C dan kecepatan cetak 50 mm/s karena membutuhkan seminimal mungkin perbedaan yang ada pada ukuran desain dan hasil cetak. Untuk komponen yang lebih memerlukan kekuatan karena terdapat kontak antar komponen seperti pada gear maka untuk parameter pencetakan komponen tersebut menggunakan hasil terbaik pengujian tarik yaitu kecepatan cetak 40 mm/s dan suhu *nozzle* 225⁰C.

4.2.3 Hasil Pencetakan Produk

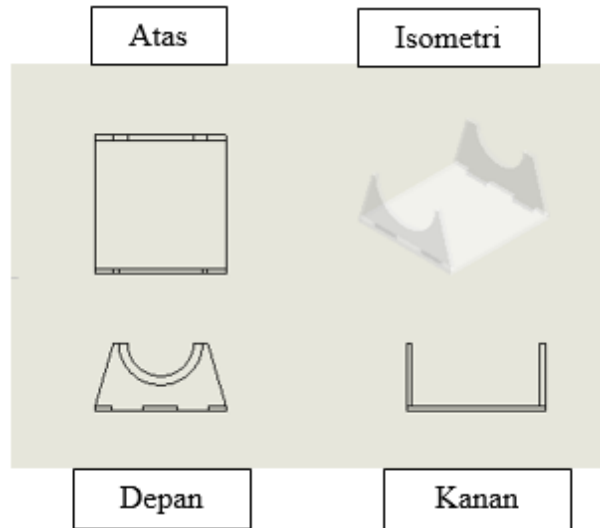
Setelah diketahui parameter terbaik untuk pencetakan produk maka dilakukan pencetakan desain produk menggunakan parameter tersebut. Pencetakan produk menggunakan *raft* dan *support*. *Raft* adalah pembatas antara model produk

dengan bed sehingga dapat menghindari dari permukaan bed yang tidak rata. Selain itu raft juga berfungsi untuk mempermudah melepas hasil pencetakan dari bed (Budiman, Anggono, & Tanoto, 2016). Support digunakan sebagai penyangga pada model yang melayang. Hasil pencetakan model dengan *raft* dan *support* dapat dilihat pada Gambar 4-3 dibawah ini:

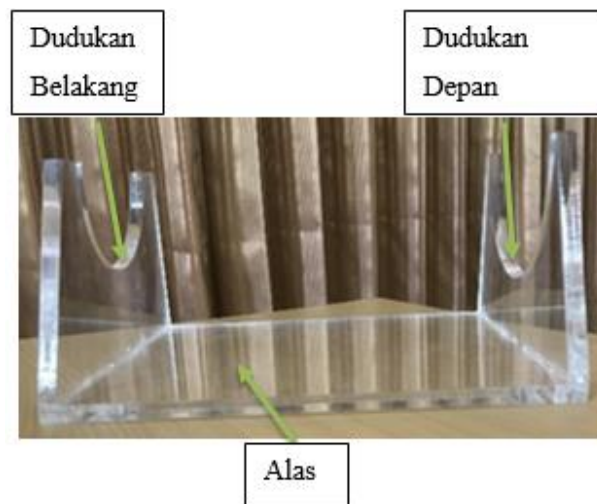


Gambar 4-3 Hasil Pencetakan Model dengan Raft dan Support

Setelah hasil proses pencetakan model produk selesai dan telah dilepas dari *bed* maka selanjutnya adalah *finishing* dengan amplas atau kikir untuk membersihkan sisa dari *raft* dan *support* yang menempel. Setelah semua hasil cetak dilakukan finishing tahap selanjutnya adalah perakitan. Produk yang telah selesai dirakit memerlukan sebuah penyangga untuk berdiri. Hal ini dikarenakan *cover* produk yang berbentuk 270° C dari lingkaran dapat menggelinding ke kanan maupun kiri jika tidak ada yang menahan. Oleh sebab itu dibuatlah penyangga dari bahan akrilik dengan ketebalan 10 mm. Material ini dipilih karena proses produksinya cepat dan dianggap mempunyai kekuatan lebih baik dari material *filament*. Penyangga dibuat menggunakan mesin CNC yang berada di Laboratorium Manufaktur Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Penyangga dibuat dengan 3 bagian, yaitu bagian dudukan depan, alas, dan dudukan belakang. Hasil rancangan dan pembuatan penyangga dapat dilihat pada Gambar 4-4 dibawah ini:



(a)



(b)

Gambar 4-4 (a) Rancangan Penyangga Alat Peraga; (b) Hasil Laser Cutting Penyangga Alat Peraga

4.2.4 Kecepatan Putaran Mesin CFM56-7B

Mesin CFM56-7B merupakan sebuah mesin jet *turbofan* yang digunakan pada pesawat Boeing 737-NG. Pada mesin ini terdapat 2 kecepatan putaran, yaitu N1 untuk kecepatan putaran motor tekanan rendah dan N2 untuk kecepatan putaran motor tekanan tinggi. Menurut *aircraft manufacturing* kecepatan putaran pada kondisi 100% N1 adalah 10.273 RPM sedangkan N2 14.460 dengan gaya dorong mencapai 24.200 Lbs namun angka-angka tersebut masih dapat meningkat. Terdapat 4 kondisi kecepatan putaran yang diperoleh, antara lain: ketika mesin

sedang *idle*, *take off*, *cruise*, dan *landing*. Kecepatan putaran saat *idle* adalah 30%, kecepatan *take off* dapat mencapai 98%, kecepatan putaran saat *cruise* adalah 70% dan kecepatan putaran saat *landing* adalah 40%. Berdasarkan data mesin yang diperoleh dari *aircraft manufacturing*, data mesin *turbofan* CFM56-7B dapat dilihat pada Tabel 4-6 dibawah ini:

Tabel 4-6 Data Mesin CFM56-7B

No.	Parameter Mesin	<i>Idle</i>	<i>Take off</i>	<i>Cruise</i>	<i>Landing</i>
1	<i>N1</i>	3.082	10.068	7.191	4.109
2	<i>N2</i>	4.338	14.171	10.122	5.784
3	<i>EGT</i>	725	950	839	839
4	<i>Thrust</i>	837	24.858	10.142	5.380
5	<i>Speed</i>	0	268,54	851,92	140

(Sumber: Aircraft Manufacturing)

Keterangan:

N1 : Kecepatan putaran pada kipas (*fan*), LPC, dan LPT (RPM)

N2 : Kecepatan putaran pada HPC dan HPT (RPM)

EGT : Temperatur gas buang ($^{\circ}\text{C}$)

Thrust : Gaya dorong pesawat (Lbs)

Speed : kecepatan pesawat (km/j)

4.2.5 Sistem Penggerak

Setelah komponen alat peraga selesai dicetak maka selanjutnya adalah penentuan sistem gerak. Sistem penggerak alat peraga akan menggunakan motor dc dengan kecepatan 500 RPM dan gear sebagai penyalur tenaga dari poros motor menuju poros alat peraga. Oleh sebab itu diperlukan mengetahui kecepatan putaran poros alat peraga, pengecekan kecepatan motor aktual, dan perhitungan reduksi gear. Perhitungan kecepatan putaran poros alat peraga, pengecekan kecepatan aktual motor dan gear adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan putaran poros alat peraga

Setelah dilakukan *modelling* dan pencetakan komponen mesin *turbofan* CFM56-7B, selanjutnya dilakukan perhitungan rasio kecepatan pada motor. Hal ini dilakukan karena kecepatan putaran yang ada pada mesin aslinya terlalu besar sehingga motor yang ada tidak akan mampu mencapai kondisi tersebut. Oleh sebab itu dilakukan rasio kecepatan yang sama dengan rasio *modeling* ukuran mesin yaitu 1:78. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai seperti berikut:

Kecepatan putaran maksimal N1 (100%) pada alat peraga:

$$\frac{10.273}{78} = 131,7 \text{ RPM}$$

Kecepatan putaran maksimal N2 (100%) pada alat peraga:

$$\frac{14.460}{78} = 185,4 \text{ RPM}$$

Berdasarkan perhitungan kecepatan putaran maksimal N1 dan N2 pada alat peraga didapatkan data seperti pada Tabel 4-7 berikut:

Tabel 4-7 Data Kecepatan Putaran Poros Alat Peraga

No.	Parameter Mesin	<i>Idle</i>	<i>Take off</i>	<i>Cruise</i>	<i>Landing</i>
1	N1	39,51	129,08	92,19	52,68
2	N2	55,62	181,68	129,77	74,15
3	<i>EGT</i>	9,29	12,18	10,76	10,76
4	<i>Thrust</i>	10,73	318,69	130,03	68,97
5	<i>Speed</i>	0	3,44	10,92	1,79

Keterangan:

N1 : Kecepatan putaran pada kipas (*fan*), LPC, dan LPT (RPM)

N2 : Kecepatan putaran pada HPC dan HPT (RPM)

EGT : Temperatur gas buang ($^{\circ}\text{C}$)

Thrust : Gaya dorong pesawat (Lbs)

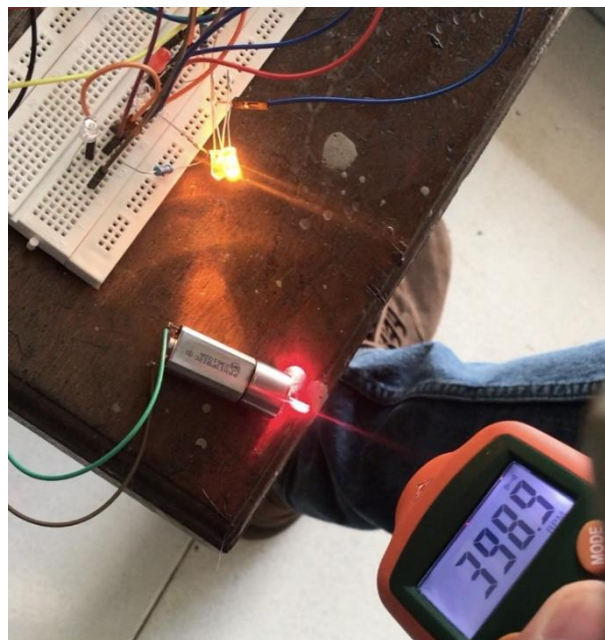
Speed : kecepatan pesawat (km/j)

2. Pengecekan kecepatan putaran aktual motor

Pada kecepatan motor sering kali terjadi perbedaan nilai pada *datasheet* dan kecepatan putaran aslinya. Apabila hal ini tidak dipastikan secara langsung maka akan berpengaruh terhadap reduksi gear yang tidak dapat tercapai. Oleh sebab itu dilakukan pengecekan langsung terhadap kecepatan putaran motor aktual ketika led dan lcd sudah menyala menggunakan bantuan alat *tachometer*. Dari pengecekan langsung pada motor dc dengan *datasheet* 500 RPM didapatkan data seperti pada Tabel 4-8 dan Gambar 4-5 berikut:

Tabel 4-8 Tabel Data Kecepatan Putaran Aktual Motor DC

	Kecepatan Putaran (RPM)			Rata-rata
	I	II	III	
Kecepatan Aktual Motor	402,1	400,8	398,9	400,6



Gambar 4-5 Pengecekan kecepatan aktual motor

3. Reduksi gear penggerak

Alat peraga juga memerlukan reduksi pada gear penggeraknya. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan kecepatan putaran (RPM) antara poros motor yang digunakan (400,6 RPM) dengan poros dudukan LPT (131,7

RPM). Dilakukan perhitungan reduksi gear sesuai dengan kecepatan putaran poros alat peraga dengan poros motor seperti berikut:

$$\text{Gear Ratio} = \frac{n1}{n2} = \frac{400,6 \text{ rpm}}{131,7 \text{ rpm}}$$

$$\text{Gear Ratio} = \frac{1}{3,04} = \frac{10}{30}$$

Dimana:

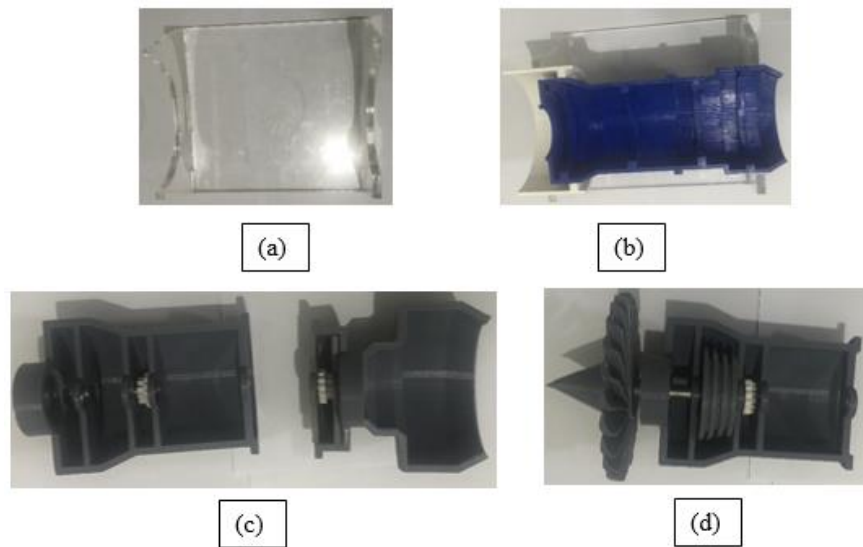
Gear Ratio : Perbandingan *gear*

n1 : Banyaknya gigi *gear* 1

n2 : Banyaknya gigi *gear* 2

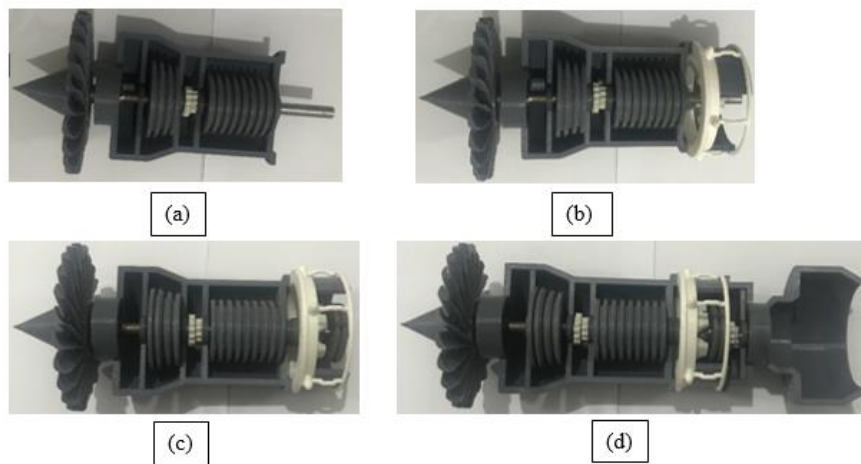
4.2.6 Perakitan Produk Alat Peraga

Setelah selesai dilakukan pencetakan produk maka selanjutnya adalah perakitan produk alat peraga. Perakitan produk diawali dengan merakit dudukan alat peraga. Dudukan alat peraga terdiri dari 3 bagian, yaitu dudukan depan, alas, dan dudukan belakang. Langkah selanjutnya adalah pemasangan *cover* kipas bawah dengan *cover* luar mesin bagian depan bawah dan *cover* mesin luar bagian depan bawah dengan *cover* mesin luar bagian belakang bawah. Langkah ketiga adalah pemasangan *bearing* setiap dudukan poros (*shaft*) yang berada pada *cover* mesin dalam bagian depan bawah dan belakang bawah. *Bearing* yang digunakan terdapat 2 jenis, yaitu 2 buah *bearing* dengan diameter dalam 15mm dan 8 buah *bearing* dengan diameter dalam 10mm. Setelah *bearing* selesai dipasang langkah selanjutnya adalah pemasangan poros dan *gear* penyalur tenaga. Poros dan *gear* penyalur tenaga terletak diantara LPC dan HPC serta HPT dan LPT. Pada sambungan poros tenaga depan, *gear* gigi 10 berada di depan dan *gear* gigi 14 berada di belakang sedangkan sambungan poros tenaga belakang *gear* gigi 10 berada di belakang dan *gear* gigi 14 berada di depan. Langkah perakitan dapat dilihat pada Gambar 4-6 dibawah ini.



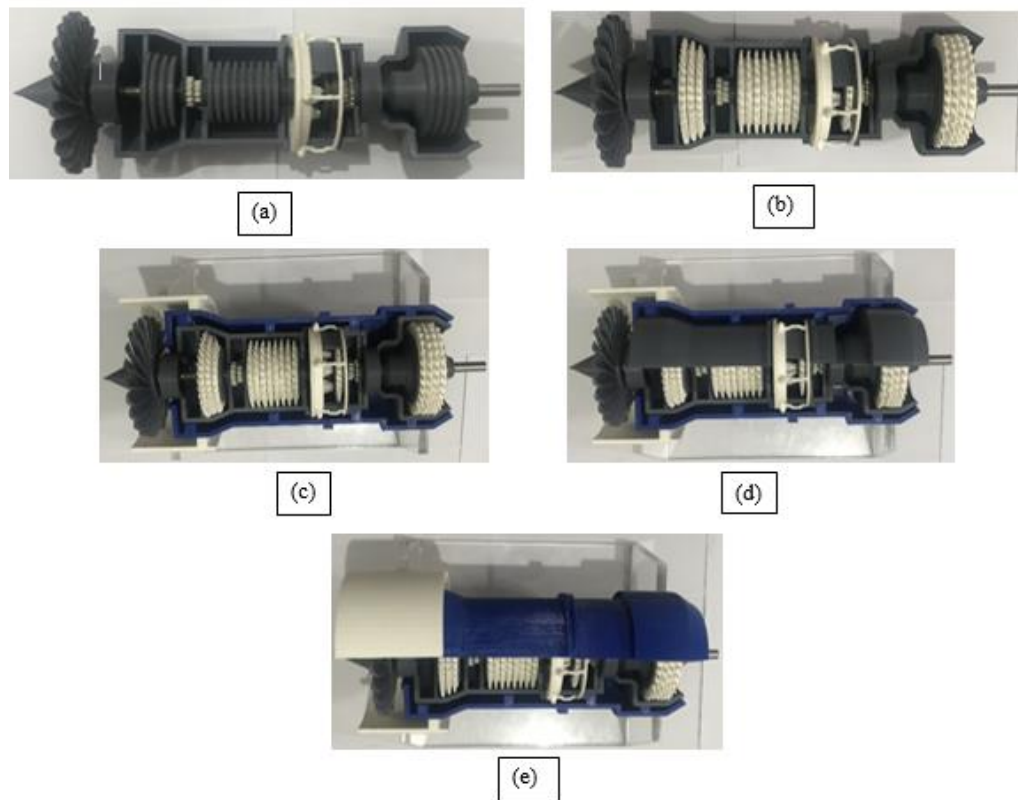
Gambar 4-6 (a) Pemasangan Dudukan; (b) Pemasangan *Cover* Luar; (c) Pemasangan *Gear* dan *Bearing*; (d) Pemasangan Kipas (*fan*) dan Dudukan LPC

Langkah kelima pemasangan poros kipas dengan kipas kemudian poros dimasukkan ke *bearing* depan ukuran diameter dalam 15mm kemudian masuk ke *bearing* ukuran diameter dalam 10 mm pada dudukan LPC setelah itu masuk *bearing* diameter dalam 10 mm kembali. Setelah kipas dan dudukan LPC terpasang, dilakukan pemasangan *gear* dengan gigi 14 pada ujung poros. Langkah berikutnya adalah pemasangan poros untuk dudukan HPC diawali dengan pemasangan *gear* gigi 10 lalu poros masuk ke *bearing* diameter 10mm setelah itu masuk ke dudukan HPC, masuk ke *bearing* diameter dalam 10mm kembali. Langkah selanjutnya adalah pemasangan *cover* jalur bahan bakar dengan jalur bahan bakar kemudian pemasangan jalur bahan bakar ke *cover* mesin dalam bagian depan bawah. Setelah itu dilakukan pemasangan ruang pembakaran dan dudukan HPT dengan poros. Pada ujung poros yang keluar dari *bearing* diameter 10 mm dipasang *gear* gigi 10. Langkah perakitan dapat dilihat pada Gambar 4-7 dibawah ini.



Gambar 4-7 (a) Pemasangan dudukan HPC; (b) Pemasangan Jalur Bahan Bakar; (c) Pemasangan dudukan HPT; (d) Pemasangan *Cover* dalam Bagian Depan dan Belakang

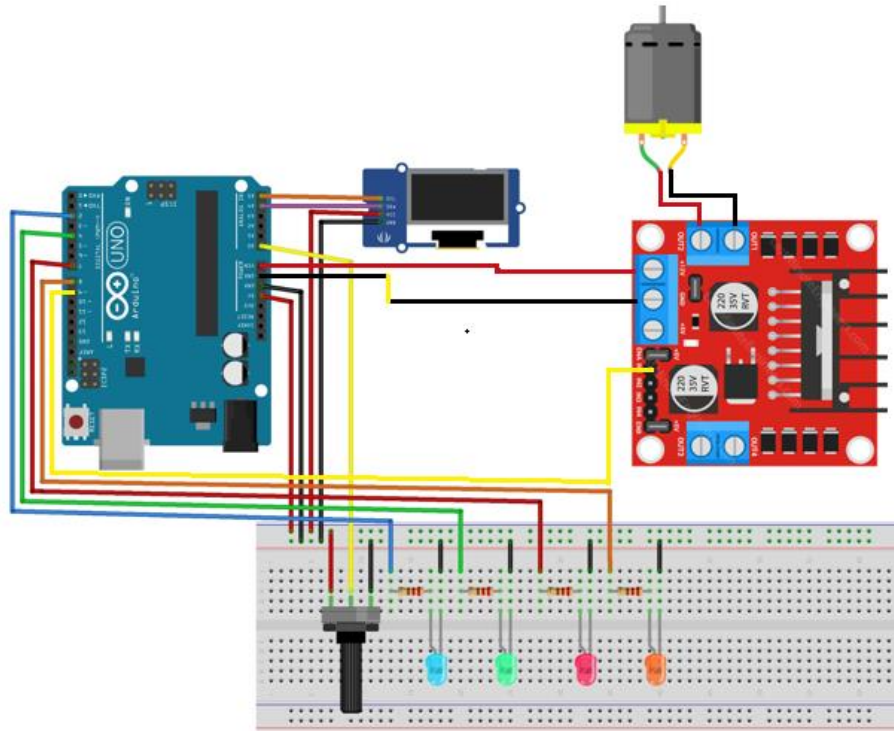
Langkah berikutnya adalah pemasangan poros dudukan LPT. Pemasangan diawali dengan pemasangan *gear* gigi 14 kemudian poros masuk ke *bearing* diameter dalam 10 mm dan *bearing* diameter dalam 15mm setelah itu masuk ke dudukan LPT. Setelah semua dudukan LPC, HPC, HPT, dan LPT selesai dirakit dan dapat bergerak sesuai yang diharapkan, langkah selanjutnya adalah pemasangan baling-baling untuk setiap dudukannya. Langkah selanjutnya adalah meletakkan *cover* dalam dan komponen yang telah dirakit ke *cover* luar sesuai dengan dudukan *cover* dalam di *cover* luar. Langkah keempat belas adalah pemasangan *cover* dalam mesin atas bagian depan dan belakang dilanjutkan pemasangan *cover* kipas bagian atas, *cover* mesin luar bagian depan dan belakang. Apabila semua telah selesai dirakit maka selanjutnya dilakukan perakitan untuk sistem penggerak. Diawali dengan pemasangan gear dengan gigi 10 ke poros alat peraga. Selanjutnya adalah pemasangan gear dengan gigi 30 ke poros motor kemudian pemasangan motor ke dudukan motor. Setelah itu adalah pemasangan dudukan motor ke dudukan belakang penyangga alat peraga. Langkah terakhir adalah perakitan kotak rangkaian elektrik pada dudukan alat peraga. Langkah perakitan dapat dilihat pada Gambar 4-8 dibawah ini.



Gambar 4-8 (a) Pemasangan Dudukan LPT; (b) Pemasangan Baling-Baling Tiap Dudukan; (c) Letak Cover Dalam Pada Cover Luar; (d) Pemasangan Cover Dalam Bagian Atas; (e) Pemasangan Cover Luar Bagian Atas

4.2.7 Rangkaian Motor DC dan LED

Hasil akhir alat peraga ini adalah mampu menjelaskan cara kerja dari mesin aslinya. Pada mesin aslinya terdapat perbedaan kecepatan putaran antara kipas dan LPC dengan HPC dan HPT maupun HPC dan HPT dengan LPT. Guna menunjukkan perbedaan kecepatan putaran yang ada maka diperlukan putaran poros alat peraga yang konstan. Oleh sebab itu ditambahkan program dan rangkaian untuk menggerakkan alat peraga. Program dan rangkaian yang dibuat nantinya berfungsi untuk mengatur motor dc dan led dimana motor dc berfungsi untuk memutar poros supaya berputar dengan kecepatan yang konstan dan led berfungsi untuk mempresentasikan aliran udara yang terjadi didalam mesin. Pada rangkaian juga ditambahkan *potensio* untuk mengatur kecepatan putaran motor dc dan lcd untuk mengetahui besarnya kecepatan putaran yang ada. Rangkaian elektrik yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4-9 dibawah ini.



Gambar 4-9 Rangkaian Elektronika Arduino

Pada rangkaian digunakan motor dc dengan kecepatan putaran 500 RPM. Motor dc ini dianggap lebih dari mampu karena dilakukan pengecekan kecepatan aktual saat bekerja dengan beban memutar gear pada poros alat dan menhidupkan arduino serta led didapatkan hasil kecepatan putaran sebesar 400,6 RPM sedangkan pada poros alat peraga paling cepat berputar sebanyak 185,4 RPM (N2 kondisi 100%). Selain penggunaan motor dc digunakan juga sejumlah led, antara lain: 2 led berwarna biru digunakan pada kompresor tekanan rendah, 2 led berwarna hijau untuk kompresor tekanan tinggi, 2 led berwarna merah untuk ruang pembakaran dan turbin tekanan tinggi, serta 2 led berwarna kuning untuk turbin tekanan rendah. Untuk lebih jelas, sambungan kabel dapat dilihat pada Tabel 4-9 dibawah ini:

Tabel 4-9 Sambungan Kabel *Jumper* antara *Driver* Motor L298N dengan Motor dc dan Arduino

<i>Out 1</i>	Motor dc positif
<i>Out 2</i>	Motor dc negative
12v	VIN arduino

<i>Ground</i>	<i>Ground</i>
ENA	Pin <i>digital</i> 9 arduino

Tabel 4-10 Sambungan Kabel Jumper antara LCD dengan Arduino

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

Tabel 4- 11 Sambungan Kabel Jumper antara Potensio dengan Arduino

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

Tabel 4- 12 Sambungan Kabel Jumper antara LED dengan Arduino

Led 1	Positif	Pin <i>digital</i> 2
	<i>Ground</i>	<i>Ground</i>
Led 2	Positif	Pin <i>digital</i> 4
	<i>Ground</i>	<i>Ground</i>
Led 3	Positif	Pin <i>digital</i> 7
	<i>Ground</i>	<i>Ground</i>
Led 4	Positif	Pin <i>digital</i> 8
	<i>Ground</i>	<i>Ground</i>

Keterangan:

Led 1 : Led warna biru

Led 2 : Led warna hijau

Led 3 : Led warna merah

Led 4 : Led warna kuning

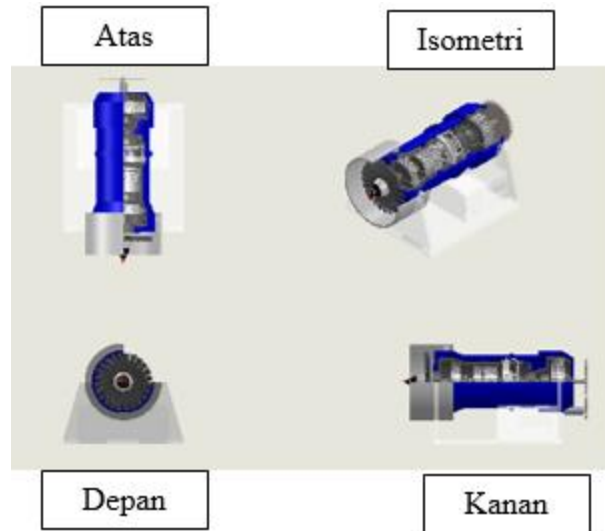
4.2.8 Cara Kerja Alat Peraga

Setelah dilakukan pembuatan rangkaian elektrik dan program selanjutnya adalah masuk ke cara kerja alat peraga. Cara kerja alat peraga adalah menghubungkan catu daya 12v ke arduino yang ada guna menghidupkan program. Setelah rangkaian elektrik alat peraga hidup maka lcd akan hidup namun motor dc dan led yang ada akan tetap mati karena potensio masih bernilai 0. Guna menggerakkan poros alat peraga maka di putarlah potensio dimana lcd akan menunjukkan nilai kecepatan putaran pada poros alat peraga. Ketika potensio diputar kekanan sampai lcd menunjukkan nilai sekitar 39 RPM maka poros alat peraga akan memiliki kecepatan putaran sekitar 39,51 RPM pada N1 dan 55,62 RPM pada N2 dengan gaya dorong 10,73 Lbs dimana mewakili kondisi mesin saat *idle* dengan kecepatan putaran 3.082 RPM pada N1 dan 4.338 RPM pada N2 serta gaya dorong sebesar 837 Lbs. Jika potensio diputar sampai lcd menunjukkan nilai sekitar 129 RPM maka poros alat peraga akan memiliki kecepatan putaran sekitar 129 RPM pada N1 dan 181,69 RPM pada N2 serta gaya dorong yang dihasilkan sebesar 318,69 Lbs dimana mewakili kondisi mesin saat *take off* dengan kecepatan putaran 10.068 RPM pada N1, 14.171 RPM pada N2, dan gaya dorong sebesar 24.858 Lbs. Jika potensio diputar sampai lcd menunjukkan nilai sekitar 92 RPM maka poros alat peraga akan memiliki kecepatan putaran sekitar 92,19 RPM pada N1 dan 129,78 RPM pada N2 serta gaya dorong yang dihasilkan sekitar 130,03 Lbs dimana mewakili kondisi mesin saat kondisi jelajah pesawat (*cruise*) dengan kecepatan putaran 7.191 RPM pada N1, 10.122 RPM pada N2, dan gaya dorong yang terjadi sekitar 10.142 Lbs. Sedangkan jika potensio diputar sampai lcd menunjukkan nilai sekitar 53 RPM maka poros alat peraga akan memiliki kecepatan putaran sekitar 52,68 RPM pada N1 dan 74,16 RPM pada N2 serta gaya dorong yang dihasilkan sebesar 68,97 Lbs dimana mewakili kondisi mesin saat *landing* dengan kecepatan putaran 4.109 RPM pada N1, 5.784 RPM pada N2, dan gaya dorong yang bekerja sebesar 5.380 Lbs.

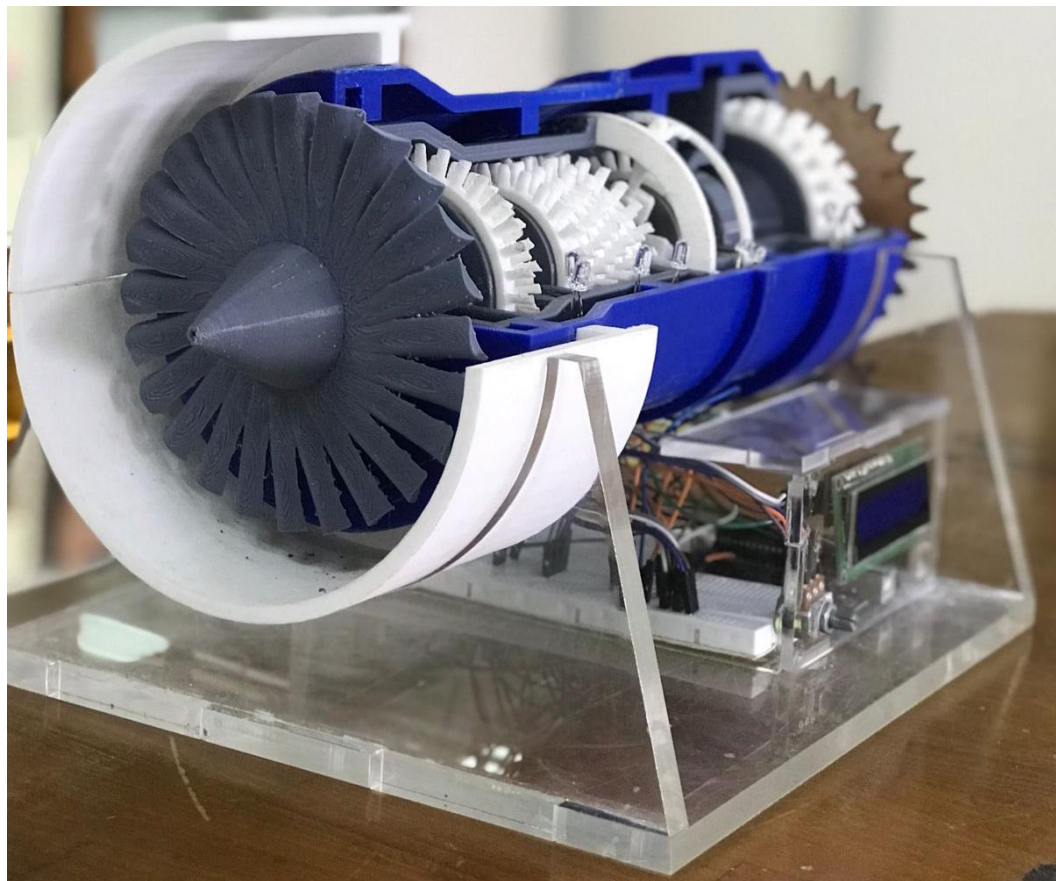
4.2.9 Optimalisasi Desain

Pada produk alat peraga yang telah selesai dirakit dilakukan optimalisasi desain. Optimalisasi desain dilakukan guna meningkatkan kinerja dari alat peraga yang telah dirancang. Dalam hal ini bagian yang dilakukan optimasi adalah poros pada alat peraga. Hal ini dikarenakan poros yang terbuat dari hasil cetak *3D print* menghasilkan putaran yang tidak optimal (oleng). Setelah dilakukan analisis didapatkan hasil penyebab putaran tidak lancar diakibatkan oleh pendeknya sambungan dan bentuk hasil cetak yang tidak terlalu bulat seperti pada desain. Selain itu pada tempat dudukan poros yang juga merupakan hasil *3D print* memiliki permukaan yang lumayan kasar sehingga menghambat putaran dari poros. Dengan adanya kendala tersebut maka dilakukan penggantian poros dari sambungan hasil cetak *3D print* menjadi poros baja. Hal ini dikarenakan poros baja lebih kaku dan memiliki kekasaran permukaan yang lebih halus dari pada hasil cetak *3D print*. Selain itu ditambahkan *bearing* pada dudukan shaft. Dengan adanya *bearing* diharapkan putaran shaft dapat berputar dengan lancar.

Dalam segi desain juga dilakukan optimalisasi pada dudukan dan baling-baling pada kompresor tekanan rendah dan kompresor tekanan tinggi. Hal ini dilakukan karena dengan ukuran sebelumnya masih terlalu banyak jarak antara baling-baling dengan *cover* dalamnya. Hal ini dianggap belum mampu mempresentasikan cara kerja dari kompresor karena jika terlalu jauh jarak baling-baling dengan *cover* dalam maka udara tidak akan terkompres maka dilakukan optimalisasi dengan memperbesar ukuran baling baling danudukannya sehingga jarak antara baling-baling dan *cover* dalam menjadi kecil. Gambar 4-10 menunjukkan desain akhir dari alat peraga mesin jet *turbofan CFM56-7B*.



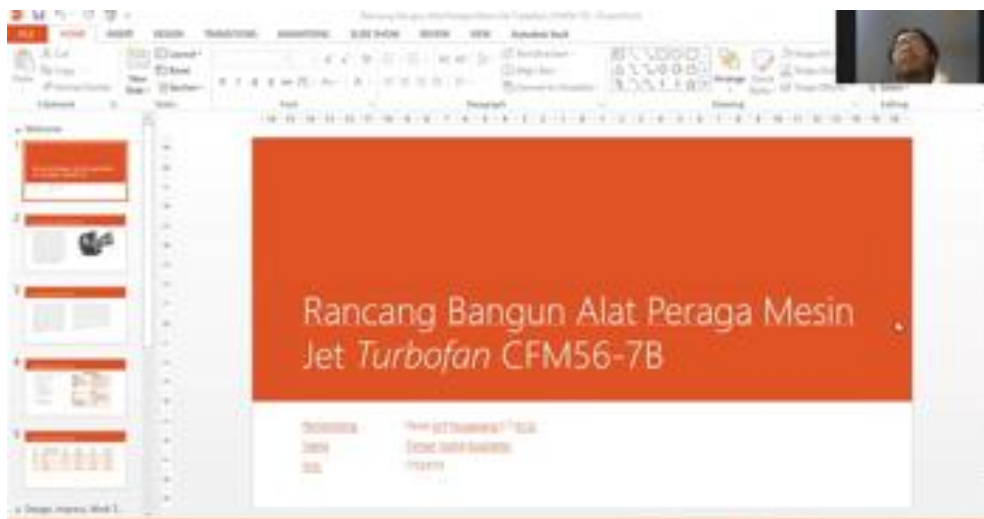
Gambar 4-10 Hasil Akhir Perancangan Modeling Mesin *Turbofan* CFM56-7B
 Setelah dilakukan optimalisasi desain dan perakitan ulang alat peraga, berikut adalah bentuk akhir dari produk alat peraga mesin jet *turbofan* yang telah dibuat sesuai dengan berikut.



Gambar 4-11 Hasil Akhir Produk Alat Peraga Mesin Jet Turbofan CFM56-7B

4.2.10 Pengujian Alat Peraga

Setelah dilakukan optimalisasi desain dilakukan pengujian alat peraga. Pengujian alat peraga dilakukan kepada responden untuk mengetahui apakah alat peraga yang dibuat sudah sesuai baik mekanisme kerja dan komponen yang ada pada mesin asli atau tidak. Responden yang dipilih terdapat 2 kategori, yaitu responden yang kurang memahami dan responden yang memahami cara kerja mesin ini. Untuk responden yang kurang memahami diambil dari mahasiswa sedangkan untuk responden yang memahami diambil dari teknisi yang bekerja memperbaiki mesin. Cara pengambilan data responden menggunakan bantuan *zoom meeting*. Hal ini dilakukan karena keterbatasan keadaan yang ada dengan tidak memungkinkannya untuk mencoba menggunakan alat peraga satu-satu. Pengambilan data pengujian alat peraga dapat dilihat pada Gambar 4-12.



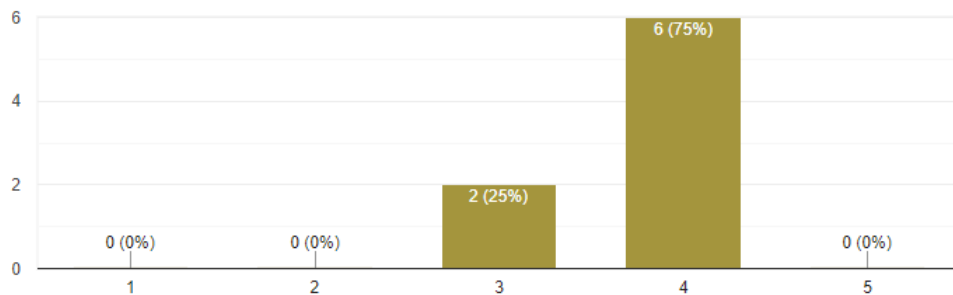
Gambar 4-12 Pengambilan Data Responden Menggunakan *Zoom Meeting*

Pada pengambilan data responden melalui kuesioner ini terdapat sejumlah pertanyaan, antara lain: (1) Apakah anda memahami cara kerja dari mesin jet turbopan CFM56-7B dan bagaimana komentar anda, (2) Menurut anda apakah komponen yang ada pada alat peraga sudah sesuai dengan komponen pada mesin asli dan bagaimana komentar anda, (3) Dari video dan penjelasan yang telah dipaparkan, apakah menurut anda alat peraga sudah mewakili mekanisme dari mesin jet turbopan CFM56-7B dan bagaimana komentar anda, (4) Seberapa tertarik anda terhadap desain alat peraga yang telah dibuat dan bagaimana komentar anda. Berdasarkan kuesioner yang telah dilakukan diperoleh data terkait pemahaman

cara kerja dari mesin setelah diberikan sedikit penjelasan terlebih dahulu adalah 75% dari responden memilih sudah memahami sedangkan sisanya yaitu sebanyak 25% dari responden memilih cukup memahami cara kerja mesin CFM56-7B ini. Hasil kuesioner terkait pemahaman cara kerja mesin dapat dilihat pada Gambar 4-13 dibawah ini.

Apakah anda memahami cara kerja dari mesin jet turbofan CFM56-7B?

8 jawaban

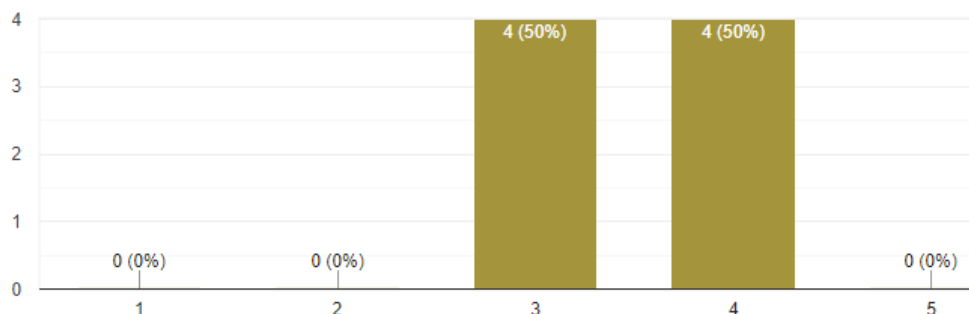


Gambar 4-13 Hasil Kuesioner Pemahaman Responden Terhadap Cara Kerja Mesin

Selanjutnya untuk pertanyaan terkait kesesuaian komponen yang ada pada alat peraga dan mesin asli diperoleh hasil bahwa 50% responden memilih sudah sesuai dan 50% lainnya memilih cukup sesuai. Gambar 4-14 menunjukkan hasil kuesioner terkait kesesuaian komponen dari alat peraga yang dibuat dengan mesin aslinya.

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

8 jawaban

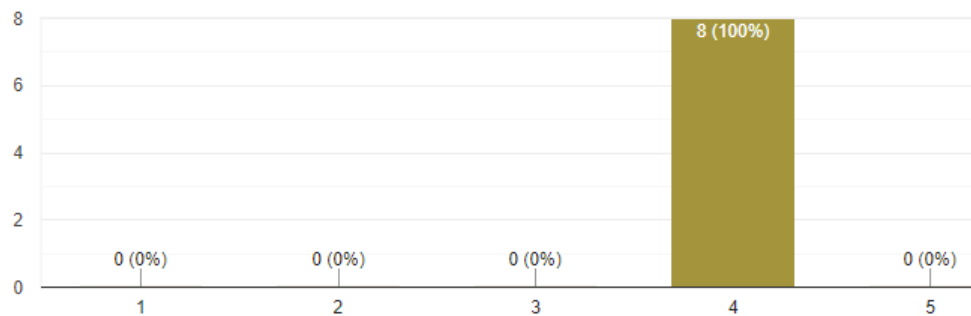


Gambar 4-14 Hasil Kuesioner Kesesuaian Komponen Antara Alat Peraga dengan Mesin Asli

Sedangkan untuk hasil kuesioner terkait video dan penjelasan kesesuaian mekanisme kerja alat peraga dengan mesin aslinya diperoleh bahwa semua responden memilih bahwa alat peraga sudah dapat mewakili mekanisme kerja dari mesin asli. Sesuai dengan Gambar 4-15 menunjukkan hasil kuesioner terkait kesesuaian mekanisme kerja antara alat peraga dengan mesin aslinya.

Dari video dan penjelasan yang telah dipaparkan, apakah menurut anda alat peraga sudah mewakili mekanisme dari mesin jet turbofan CFM56-7B?

8 jawaban

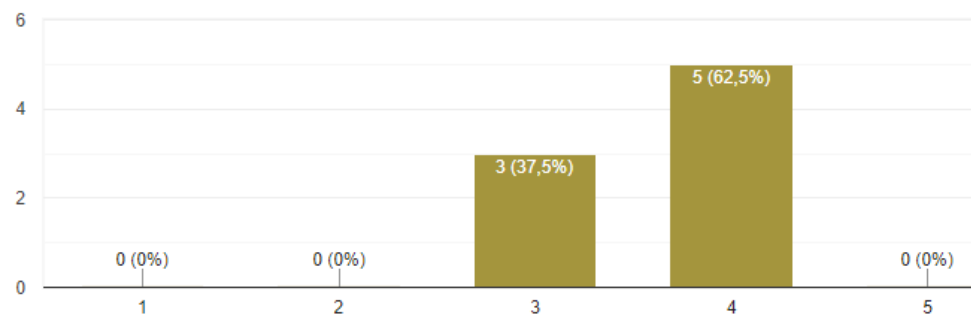


Gambar 4-15 Hasil Kuesioner Terkait Kesesuaian Mekanisme Kerja Alat Peraga dengan Mesin Asli

Untuk pertanyaan terakhir terkait dengan desain alat peraga yang dibuat diperoleh hasil bahwa sebanyak 62,5% dari responden memilih menarik sementara untuk sisanya 37,5% memilih cukup menarik. Gambar 4-16 menunjukkan hasil kuesioner terkait ketertarikan responden terhadap desain dari alat peraga yang telah dibuat.

Seberapa tertarik anda terhadap desain alat peraga yang telah dibuat?

8 jawaban



Gambar 4-16 Hasil Kuesioner Terkait Ketertarikan Responden dengan Alat Peraga yang Dibuat

Berdasarkan seluruh data yang diperoleh dari kuesioner yang dilakukan, alat peraga yang telah dibuat dianggap sudah sesuai dan mampu

memvisualisasikan mekanisme kerja dari mesin aslinya sehingga sudah dapat memenuhi kriteria desain pertama, yaitu alat peraga mampu mendemonstrasikan mekanisme kerja dari mesin asli. Dari hasil kuesioner yang dilakukan juga didapatkan data bahwa alat peraga sudah dapat mudah dipahami oleh responden dimana responden memilih nilai 4 untuk kesesuaian cara kerja alat peraga. Dengan adanya hal ini responden dianggap dapat memahami cara kerja alat peraga dengan mudah. Selanjutnya untuk komponen yang ada pada alat peraga juga sudah sesuai dengan komponen yang ada pada mesin aslinya. Selain itu untuk segi desain alat peraga, menurut komentar dari responden menyatakan bahwa desain sudah baik dan sangat menarik, namun perlu dilakukan sedikit perbaikan pada gear penyalur tenaga dari motor ke poros alat peraga dimana masih terlihat oleng.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat peraga mesin jet *turbofan* CFM56-7B berhasil dibuat menggunakan *3D print Flashforge Creator Pro*.
2. Diketahui parameter terbaik dalam pembuatan produk dengan bahan PLA merk *esun* menggunakan mesin *3D print Flashforge Creator Pro* sesuai spesimen didapatkan data kekuatan luluh tertinggi pada kecepatan pencetakan 40 mm/s dengan suhu *nozzle* 225⁰C.
3. Telah dibuat sebuah alat peraga mesin jet *turbofan* CFM56-7B dengan skala 1:78 yang dapat menjelaskan kondisi mesin asli pada saat posisi *idle, take off, cruise, landing* yang ditunjukkan sesuai dengan RPM setelah di skala.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Setelah seluruh proses penelitian selesai dilakukan, peneliti memberikan beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Melakukan pemasangan gear penyalur tenaga dari motor ke poros alat peraga dengan baik sehingga gear berputar dengan sempurna.
2. Rangkaian elektrik alat peraga yang dibuat masih terdapat *delay* dalam memunculkan nilai RPM di lcd sehingga diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menghilangkan *delay* tersebut.
3. Dapat memunculkan alternatif baru untuk sistem penyalur tenaga dari motor dc ke poros alat peraga yang tidak bising atau tidak bersuara.

DAFTAR PUSTAKA

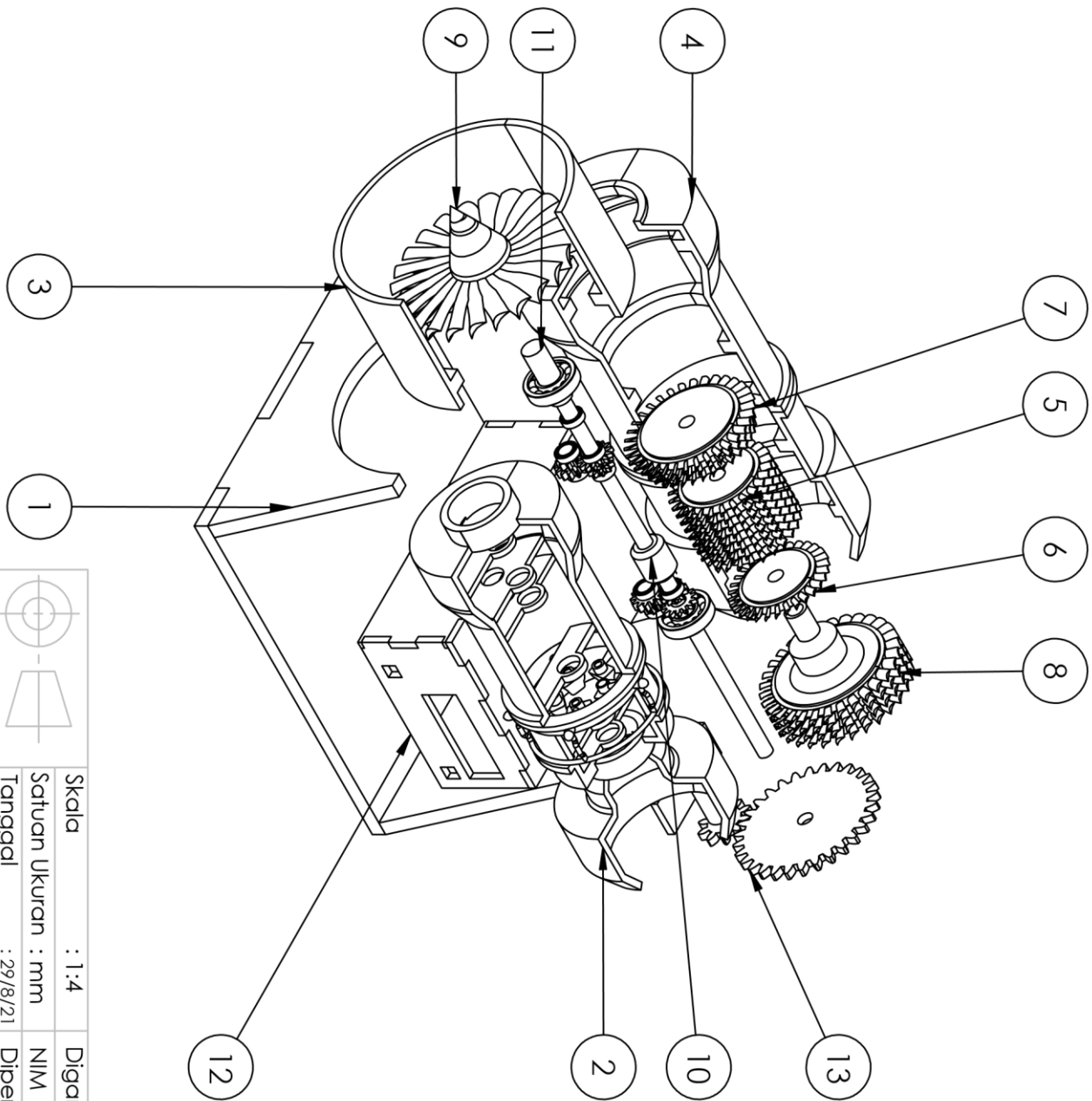
- ASTM International. (2000). *ASTM D 638 : Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. United State: ASTM International.
- Budiman, W., Anggono, J., & Tanoto, Y. (2016). PENGARUH ORIENTAS OBYEK HASIL FUSED DEPOSITION *MODELING* PADA WAKTU PROSES. *Jurnal Teknik Mesin, Vol. 16, No. 2*, 41-46.
- Carneiro, O., Silva, A., & Gomes, R. (2015). Fused Deposition *Modeling* with Polypropylene. *Materials and Design Journal*, 768-776.
- Farah, S., Anderson, D. G., & Langer a, R. (2016). Physical and mechanical *properties* of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews 107*, 1-26.
- Farzadi, A. (2015). Effect of *layer print* delay on mechanical *properties* and dimensional accuracy of 3D *printed* porous prototypes in bone tissue engineering. *Ceramic International 41*, 8320 – 8330.
- Guynn, M. D., Berton, J. J., Fisher, K. L., Haller, W. J., Tong, M. T., & Thurman, D. R. (2015). Refined Exploration of *Turbofan* Design Options for an Advanced Single-Aisle Transport. *NASA/TM–2011-216883*, 1-37.
- Hakim, R., Saputra, I., Utama, G. P., & Setyoadi, Y. (2019). PENGARUH TEMPERATUR *NOZZLE* DAN BASE PLATE PADA MATERIAL PLA TERHADAP NILAI MASA JENIS DAN KEKASARAN PERMUKAAN PRODUK PADA MESIN LEAPFROG CREATR 3D *PRINTER*. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA) Vol.1*, 1-9.
- Imbang Pambudi, A. (2017). ANALISIS PENGARUH INTERNAL GEOMETRI TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL POLYLACTIC ACID (PLA) DIPREPARASI MENGGUNAKAN 3D *PRINT*. 1-137.
- Jain, P., & Pa til, R. (2019). Design and Manufacturing of *Turbofan/Turbojet* Engine- A Review. *Fluid Mechanics and Mechanical Design*, 1-5.
- Lubis, S. (2016). *Pengaruh Orientasi Objek pada Proses 3D*. Jakarta: Universitas Tarumanegara.

- Melenka, G. W., B.K.O, C., Schofield, J., Dwason, M., & Carey, J. (2016). Evaluation and Prediction of the Tensile *Properties* of Continuous Fiber-Reinforced 3D Printed Structures. *Composites Structure* 153, 866-872.
- Pamasaria, H. A., Herianto, & Saputra, T. H. (2019). PENGARUH PARAMETER PROSES 3D PRINT TIPE FDM (FUSED DEPOSITION MODELING) TERHADAP KUALITAS HASIL PRODUK. *Seminar Nasional IENACO*, 1-7.
- Persada, T. C., Ginting, M., & Seprianto, D. (2020). PENGARUH PARAMETER PROSES 3D PRINTER TEKNOLOGI DIGITAL LIGHT PROCESSING TERHADAP GEOMETRIS POROS. *MACHINERY JURNAL TEKNOLOGI TERAPAN VOL.1 NO.1*, 1-7.
- Pratama, Y. B., Hasdiansyah, & Pristiansyah. (2021). Pengaruh Parameter Proses Slicing Software Terhadap Kekasaran Permukaan *Print Part* Filamen ST-PLA. *Jurnal Teknologi Manufaktur Vol. 13, No. 01*, 1-8.
- Rohadi, A. (2003). *Media Pembelajaran*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Setiawan, A. (2017). PENGARUH PARAMETER PROSES EKTRUSI 3D PRINTER TERHADAP SIFAT MEKANIS CETAK KOMPONEN BERBAHAN FILAMENT PLA (Poly Lactide Acid). *Jurnal Teknika STTKD Vol.4, No. 2*, 1-8.
- Simon R.G., B., Ian R., F., & Richard S, T. (2016). 3D Printed Polyurethane *honeycombs* for repeated tailored energy absorption. *Materials and Design Journal*, 172 – 183.
- Suzen, Z. S., Hasdiansah, & Yuliyanto. (2020). Pengaruh Tipe Infill Dan Temperatur *Nozzle* Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Print Filamen Pla+ Esun. *Jurnal Teknologi Manufaktur Vol. 12, No. 02*, 1-8.
- Yusmar, T., & Pakan, W. (2015). Pemilihan Tipe Pesawat Udara Berdasarkan Estimasi Biaya Operasional Untuk Pesawat Udara Jarak Menengah. 1-12.

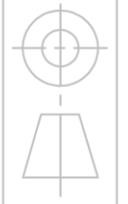
LAMPIRAN

No	Suhu Nozzle (°c)	Kece patan (mm/s)	Rata2 Panjang (mm)	Rata2 Lebar (mm)	Rata2 Tebal (mm)	Rata2 Ra Muka (µm)	Rata2 Ra Samping (µm)	Rata2 Kerataan Muka (mm)	Rata2 Kerataan Samping (mm)	Siku (mm)
1	205	40	-0,645	-0,16	-0,1	14,2	3,94	0,04	0,1	0,05
2	215	50	-0,62	-0,145	-0,08	10,585	2,685	0,03	0,1	0,05
3	225	60	-0,665	-0,165	-0,16	15,595	4,395	0,05	0,1	0,05

Data pengujian Geometri PLA
(Sumber: Herda Agus P, 2019)



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Penyangga		1
2	Cover Dalam		1
3	Cover Fan		1
4	Cover Luar		57
5	HPC		1
6	HPT		1
7	LPC		1
8	LPT		1
9	Fan		1
10	Ruang Pembakaran		1
11	Poros dan Gear		1
12	Kotak Rangkaian		1
13	Sistem Penggerak		1



Skala : 1:4
 Satuan Ukuran : mm
 Tanggal : 29/8/21

Digambar : Firman Yudha K
 NIM : 17525113
 Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

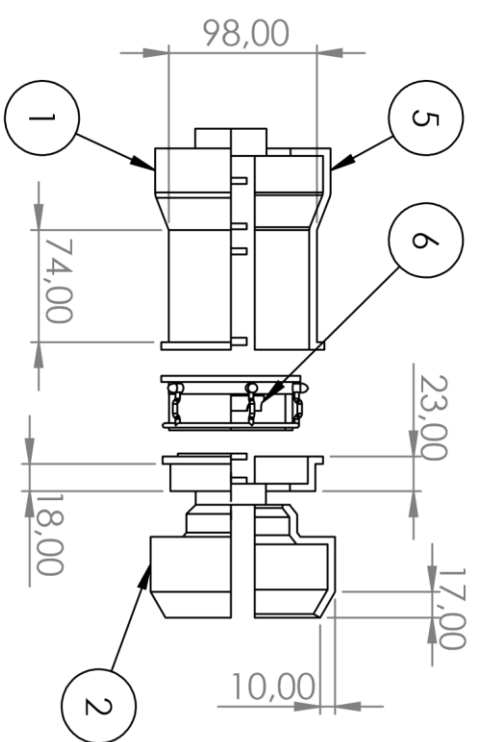
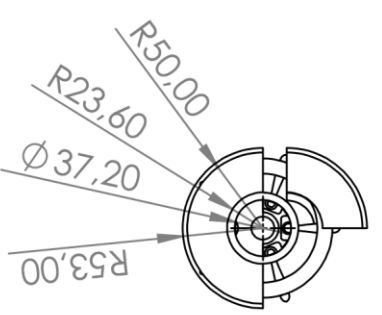
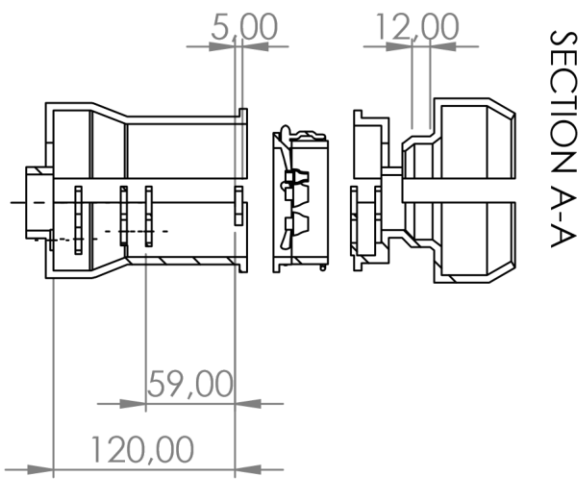
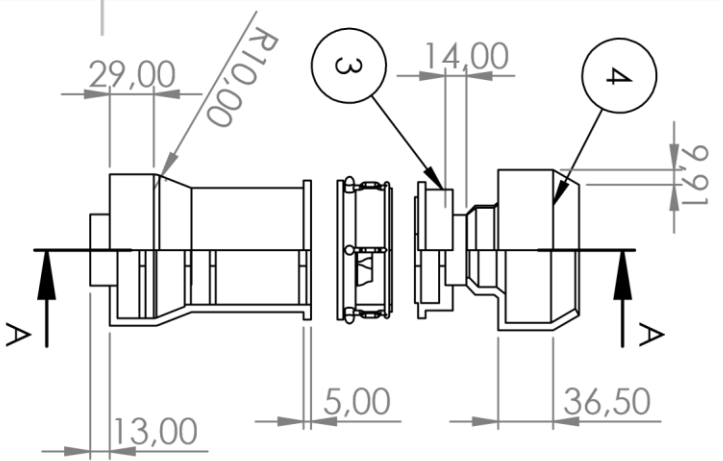
Keterangan:

Teknik Mesin FTI UII

Alat Peraga CFM56-7b

A4

6 5 4 3 2 1



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1		Cover dalam bawah depan	1
2		Cover dalam bawah belakang	1
3		Cover dalam atas Belakang 1	1
4		Cover dalam atas Belakang 2	1
5		Cover dalam atas depan	1
6		Jalur Bahan Bakar	1



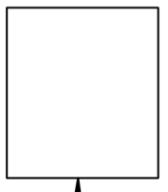
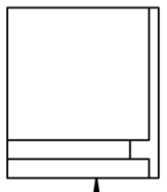
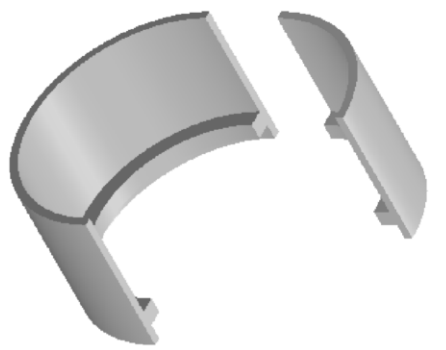
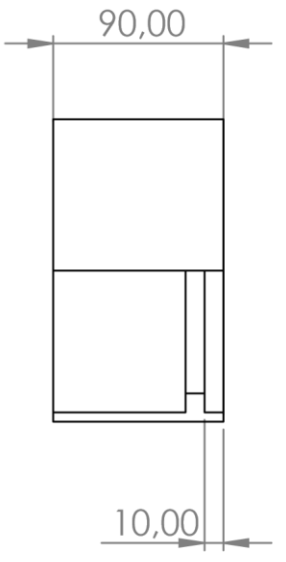
Skala : 1:4
 Satuan Ukuran : mm
 Tanggal : 29/8/21
 Digambar : Firman Yudha K
 NIM : 17525113
 Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

Keterangan:

Teknik Mesin FTI UII

Cover Dalam

A4



1

2

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Cover Fan Bawah		1
2	Cover Fan Atas		1

	Skala : 1:4 Satuan Ukuran : mm Tanggal : 29/8/21	Digambar : Firman Yudha K NIM : 17525113 Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang	Keterangan:
--	--	--	-------------

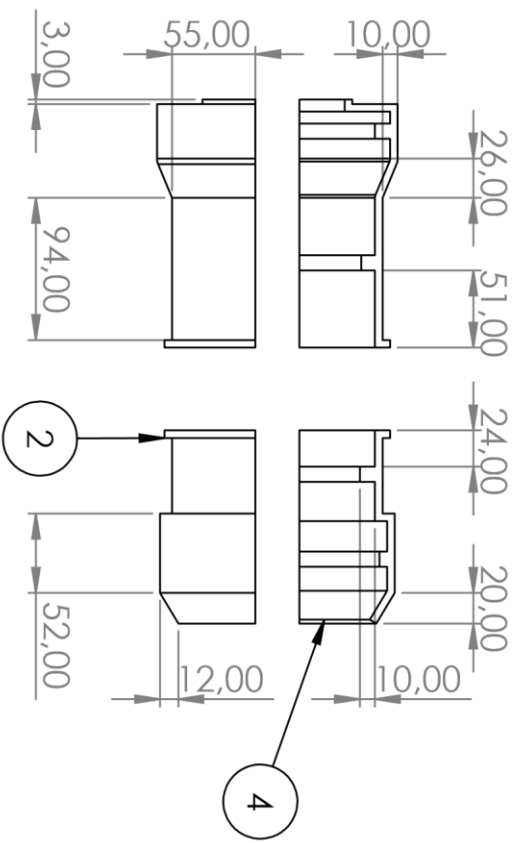
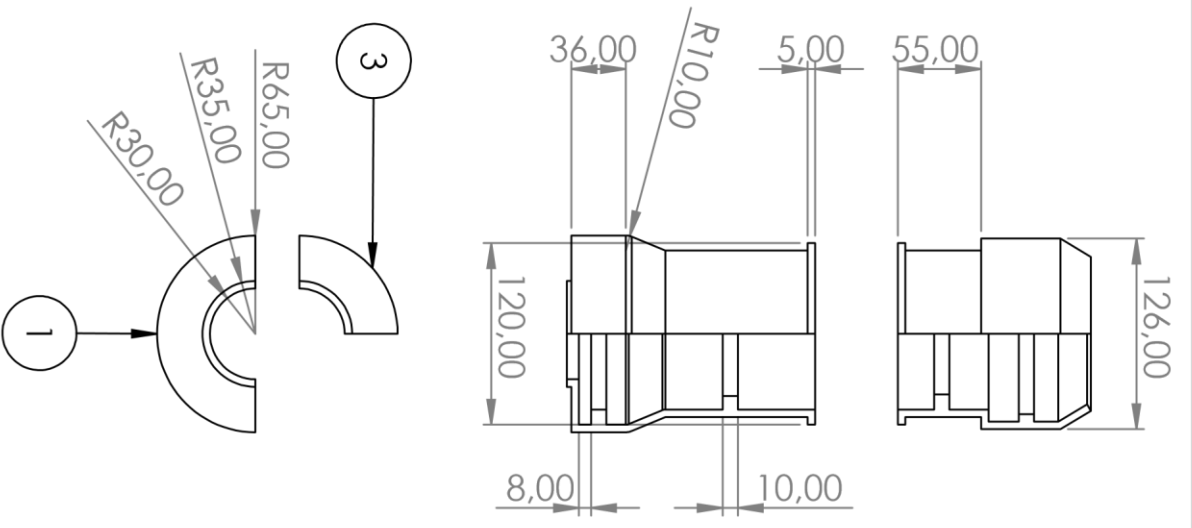
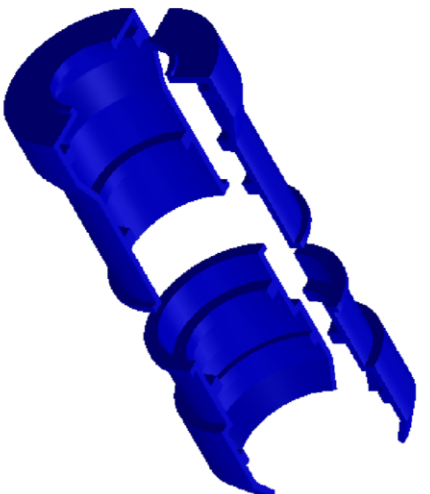
Teknik Mesin FTI UII

Cover Fan

A4

6 5 4 3 2 1

A B C D



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Cover Luar Bawah Depan		1
2	Cover Luar Bawah Belakang		1
3	Cover Luar Atas Depan		1
4	Cover Luar Atas Belakang		1



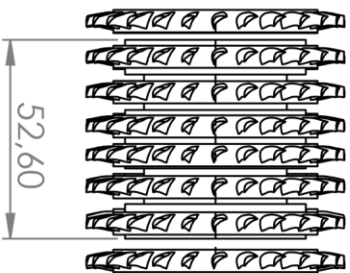
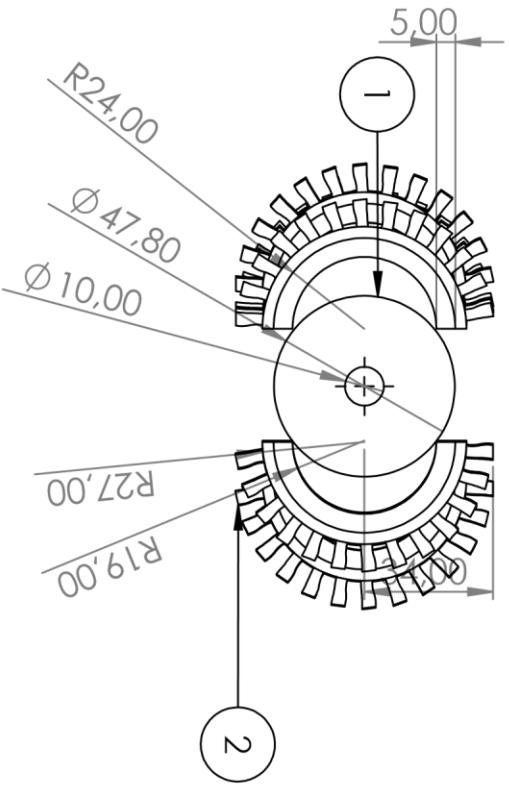
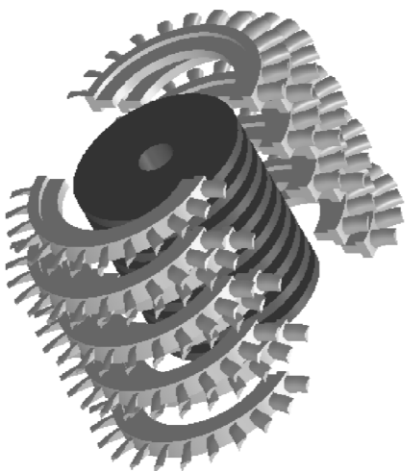
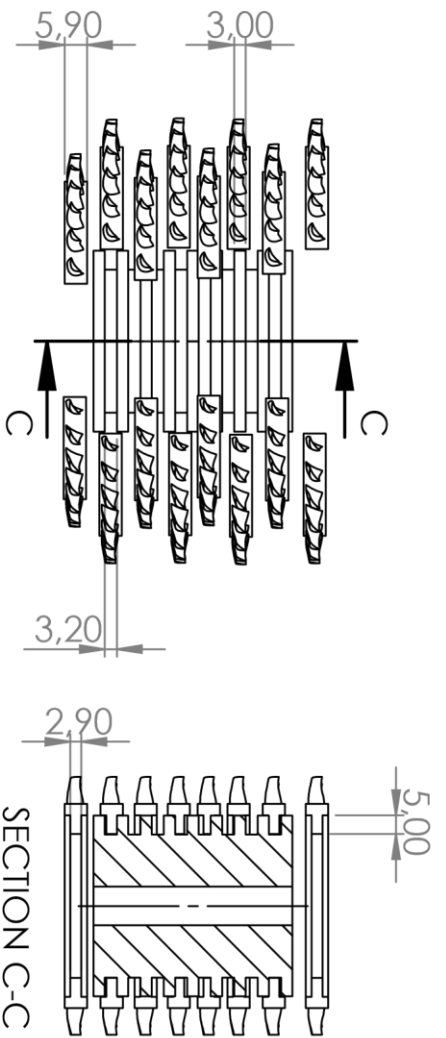
Skala : 1:4
 Satuan Ukuran : mm
 Tanggal : 29/8/21
 Digambar : Firman Yudha K
 NIM : 17525113
 Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

Teknik Mesin FTI Ull

Cover Luar

Keterangan:

A4



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Dudukan Kompresor Tekanan Tinggi		1
2	Baling Kompresor Tekanan Tinggi		16



Skala : 1:2
 Satuan Ukuran : mm
 Tanggal : 29/8/21

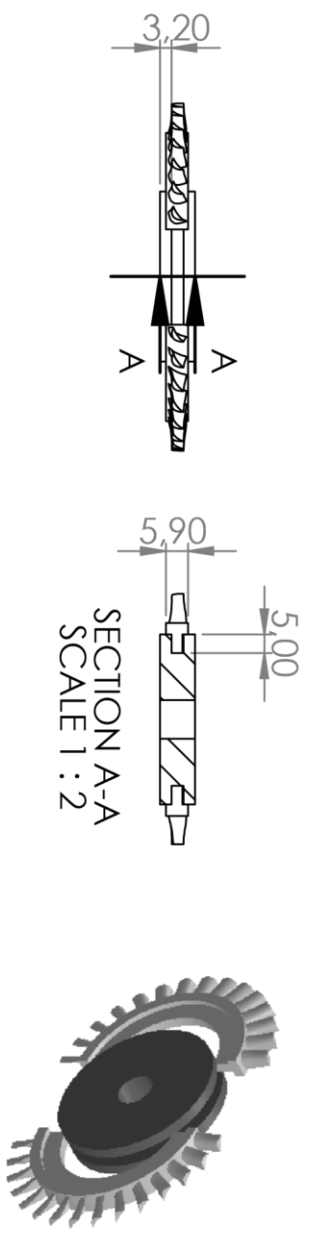
Digambar : Firman Yudha K
 NIM : 17525113
 Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

Keterangan:

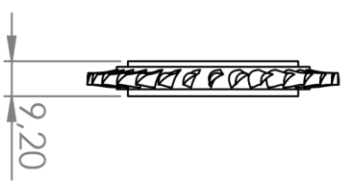
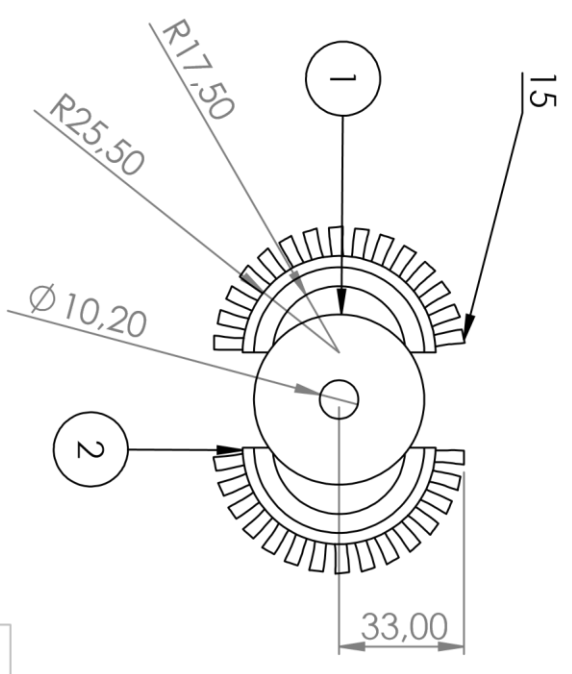
Teknik Mesin FTI UII

Kompresor Tekanan Tinggi

A4



SECTION A-A
SCALE 1 : 2



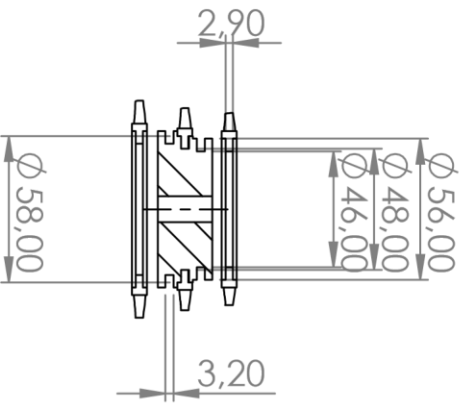
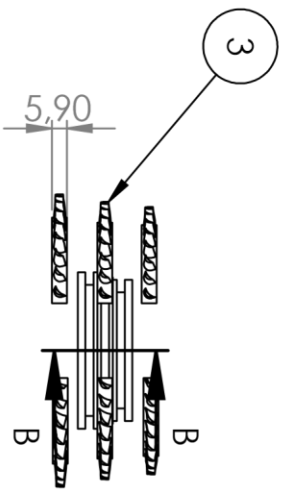
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Dudukan Turbin Tekanan Tinggi		1
2	Baling Turbin Tekanan Tinggi		2

	Skala : 1:2	Digambar : Firman Yudha K	Keterangan:
	Satuan Ukuran : mm	NIM : 17525113	
Tanggal : 29/8/21	Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang		

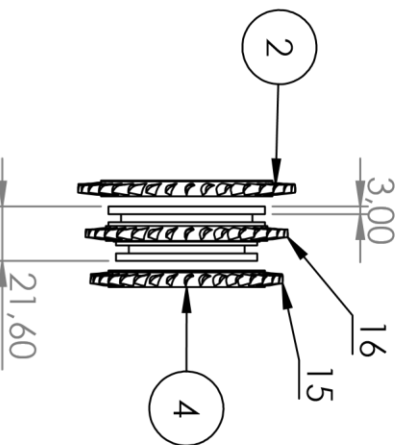
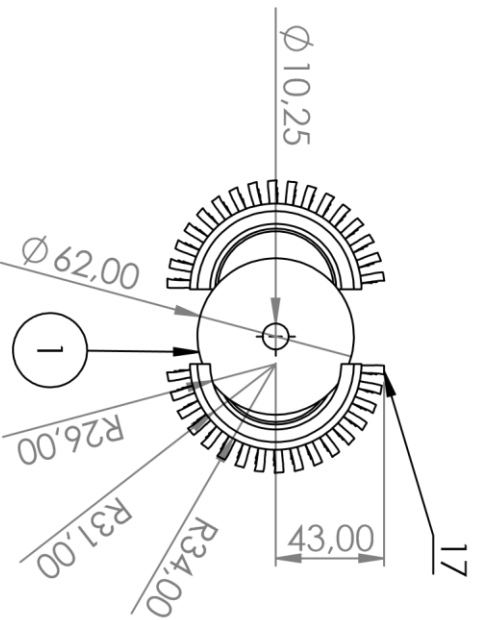
Teknik Mesin FTI UII

Turbin Tekanan Tinggi

A4



SECTION B-B
SCALE 1 : 3



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Dudukan Kompresor Rendah		1
2	Kompresor Rendah Depan		2
3	Kompresor Rendah Tengah		2
4	Kompresor Rendah Belakang		2



Skala : 1:3
Satuan Ukuran : mm
Tanggal : 29/8/21

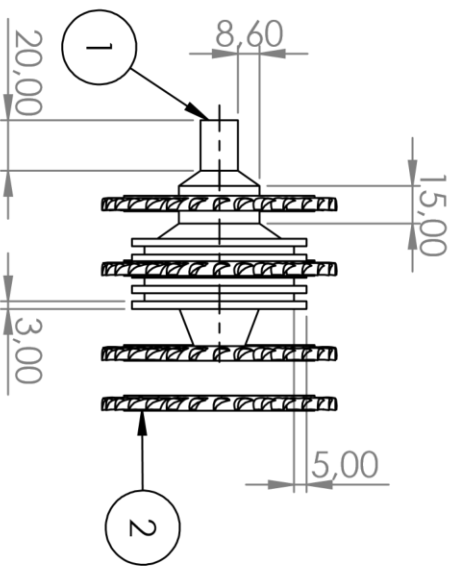
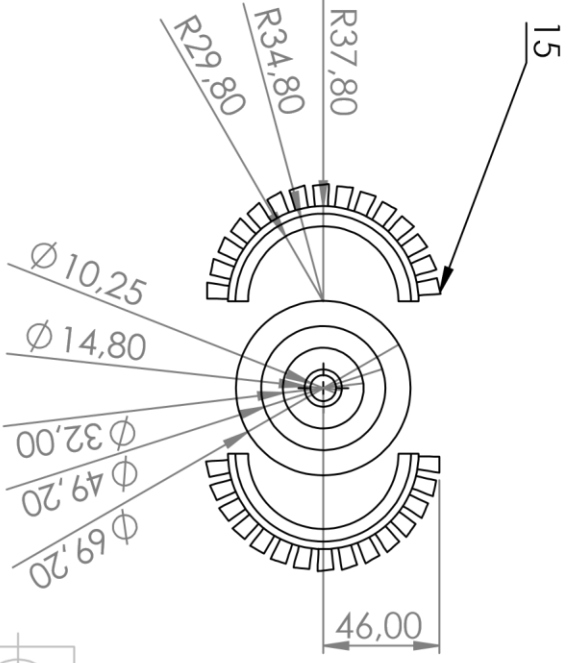
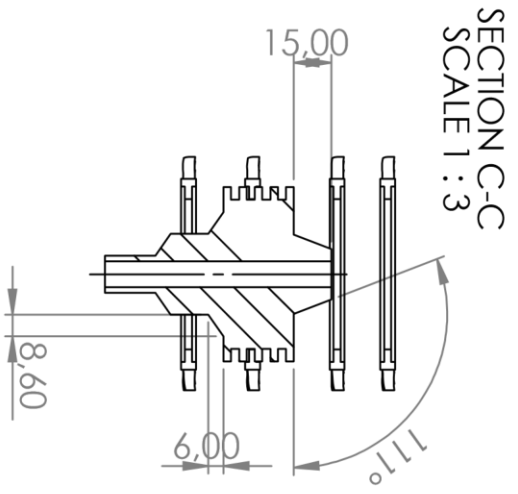
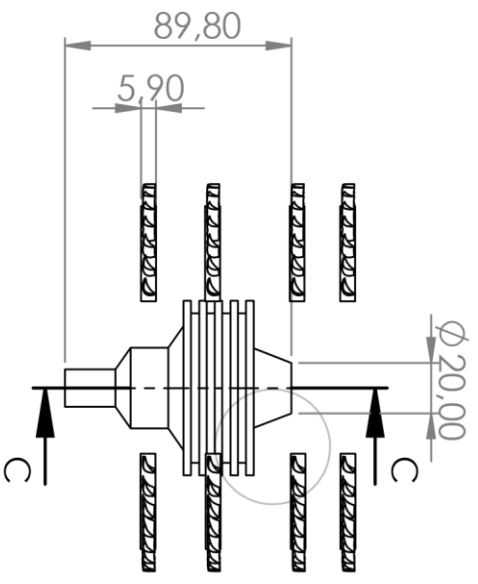
Digambar : Firman Yudha K
NIM : 17525113
Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

Keterangan:

Teknik Mesin FTI UII

Kompresor Tekanan Rendah

A4



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Dudukan Turbin Rendah		1
2	Baling Turbin Rendah		8



Skala : 1:3
 Satuan Ukuran : mm
 Tanggal : 29/8/21

Digambar : Firman Yudha K
 NIM : 17525113

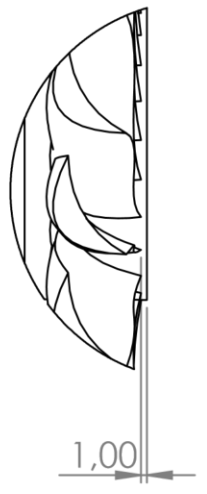
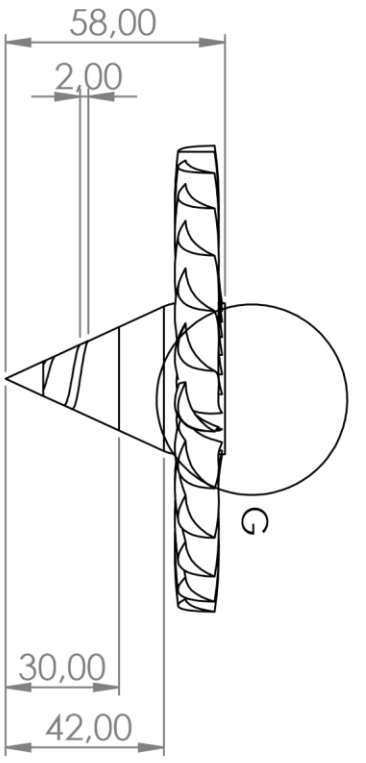
Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

Keterangan:

Teknik Mesin FTI UII

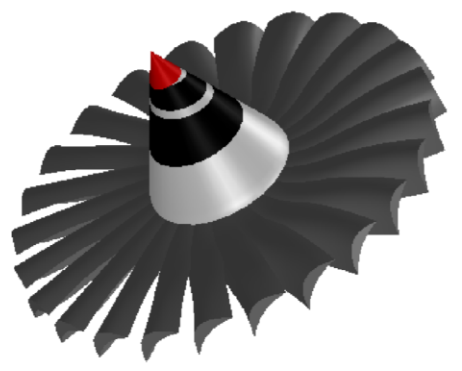
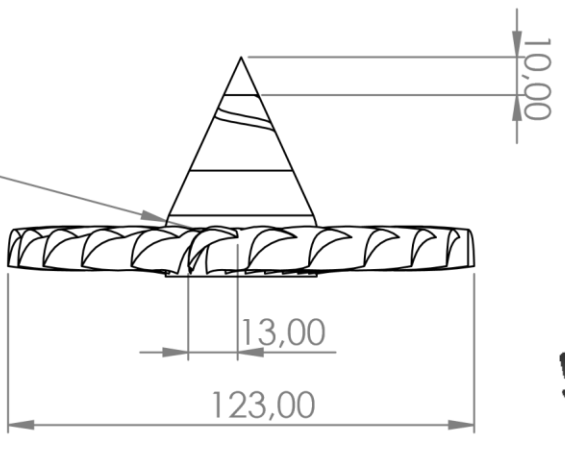
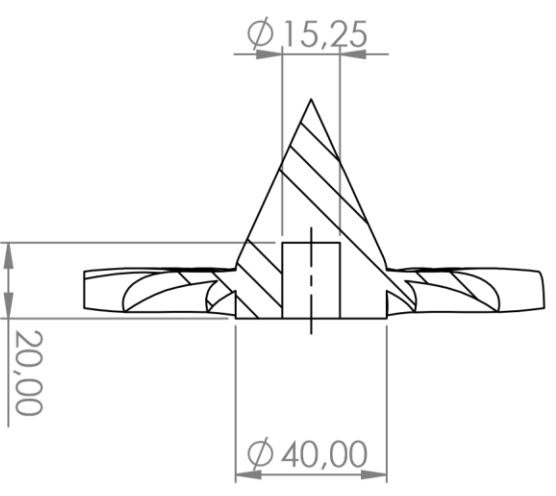
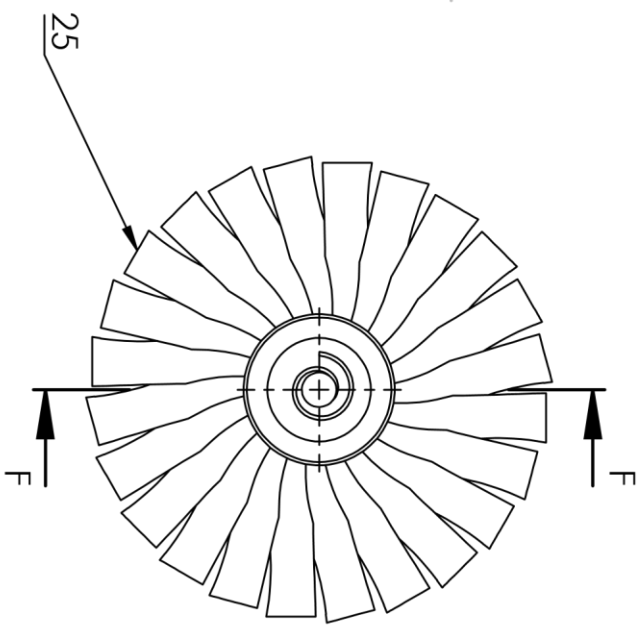
Turbin Tekanan Rendah

A4



DETAIL G
SCALE 1 : 1

SECTION F-F



Skala	: 1:2	Digambar	: Firman Yudha K
Satuan Ukuran	: mm	NIM	: 17525113
Tanggal	: 29/8/21	Diperiksa	: Faisal Arif Nurgesang

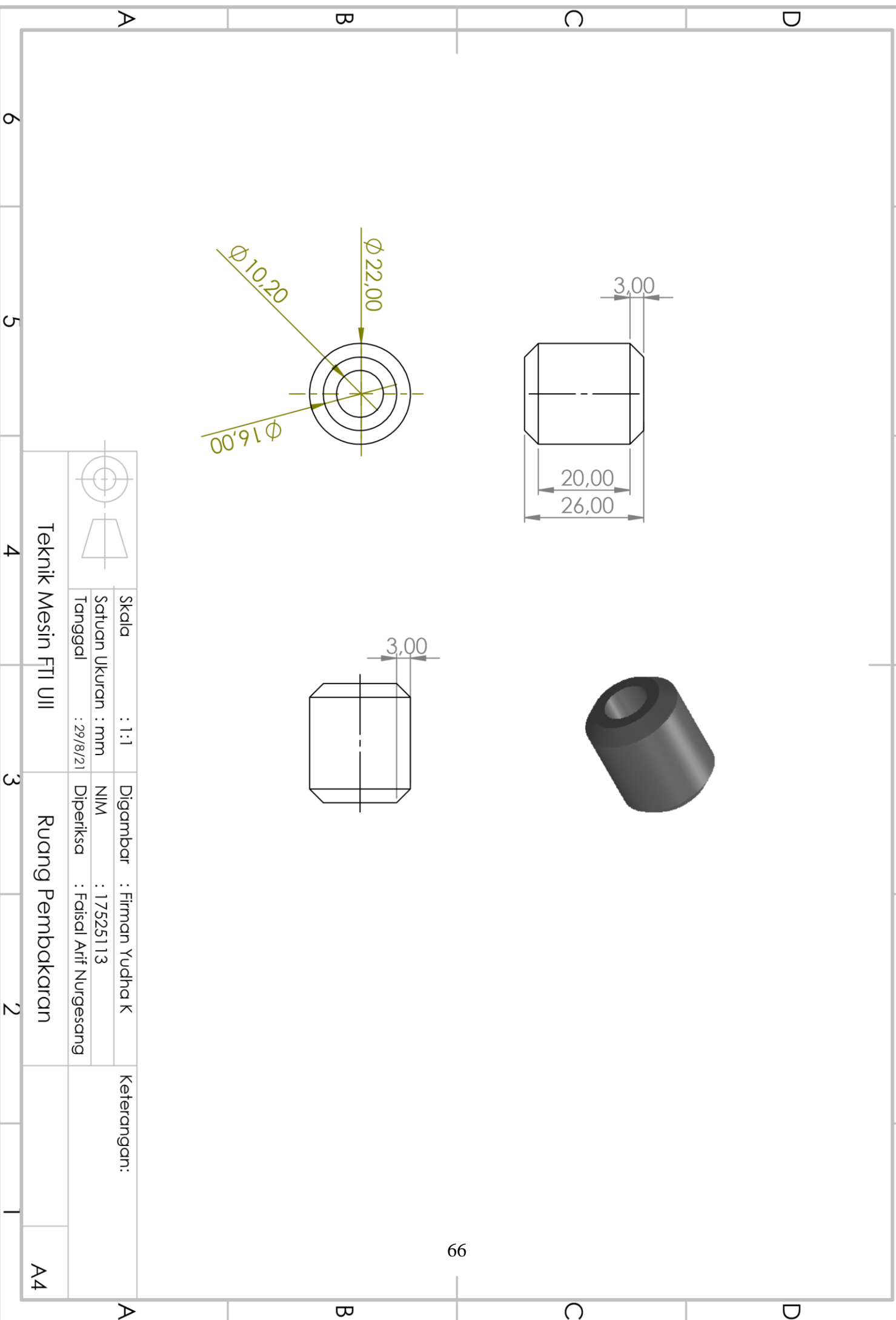
Keterangan:

Teknik Mesin FTI UII

Kipas (*Fan*)

6 5 4 3 2 1

A B C D

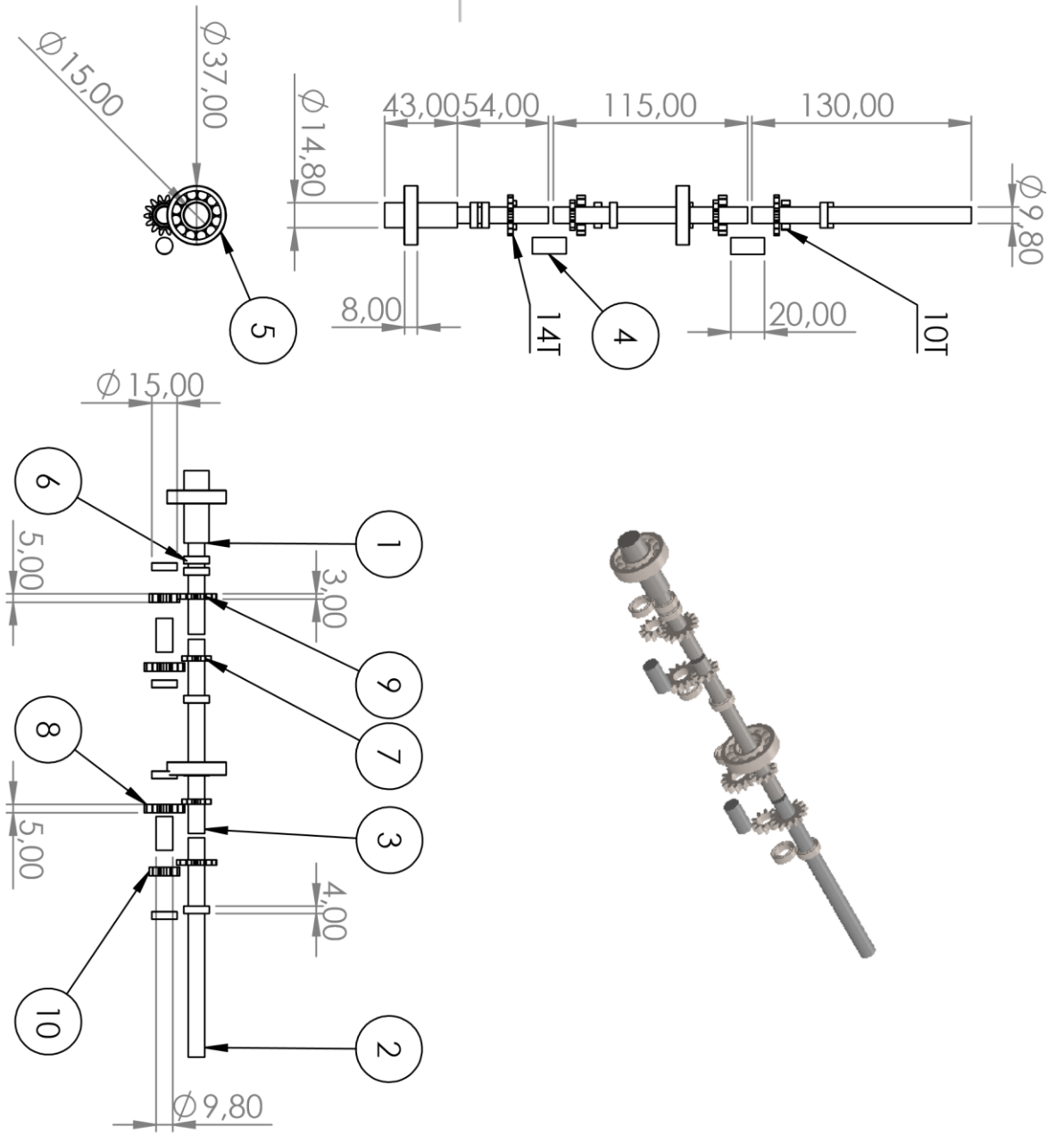


Skala	: 1:1	Digambar	: Firman Yudha K
Satuan Ukuran	: mm	NIM	: 17525113
Tanggal	: 29/8/21	Diperiksa	: Faisal Arif Nurgesang

Teknik Mesin FTI UII

Ruang Pembakaran

Keterangan:



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Poros fan ke LPC		1
2	Poros LPT		1
3	Poros HPC ke HPT		1
4	Poros sambungan		2
5	ISO 15 ABB - 8215 - Full,DE,NC,Full_68		2
6	ISO 15 ABB - 3710 - 20,SI,NC,20_68		9
7	ISO - Spur gear 1.5M 10T 20PA 3FW --- S10A75H50L10.0N		2
8	ISO - Spur gear 1.5M 14T 20PA 5FW --- S14A75H50L10.0N		2
9	ISO - Spur gear 1.5M 14T 20PA 3FW --- S14A75H50L10.0N		2
10	ISO - Spur gear 1.5M 10T 20PA 5FW --- S10A75H50L10.0N		2



Skala : 1:4
 Satuan Ukuran : mm
 Tanggal : 29/8/21

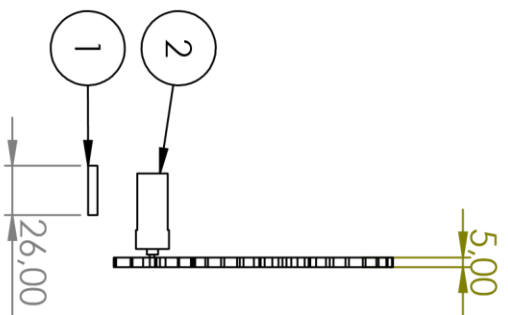
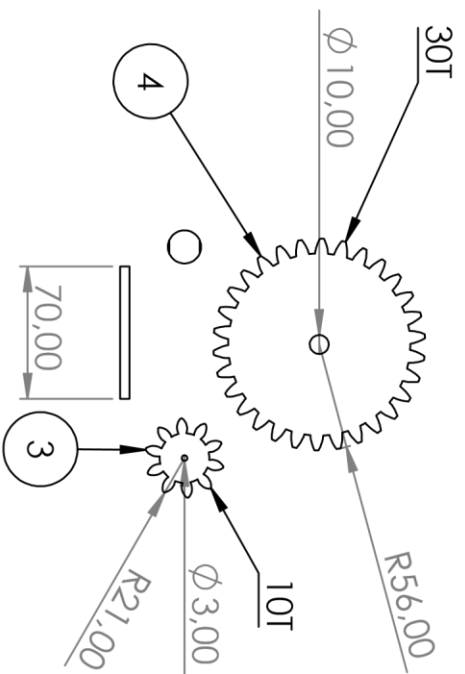
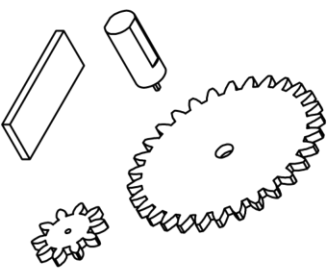
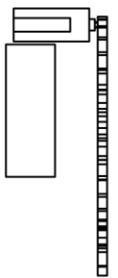
Digambar : Firman Yudha K
 NIM : 17525113
 Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

Keterangan:

Teknik Mesin FTI UII

Poros, Gear dan bearing

A4



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Dudukan Motor		1
2	Motor DC 500 rpm		1
3	ISO - Spur gear 3.5M 10T 20PA 5FW --- S10A75H50L3.0N		1
4	ISO - Spur gear 3.5M 30T 20PA 5FW --- S30A75H50L10.0N		1



Skala : 1:4
 Satuan Ukuran : mm
 Tanggal : 29/8/21

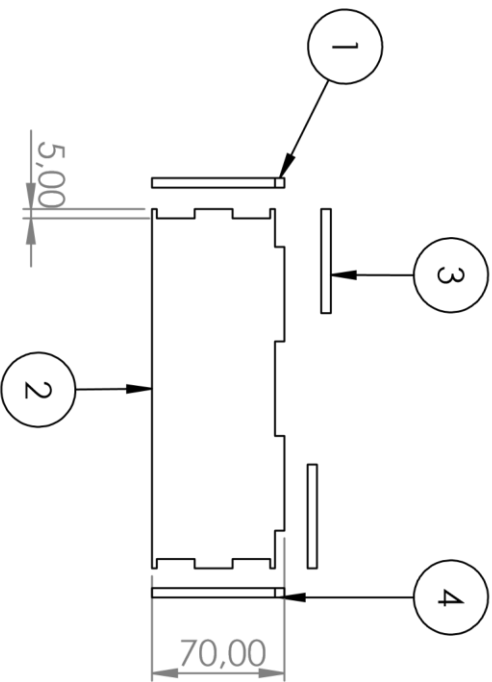
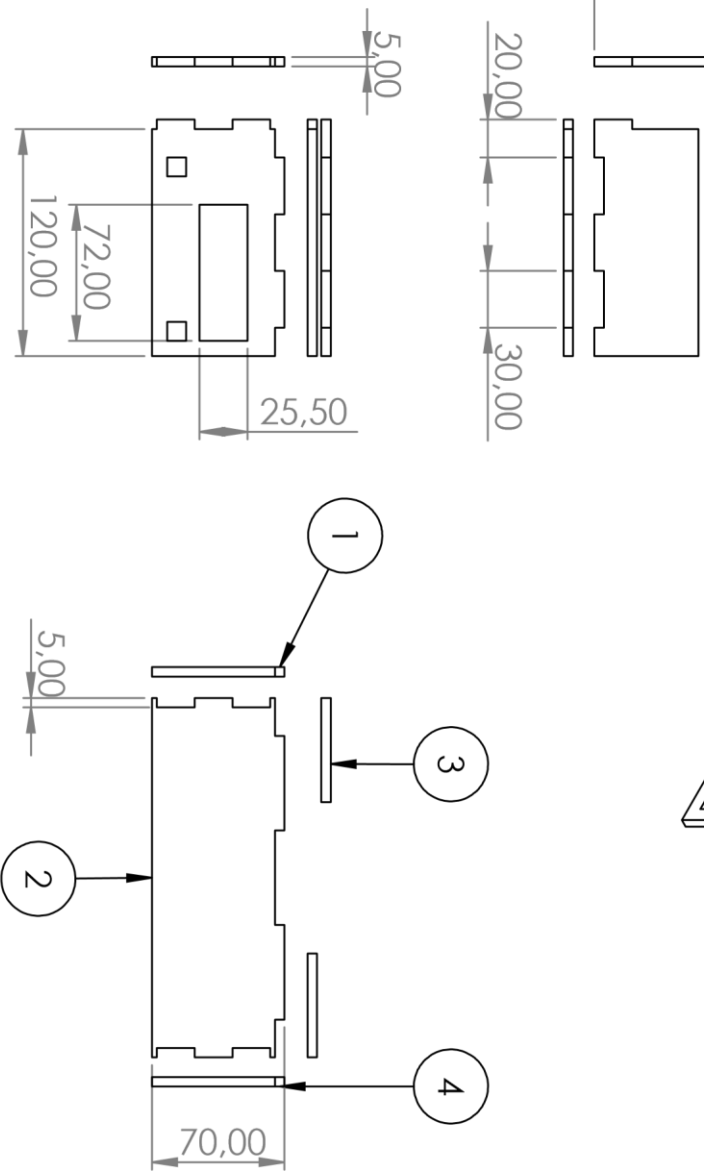
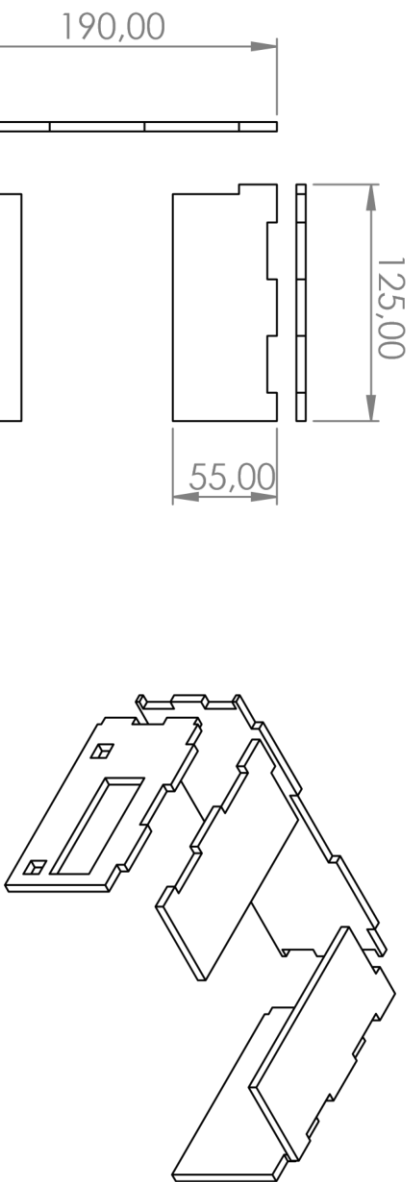
Digambar : Firman Yudha K
 NIM : 17525113
 Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

Keterangan:

Teknik Mesin FTI Ull

Sistem Penggerak

A4



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Depan		1
2	Samping		1
3	Atas		2
4	Belakang		1



Skala : 1:4
 Satuan Ukuran : mm
 Tanggal : 29/8/21

Digambar : Firman Yudha K
 NIM : 17525113
 Diperiksa : Faisal Arif Nurgesang

Keterangan:

Teknik Mesin FTI UII

Kotak Rangkaian

A4

```

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
int LED1 = 2;
int LED2 = 4;
int LED3 = 7;
int LED4 = 8;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(9,OUTPUT);
  lcd.begin();
  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);
}
void loop()
{
  int val = analogRead(A0);
  int pwm = map(val, 0, 1023, 0, 255);
  analogWrite(9,pwm);
  analogWrite(9,pwm);
  int rpm = (pwm*1.575);
  //Convert pwm dari 0-255
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("RPM:");
  lcd.print(rpm);
  lcd.print(" ");
  delay(100);
  if ( pwm > 15 && pwm <= 64 ){
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(LED1, LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(LED2, LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(LED3, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(LED3, LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(LED4, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(LED4, LOW);
    delay(1000);
  }
  if ( pwm > 64 && pwm <= 127){
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    delay(750);
  }
}

```

```

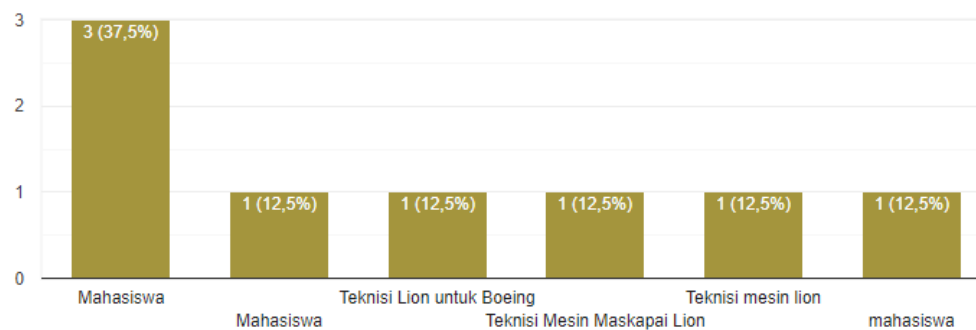
delay(750);
digitalWrite(LED1, LOW);
delay(750);
digitalWrite(LED2, HIGH);
delay(750);
digitalWrite(LED2, LOW);
delay(750);
digitalWrite(LED3, HIGH);
delay(750);
digitalWrite(LED3, LOW);
delay(750);
digitalWrite(LED4, HIGH);
delay(750);
digitalWrite(LED4, LOW);
}
if ( pwm > 127 && pwm <= 191){
digitalWrite(LED1, 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(LED2, LOW);
delay(500);
digitalWrite(LED3, HIGH);
delay(500);
digitalWrite(LED3, LOW);
delay(500);
digitalWrite(LED4, HIGH);
delay(500);
digitalWrite(LED4, LOW);
}
if ( pwm > 191 && 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);
}
}
}

```

Pekerjaan

8 jawaban



Bagaimana komentar anda terkait pemahaman anda mengenai cara kerja mesin jet turbofan CFM56-7B?

8 jawaban

Cukup paham

sedikit paham mengenai cara kerja mesin tersebut, seperti pada mesin pesawat umumnya

setelah mendengarkan penjelasan yg disampaikan sudah cukup paham

memahami dengan betul terkait cara kerja dari mesin tersebut

saya lumayan paham dengan cara kerja yang ada karena terkait kerjaan yang saya lakukan

Saya memahami cara kerja mesin sesuai dengan pekerjaan yang saya lakukan

Setelah dijelaskan saya memahami cara kerja mesin tersebut

Cukup paham dengan penjelasan yang diberikan

Bagaimana komentar anda terkait komponen yang ada pada alat peraga mesin jet turbofan CFM56-7B?

8 jawaban

Sudah sesuai, cuma lampu indikatornya bagusnya di casing, bukan di alatnya

dari komponen yg dibuat dengan gambar desain mesin sudah sesuai

sudah cukup sesuai

komponen yang ada sudah mempresentasikan komponen utama yang ada

sudah sesuai dengan masukan saya sebelumnya

Komponen utama sudah sesuai dengan mesin yang ada

Sudah sesuai

Sudah mewakili karena jumlahnya sama dengan mesin asli

Bagaimana komentar anda terkait kesesuaian cara kerja alat peraga mesin jet turbofan CFM56-7B yang dibuat dengan cara kerja mesin aslinya?

8 jawaban

Sudah sesuaj

cara kerja alat peraga sudah mewakili mesin asli

dari penjelasan yang telah disampaikan cukup sesuai

secara umum sudah menggambarkan cara kerja mesin tersebut

cara kerja sudah sesuai dengan mesin yang ada

Cara kerja alat peraga sudah cukup sesuai dengan mesin aslinya

Berdasarkan penjelasan dan video alat peraga menurut saya sudah sesuai

Sudah sesuai

Bagaimana komentar anda terkait ketertarikan terhadap desain alat peraga yang telah dibuat?

8 jawaban

Mantapp slurr

alat peraga memiliki nilai desain yang baik, dapat menggambarkan cara kerja, komponen dgn baik

alat peraga cukup menarik karena dapat mengedukasi secara umum cara kerja mesin jet yg aslik

lumayan menarik karena selain alat mudah digunakan desain juga menarik

desain sudah bagus namun untuk elektrik agak berantakan

Desain menarik dan mudah digunakan namun kabel perlu dirapikan

Desain menarik namun gear penggerak agak ngobeng

Desain sangat menarik dan bagus