

**PEMBUATAN PRODUK INOVATIF *FRAME HEAD UNIT*
BERBASIS *3D PRINTING***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Efriansyah Ilham Arief
No. Mahasiswa : 19525043
NIRM : 1901280046

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PEMBUATAN PRODUK INOVATIF *FRAME HUD* BERBASIS
3D PRINTING**

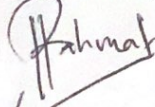
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Efriansyah Ilham Arief
No. Mahasiswa : 19525043
NIRM : 1901280046

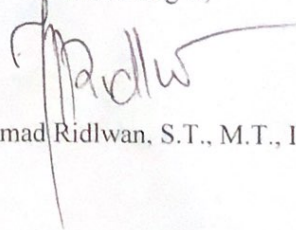
Yogyakarta, 3 Maret 2024

Pembimbing I,



Rahmat Riza, S.T., M.Sc.ME.

Pembimbing II,



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PEMBUATAN PRODUK INOVATIF *FRAME HEAD UNIT* BERBASIS 3D *PRINTING*

TUGAS AKHIR

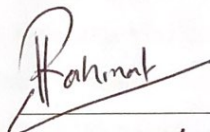
Disusun Oleh :

Nama : Efriansyah Ilham Arief
No. Mahasiswa : 19525043
NIRM : 1901280046

Tim Penguji

Rahmat Riza, S.T., M.Sc.ME.

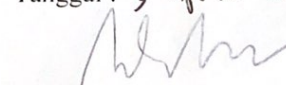
Ketua



Tanggal : 3 April 2024

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

Anggota I



Tanggal : 1/4/24

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

Anggota II



Tanggal : 2/4/2024

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN NASKAH

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Efriansyah Ilham Arief

NIM : 19525043

Prodi : Teknik Mesin FTI UII

Menyatakan bahwa naskah skripsi ini merupakan naskah asli, karya sendiri, belum pernah dipublikasikan, dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi. Apabila di kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar, maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi sesuai aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 3 April 2024


Efriansyah Ilham Arief

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur dan dengan diselesaikan nya laporan tugas akhir ini penulis mempersembahkan kepada:

1. Kedua orang tua penulis, yang selalu mendoakan penulis untuk dapat menyelesaikan kuliah di waktu yang tepat.
2. Keluarga besar penulis, yang turut membantu dalam segala bentuk, agar penulis dapat menyelesaikan perkuliahan.
3. Dosen pembimbing satu dan dua penulis, yang selalu sabar dalam membimbing penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
4. Teman-teman barista Sebelas Monjali 2020-2024, yang sudah menemani penulis dari awal kuliah sampai akhir. Terimakasih sudah memberi penulis asupan kopi maupun tempat istirahat semasa kuliah.
5. Teman-teman Teknik Geologi UGM, yang sudah senantiasa menemani penulis maupun menghabiskan waktu bersama di Sebelas Monjali.
6. Teman-teman Teknik Mesin UII, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan perkuliahan sejak awal kuliah hingga sekarang.

HALAMAN MOTTO

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih, Maha Penyayang.

(QS. Al-Fatihah Ayat 1)

Tabrak prihal tak mungkin, abaikan mustahil

(Morfem)

Semua ada akhirnya

(Kelompok Penerbang Roket)

Jangan pernah mudah tersindir, nanti engkau akan tersingkir

(The Adams)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMAKASIH

Puji Syukur kepada kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala Rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pembuatan Produk Inovatif *frame HEAD UNIT* Berbasis 3D Printing”. Tugas Akhir ini sebagai syarat untuk meraih gelar sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwasanya tanpa adanya bantuan semua pihak penulis tidak akan menyelesaikan tugas akhir ini. Dengan hormat dan terima kasih bagi semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan moral dan materi dalam pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir. Ucapan terimakasih ini disampaikan kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan ridhonya kepada hambanya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua saya Bapak Efriel Muslim dan Ibu Aryani yang selalu mendoakan memberikan dukungan baik moral maupun materi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Keluarga penulis yang telah memberikan semangat moral maupun materi dalam pengerjaan Tugas Akhir
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo M.T. selaku dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Rahmat Riza, S.T., M.Sc.ME. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, nasihat serta arahan sebelum maupun hingga Tugas akhir ini selesai dengan baik.
7. Staff laboratorium yang selalu membantu penulis dalam pelaksanaan Tugas Akhir maupun dalam proses penyusunan laporan.
8. Rekan-rekan Teknik Mesin angkatan 2019, penulis sangat bersyukur mengenal kalian.

Penulis menyadari bahwa dalam perjalanan dan pengerjaan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, 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.

Yogyakarta, 3 Maret 2024

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to read 'Efriansyah'.

Efriansyah Ilham Arief

ABSTRAK

Variasi merupakan salah satu *trend* yang digemari pemilik kendaraan di seluruh dunia. Salah satu tujuan variasi adalah menampilkan personalisasi pemilik kendaraan dalam mengekspresikan dirinya pada kendaraan mereka. Diantara variasi tersebut, modifikasi *frame head unit* merupakan salah satu komponen kendaraan yang menarik untuk dilakukan. Hal ini disebabkan komponen ini selalu terlihat oleh pengendara dan penumpang. Hal ini ditunjang dengan perkembangan *3D printing* atau *additive manufacturing* yang memungkinkan membuat barang dengan bentuk kompleks dan spesifik. Perkembangan teknologi ini membuat proses manufaktur dengan menggunakan teknik *3D printing* akan lebih mudah dalam membuat variasi. Penelitian ini menggunakan *3D printing* dengan volume pembangunan 15 mm x 20 mm untuk membuat kembali *head unit* mobil yang telah di modifikasi dengan sentuhan personalisasi sesuai selera. Untuk mendapatkan bentuk dari *frame head unit* dengan dimensi 15 mm x 27 mm maka digunakan metode *reverse engineering* pada penelitian ini. Hal ini menyebabkan diperlukanya sambungan pada purwarupa yang dibuat. Purwarupa akan dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian kiri dan kanan yang akan menyambung menggunakan metode *puzzle* yang terdapat mekanisme *stopper* yang membuat dua bagian tersebut mengunci apabila dipasang. Pada bagian depan purwarupa diberikan motif batik *kawung* dan motif toga UII yang memberikan sentuhan personalisasi. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan proses *reverse engineering* yang dikombinasikan dengan teknik *3D printing* mampu membuat dan memodifikasi komponen kendaraan *frame head unit* dengan memberikan sentuhan personal.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMAKASIH.....	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR NOTASI	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	4
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 <i>Reverse Engineering</i>	7
2.2.2 <i>Computer Aided Design</i>	8

2.2.3	3D Printing Slicer.....	10
2.2.4	Fused Filament Fabrication 3D Printing.....	11
2.2.5	Sistem Locking	14
2.2.6	Computer Aided Engineering	15
2.2.7	Sifat-sifat mekanis material	16
2.2.8	Pengujian <i>bending</i>	16
2.2.9	ASTM D790	17
BAB 3 METODE PENELITIAN		18
3.1	Alur Penelitian	18
3.2	Peralatan dan Bahan.....	20
3.3	Kriteria desain.....	20
3.4	Perancangan desain.....	21
3.4.1	Desain <i>master</i>	21
3.4.2	Desain <i>locking</i>	21
3.4.3	Desain <i>plug</i>	22
3.4.4	Desain motif	22
3.5	Pembuatan purwarupa.....	22
3.5.1	Tahap <i>slicing</i>	22
3.5.2	Tahap fabrikasi	23
3.6	Pengujian	23
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		24
4.1	Perancangan desain.....	24
4.1.1	Desain <i>master</i>	24
4.1.2	Desain <i>locking</i>	27
4.1.3	Desain <i>plug</i>	29
4.1.4	Desain motif	30

4.2	Tahap <i>slicing</i>	31
4.3	Hasil Perancangan.....	34
4.3.1	<i>Master</i>	34
4.3.2	<i>Locking</i>	35
4.3.3	<i>Plug</i>	39
4.3.4	Motif	40
4.4	Hasil Pengujian	43
4.5	Pengujian <i>Bending</i>	44
4.5.1	Skema <i>failure</i>	44
4.5.2	Pembuatan spesimen uji	46
4.5.3	Hasil Pengujian.....	48
4.5.4	Analisis	50
BAB 5 PENUTUP		51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 4-1 Parameter <i>slicing</i>	32
Tabel 4-2 Hasil Pengujian Bending	48
Tabel 4-3 Hasil perhitungan modulus bending.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 Proses Reverse Engineering	8
Gambar 2- 2 Proses modeling CAD 3D	9
Gambar 2- 3 Peran <i>slicer</i> pada proses 3D <i>print</i>	10
Gambar 2- 4 Perbandingan harga dengan jumlah produk dibuat	11
Gambar 2- 5 Perbandingan harga dengan jumlah produk dibuat	12
Gambar 2- 6 Hubungan parameter dengan hasil <i>print</i>	13
Gambar 2- 7 Snap fit joint	14
Gambar 2- 8 puzzle joint	15
Gambar 2- 9 Uji bending tiga titik	16
Gambar 2- 10 Spesimen ASTM D970	17
Gambar 4- 1 Desain sketsa master	24
Gambar 4- 2 Desain awal <i>master</i>	25
Gambar 4- 3 Desain awal <i>master</i> tampak belakang	25
Gambar 4- 4 Desain awal <i>master</i> kanan.....	26
Gambar 4- 5 Desain awal <i>master</i> kiri.....	26
Gambar 4- 6 Desain <i>snap fit male</i>	27
Gambar 4- 7 Desain <i>snap-fit female</i>	27
Gambar 4- 8 Desain <i>puzzle male</i>	28
Gambar 4- 9 Desain <i>puzzle female</i>	28
Gambar 4- 10 Desain <i>plug</i> pada <i>master</i> kanan.....	29
Gambar 4- 11 Desain <i>plug</i> pada <i>master</i> kiri.....	29
Gambar 4- 12 Desain motif <i>kawung</i>	30
Gambar 4- 13 Desain motif Universitas Islam Indonesia	31
Gambar 4- 14 Proses <i>slicing master</i> kanan	33
Gambar 4- 15 Proses <i>slicing master</i> kiri	33
Gambar 4- 16 Percobaan <i>master</i> kanan pertama	34
Gambar 4- 17 Percobaan <i>master</i> kiri pertama	35
Gambar 4- 18 Hasil percobaan <i>locking snap fit</i>	36
Gambar 4- 19 Tahap <i>slicing locking puzzle</i>	36

Gambar 4- 20 Percobaan <i>locking puzzle</i>	37
Gambar 4- 21 Hasil percobaan <i>locking puzzle</i> 1	37
Gambar 4- 22 Hasil percobaan <i>locking puzzle</i> 2	38
Gambar 4- 23 Hasil percobaan <i>locking puzzle</i> 3	38
Gambar 4- 24 Hasil percobaan <i>locking puzzle</i> 4	39
Gambar 4- 25 Hasil percobaan Purwarupa kiri dan kanan	39
Gambar 4- 26 Hasil Purwarupa saat digabungkan	40
Gambar 4- 27 Hasil motif batik <i>kawung</i> kanan(a) dan kiri (b)	41
Gambar 4- 28 Hasil motif UII kanan(a) dan kiri(b)	42
Gambar 4- 29 Hasil pemasangan pada mobil.....	43
Gambar 4- 30 Skenario kegagalan <i>locking</i> sebelum ditekuk	44
Gambar 4- 31 Skenario kegagalan <i>locking</i> sesudah ditekuk	44
Gambar 4- 32 Skenario kegagalan impak	45
Gambar 4- 33 Skenario kegagalan tarik	46
Gambar 4- 34 Desain spesimen uji.....	47
Gambar 4- 35 Spesimen uji	47
Gambar 4- 36 Spesimen setelah mengalami pengujian.....	49

DAFTAR NOTASI

2D	= <i>Two-Dimension</i>
3D	= <i>Three Dimension</i>
3DF	= <i>Digital Design Digital Fabrication</i>
3DP	= <i>Three Dimension print</i>
ABS	= <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
AM	= <i>Additive Manufacturing</i>
AMF	= <i>Additive Manufacturing File</i>
ASTM	= <i>American Society for Testing Materials</i>
C	= <i>Celcius</i>
CAD	= <i>Computer Aided Design</i>
CAE	= <i>Computer Aided Engineering</i>
FDM	= <i>Fused Deposition Modeling</i>
FFF	= <i>Fused Filament Fabrication</i>
GPS	= <i>Global Positioning System</i>
HU	= <i>Head Unit</i>
ICG	= <i>Interactive Computer Graphics</i>
KN	= <i>Kilo Newton</i>
mm/s	= <i>Milimeter per second</i>
MM	= <i>Milimeter</i>
MPa	= <i>MegaPascal</i>
N	= <i>Newton</i>
OBJ	= <i>Wavefront OBJect</i>
PLA	= <i>Polylactic Acid</i>
RE	= <i>Reserve Engineering</i>
SD	= <i>Secure Digital</i>
STL	= <i>Standard Triangle language</i>
UGM	= <i>Universitas Gadjah Mada</i>
UII	= <i>Universitas Islam Indonesia</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia otomotif selalu berkembang mengikuti perkembangan teknologi. Mobil bukan hanya menjadi alat transportasi namun juga menjadi sarana pemilik untuk berekspresi dengan cara memodifikasi bagian kendaraannya dari bidang interior maupun eksterior mobil mereka. Modifikasi atau biasa dikenal variasi dilakukan dengan tujuan yang berbeda-beda, ada yang melakukannya dengan tujuan mengikuti *trend* dan ada juga yang melakukan karena ingin mengekspresikan maupun membuat mobil mereka menjadi terlihat unik. Dengan berkembangnya teknologi, semakin banyak cara pemilik mobil untuk memodifikasi mobil mereka dengan harga yang lebih murah dan semakin memungkinkan bagian-bagian yang dimodifikasi.

Setiap harinya pemilik mobil menghabiskan 2 jam atau lebih untuk berkendara. Mobil sudah menjadi lebih dari sekedar kendaraan. Bagi beberapa orang terutama yang menempuh perjalanan lebih panjang, mobil menjadi tempat multifungsi seperti kamar. Seiring perkembangan teknologi seperti navigasi berbasis *Global Positioning System* (GPS) dan sistem audio, pemilik mobil menggunakannya menjadi tempat menikmati hiburan maupun menjadi tempat berkomunikasi (Rosli et al., 2014)

Interior mobil zaman sekarang sudah didominasi dengan material plastik. Material plastik mendominasi dikarenakan memiliki poin plus pada kebebasan desain dan memiliki berat yang ringan. Beberapa bagian interior plastik cenderung menggunakan metode *injection molding* di mana metode tersebut memiliki kelebihan seperti: dapat menciptakan bentuk geometri rumit, efisien waktu, dan unggul dalam siklus pengulangan dan keawetan *mold*. Sedangkan untuk kekurangan *injection molding* di antaranya adalah modal awal yang besar, waktu persiapan yang lebih lama, dan perubahan desain memakan biaya yang tinggi.

Perubahan mobil dari seperti raksasa logam di tahun 1950-an menjadi seperti sekarang, disebabkan oleh tuntutan pengurangan berat mobil untuk

meningkatkan penghematan bahan bakar dan juga peraturan yang berlaku. Penggunaan plastik pada mobil perlahan meningkat dari 9 kilogram per unit mobil di tahun 1960 menjadi 162 kilogram per unit pada 2010. Bagian interior yang terdiri dari *dashboard*, panel pintu dan kursi secara bersama membuat bagian plastik terbanyak yaitu sebanyak 38%. Pada bagian interior mobil berbahan plastik harus memiliki ketahanan panas yang kuat, tahan terhadap sinar *ultraviolet* dan properti kekakuan yang bagus(Pradeep et al., 2017).

Metode *injection molding* pada bagian interior mobil membuat desain setiap unit mobil dengan model tertentu sama. Hal tersebut dikarenakan *injection molding* menggunakan *mold* untuk membuat interior dengan kuantitas yang besar. Untuk mengganti bagian interior plastik terdapat beberapa cara modifikasi seperti membuat dengan *injection molding* yang dapat membuat bentuk dari interior berubah sesuai keinginan, bisa juga hanya dengan melakukan pengecatan atau *water printing* yang hanya mengubah penampilan luar. Cara lainnya adalah menggunakan *3D printing* untuk membuat bagian interior dengan bentuk dan spesifikasi yang diinginkan yang cenderung harga manufakturisasi yang lebih murah dibanding *injection molding*.

Additive manufacturing (AM) merupakan hasil dari perkembangan teknologi yang konstan di zaman sekarang. *Additive manufacturing* terutama *3D printing*, merupakan contoh teknologi *rapid prototyping* yang sedang populer dikarenakan kemudahan pemakaian dan penurunan harga alat beserta material. Kebanyakan teknologi *rapid prototyping* masih dalam tahap pengembangan dan terkenal dengan harga alat dan material yang mahal namun sebagai gantinya dapat menghasilkan bentuk kompleks, berkualitas. Mahalnya *rapid prototyping* disebabkan oleh jumlah waktu persiapan pembuatan yang bahkan pada pembuatan benda kecil pun memakan beberapa jam tanpa menghitung proses desain dan pra-pengerjaan. Namun teknologi *Fused Filament Fabrication* (FFF) atau alat *3D print* yang biasa kita kenal di pasaran, sangatlah sederhana dan cenderung lebih murah hingga ada yang menggugah cara untuk membuat alat tersebut di internet. FFF bekerja dengan menggunakan *nozzle* untuk mengeluarkan material panas secara perlahan untuk membentuk lapisan-lapisan yang perlahan membentuk desain yang dituju(Ćwikła et al., 2017).

Engineering merupakan proses yang mencakup desain, manufaktur, dan perakitan. Terdapat dua tipe *engineering*, *forwards engineering* dan *reverse engineering*. *forwards engineering* merupakan proses *engineering* yang berawal dari ide abstrak yang secara perlahan menjadi benda atau alat yang memiliki bentuk fisik. Namun dalam beberapa situasi, terdapat benda atau alat yang tidak memiliki informasi teknikal. Proses duplikasi benda atau alat yang sudah ada tanpa adanya gambar, dokumentasi atau data komputer yang terkait, dikenal sebagai proses *reverse engineering* (Raja & Fernandes, 2007)

Penelitian ini bermaksud untuk mengaplikasikan *3D printing* FFF pada dunia variasi interior mobil. Menggunakan *3D printing* pelaku variasi dapat memodifikasi interior mobil sesuai selera dan keinginan dalam jumlah sedikit. *Reverse engineering* dilakukan guna mendapatkan informasi desain yang nantinya diteruskan ke tahap *3D printing*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara merekonstruksi *frame head unit* mobil menggunakan metode *reverse engineering*?
2. Bagaimana cara menambahkan sentuhan personalisasi pada *frame head unit* menggunakan teknik *3D printing*?
3. Bagaimana membuat purwarupa dari produk yang telah dimodifikasi sebelum nya, dengan menggunakan teknik *3D printing*?

1.3 Batasan Masalah

1. Desain *frame head unit* untuk mobil Honda Brio Satya tahun 2017, dengan ukuran 25cm x 15cm.
2. Desain purwarupa menggunakan *software* Solidworks 2021.
3. Proses *slicing* menggunakan *software* Flashprint 5.
4. Pembuatan *3D printed* model menggunakan mesin *3D print* FFF Flashforge model Creator Pro dengan volume pembangunan 15x22x14 cm, yang membuat diperlukan nya sistem *locking* untuk menyambung benda.
5. Sentuhan personalisasi pada *frame head unit* yang dibuat merupakan motif pada bagian depan purwarupa.

6. Fabrikasi menggunakan filamen PLA.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

1. Mendesain purwarupa berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan dengan menggunakan metode *reverse engineering*.
2. Membuat variasi *frame head unit* yang memiliki sentuhan personalisasi.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dalam perancangan ini diharapkan mampu memanfaatkan dan mengembangkan potensi alat *3D printing* yang terdapat di lab Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. memberikan metode alternatif desain untuk produk variasi interior mobil Brio Satya tahun 2017 dengan sentuhan personalisasi. Serta diharapkan purwarupa yang telah dirancang mampu menjadi contoh untuk produk-produk yang akan dibuat selanjutnya oleh masyarakat.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada bagian sistematika penulisan ini dilakukan secara berurutan guna untuk mempermudah dalam melakukan kesimpulan dan pembahasan dari penelitian. Berikut adalah sistematika penulisan yang telah dibuat:

BaB I PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini berisi mengenai Gambaran secara umum yang berisi, latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

BaB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka berisi tentang penelitian atau materi mengenai produk yang diteliti serta dasar teori sebagai acuan utama.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab berisi tentang alur pengerjaan dalam penelitian, dan peralatan apa saja yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB V PENUTUP

Pada bab ini meliputi kesimpulan dari pembahasan yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penampilan merupakan hal yang penting bagi konsumen, itulah yang membuat estetika dan desain menjadi suatu hal yang krusial pada proses pembuatan barang (Demirbilek & Sener, 2003). Hal ini sangat sesuai dengan kasus interior mobil. Desain dari interior sebuah mobil biasanya memiliki acuan, entah itu filosofi dari merek mobil tersebut atau kesepakatan desain dari satu model mobil (Karlsson et al., 2003). Namun selera desain orang cenderung relatif, orang yang tertarik dengan estetika dan kurang tertarik dengan properti teknis akan lebih tertarik dengan desain inovatif dan modern sementara sebaliknya, orang yang tidak terlalu memikirkan estetika dan memikirkan properti teknis cenderung memilih desain konvensional (Leder & Carbon, 2005). Dengan desain interior mobil yang sudah pasti dari bawaan pabrik, pemilik mobil tetap bisa mengubahnya sesuai selera dengan memodifikasi interior mobil. Modifikasi pada mobil adalah suatu cara untuk mengubah bentuk dari suatu bagian mobil menjadi lebih menarik tanpa menghilangkan fungsi aslinya (Chaning et al., 2013).

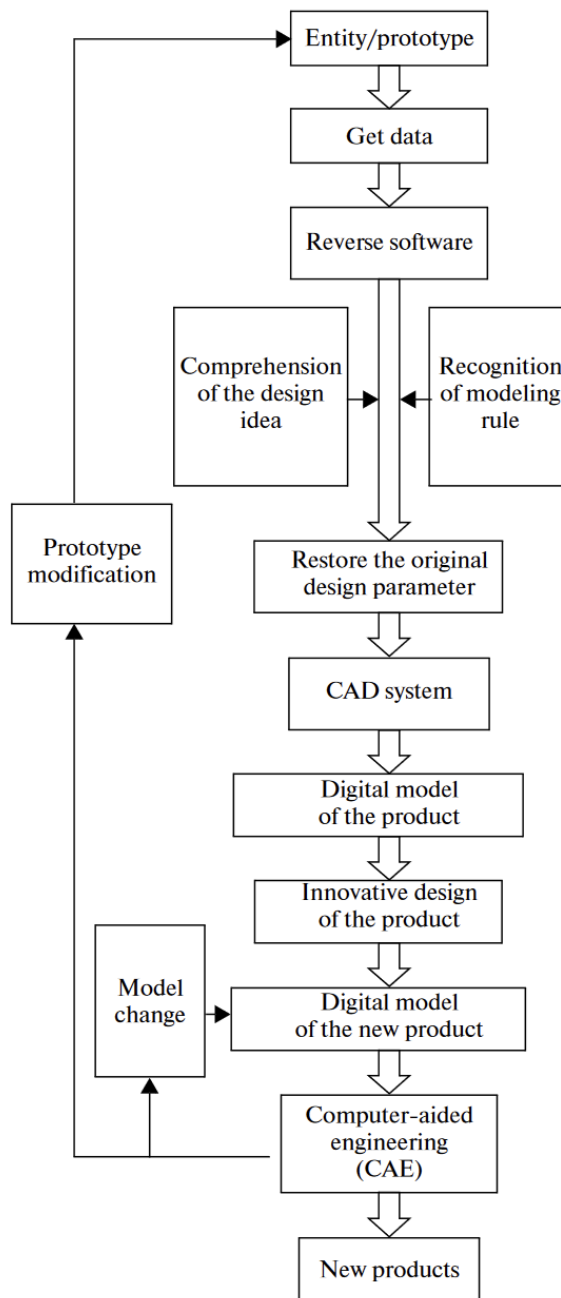
Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Zhang & Yu, 2016) yang meneliti tentang teknologi *3D printing* pada produk desain menggunakan *reverse engineering*, menyatakan dengan menggabungkan *3D printing* dan *reverse engineering* dapat mempersingkat siklus pengembangan produk dan sekaligus berkontribusi pada tahap analisis dan tahap produksi. Dengan *reverse engineering* kita dapat membandingkan data CAD yang diperoleh dengan produk aslinya yang bisa diuji dengan *software* untuk menemukan kesalahan yang dapat diperbaiki. Pelaku industri dapat memanfaatkan proses ini untuk menembus *bottlenecks* pada proses pengembangan produk yang diharapkan kualitas hasil produk dapat meningkat. Proses gabungan ini merupakan terobosan dibanding proses biasanya yang membuat ini menjadi *trend* pada dunia pengembangan produk dan juga perkembangan dunia sains dan teknologi.

2.2 Dasar Teori

Pada dasar teori dibahas beberapa teori yang digunakan dalam penelitian ini.

2.2.1 *Reverse Engineering*

Didefinisikan sebagai cara membuat suatu bagian dari produk oleh orang selain dari pembuat aslinya, terutama berdasarkan pengamatan analisis dimensi dan fungsi dari suatu produk (Rekoff, 1985). *Reverse engineering* merupakan metode yang mulai populer pada akhir tahun 1980an dan awal tahun 1990, namun di Cina yang merupakan salah satu negara yang aktif meneliti *reverse engineering* hingga saat ini muncul pada pertengahan 1990, penelitian tersebut dipimpin oleh institusi penelitian alat permesinan Beijing (Zhang & Yu, 2016). *Reverse engineering* atau bisa disebut *back engineering* merupakan proses pembuatan ulang suatu benda untuk mendapatkan informasi dari benda tersebut agar dapat dibuat kembali, proses ini cenderung dilakukan bila membeli benda di tempat asal tidak menjadi opsi. (Yau, 1997) mengartikan RE sebagai proses untuk mendapatkan geometri dari benda yang telah di manufaktur dengan cara mendigitalisasi dan memodifikasi model CAD yang sudah ada. Proses dari *reverse engineering* dapat dilihat pada Gambar 2-1.



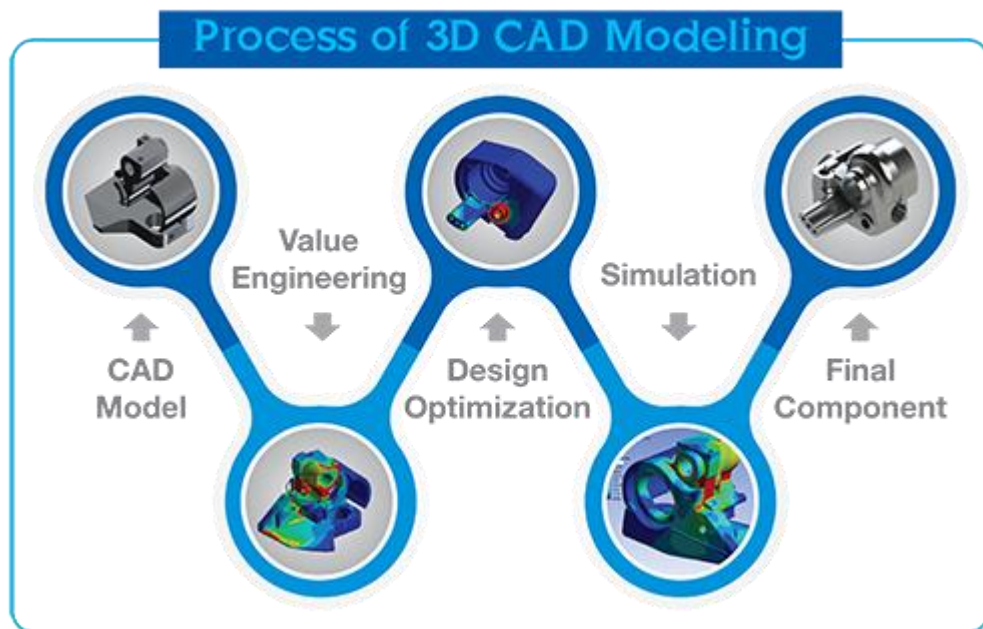
Gambar 2- 1 Proses Reverse Engineering

(Sumber : Zhang & Yu, 2016)

2.2.2 Computer Aided Design

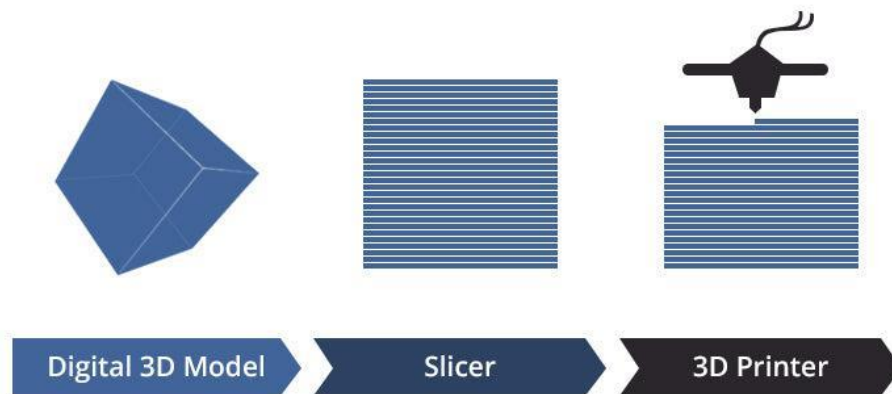
Computer Aided Design (CAD) merupakan keterlibatan komputer untuk membantu pada tahap pembuatan, modifikasi, analisis, atau optimasi suatu desain produk. Sistem CAD bekerja berdasarkan *Interactive Computer Graphics* (ICG), ICG bekerja menjadi jembatan interaksi antara pengguna dengan komputer untuk

membuat, mengubah, dan menampilkan data dalam bentuk gambar atau simbol. Program ICG digunakan pada *software* CAD yang digunakan desainer untuk membuat gambar produk 3 dimensi sebelum di lanjut ke tahap manufaktur selanjutnya. Dengan bantuan CAD kualitas hasil produk dapat meningkat, dikarenakan kesalahan maupun kecacatan dapat dideteksi dan dilakukan perbaikan sebelum ke tahap selanjutnya (Sarcar et al., 2008). Dengan bantuan CAD insinyur desain dapat memanfaatkan untuk membuat 3d modeling yang menjadi tahap awal dari terbuatnya suatu produk, seperti pada Gambar 2-2.



Gambar 2- 2 Proses *modeling* CAD 3D

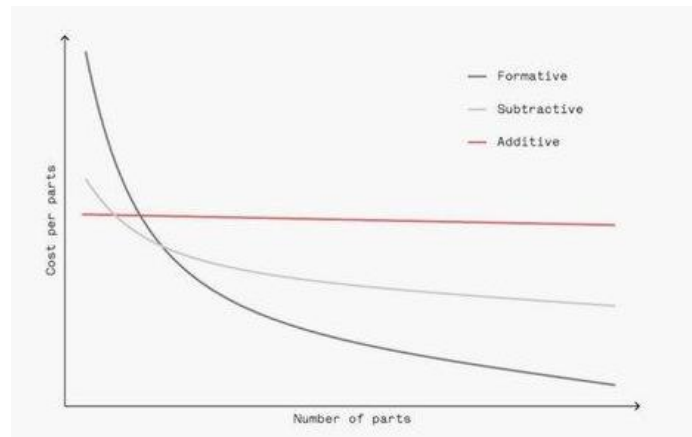
2.2.3 3D Printing Slicer



Gambar 2- 3 Peran *slicer* pada proses 3D print

Seperti pada Gambar 2-3, *slicer* merupakan *software* perantara model desain dengan alat 3D *printing*, *slicer* bertugas untuk mengubah model desain CAD yang sudah dibuat menjadi G-code yang nantinya akan diberikan ke printer untuk dibuat menjadi bentuk fisik. Disebut *slicer* dikarenakan cara kerja *slicer* mengubah desain menjadi G-code. G-code adalah dengan mengubah model desain menjadi *layer* 2D atau *slices*, yang nantinya akan diberikan dan dibaca oleh mesin 3D *print* berbentuk G-code yang mengikuti aspek-aspek geometris dan struktural model desain (Bryła & Martowicz, 2021). Selain itu *slicer* juga bekerja mengatur parameter *printing* dengan memasukan informasi seperti spesifikasi material, ketinggian *layer*, tipe *extruder* yang nanti nya mempengaruhi hasil *printing*. Menyesuaikan dengan *software* CAD yang dipakai, *software* cenderung memiliki format data nya masing-masing, untuk memindahkan data desain ke *slicer* file yang biasa digunakan ialah .STL, .3DF, .OBJ, dan .AMF, dengan catatan .STL adalah yang paling populer digunakan.

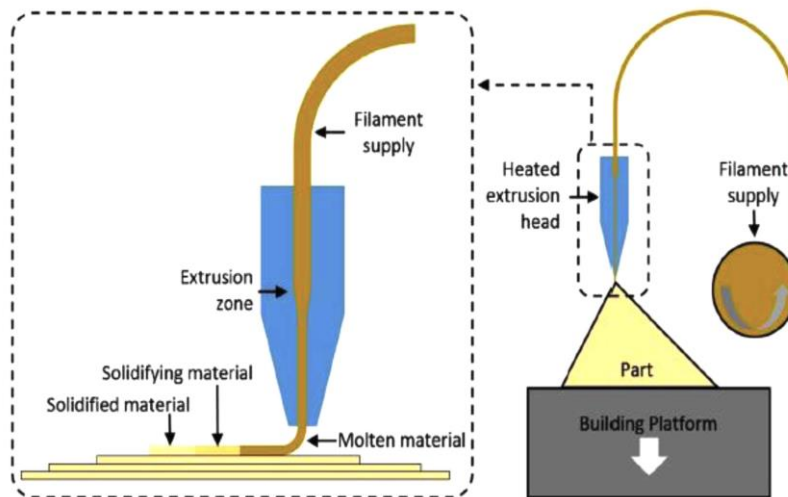
2.2.4 Fused Filament Fabrication 3D Printing



Gambar 2- 4 Perbandingan harga dengan jumlah produk dibuat

(Sumber : Redwood et al., 2017)

Dunia manufaktur pada zaman sekarang sudah didominasi oleh teknologi *3D printing* (3DP) yang memiliki solusi praktikal dalam menekan biaya produksi manufaktur, seperti pada Gambar 2-4 yang membandingkan metode manufaktur lainnya. Proses manufaktur 3DP mampu lebih singkat dikarenakan tidak bergantung dengan proses *tooling* seperti cetakan, perlengkapan dan material/bahan sekali pakai pada proses pembuatan produk. Kepopuleran teknologi 3DP dimulai dari berakhirnya paten yang dipegang oleh penemu dan peneliti di bidang 3DP. Selain itu, berbagai penelitian menyorot keramahan teknologi 3DP terhadap lingkungan, energi, dan perspektif keberlanjutan (Redwood et al., 2017).



Gambar 2- 5 Perbandingan harga dengan jumlah produk dibuat

(Sumber : Singh et al., 2020)

Fused Filament Fabrication (FFF) merupakan salah satu dari teknologi 3DP yang paling populer dan digunakan hampir di semua sektor manufaktur. FFF bekerja dengan memanaskan filamen menggunakan ekstruder sampai pada tahap *molten* atau pada titik suhu sebelum filamen mencair, pada tahap *molten* ekstruder bergerak perlahan-lahan membuat *layer* yang nantinya menjadi bentuk 3 dimensi dari desain yang dituju, Gambar 2-5 merupakan gambaran skematis cara kerja 3DP FFF. Pada tahap *printing* terdapat beberapa parameter seperti: persentase *infill*, bentuk *infill*, banyaknya kontur, sudut *raster*, bentuk *raster*, ketebalan *layer*, kecepatan *printing*, suhu *printing*, suhu *bed*, celah udara, dan kepadatan layer atas/bawah, Gambar 2-6 dari penelitian singh, et al., merangkum hubungan parameter *printing* dengan properti hasil *printing* (Singh et al., 2020).

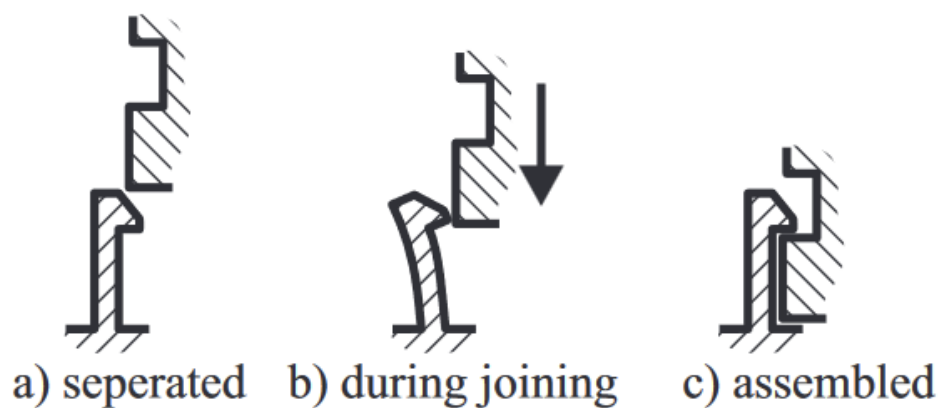
Input Parameter	Notation(s)	Observed Effect(s)
Infill Density	Low, Medium, and High Or 0 – 100%	Shear Strength Tensile Strength Impact Absorption Flexural Strength Dynamic Mechanical Strength Thermoelectric Properties Production Cost-Time Compression Strength Stiffness
Build Orientation	0–90°	Tensile and Flexural Strength Deformation Behaviour Fatigue Behaviour Tensile Strength, Failure Strain, Poisson's Ratio, Coefficient of Thermal Expansion and Modulus Volumetric Accuracy Tensile Strength
Raster Angle	Criss-Cross (0–90°) and Co-linear	Surface Roughness and Dimensional Accuracy Compression and Tensile Strength Production Cost Flexural Strength Dimensional Accuracy Deflection, Tensile, Impact, and Flexural Strength
Air Gap	> 0 mm	Tensile Strength Surface Roughness and Dimensional Accuracy Dynamic Mechanical Properties Anisotropy
Layer Thickness	> 0.1 mm	Surface Roughness Wear Resistance Tensile Strength Toughness Flexural Strength

Gambar 2- 6 Hubungan parameter dengan hasil *print*
(Sumber : Singh et al., 2020)

Pada penggunaan parameter, Ganeshkumar et al., 2022 meneliti tentang kekuatan tarik pada jenis dan persentase *infill* yang dipakai. Dari penelitian tersebut membandingkan *infill* berbentuk *octahedron*, *hexagonal*, *circular*, *rhombile*, dan *gyroid*. Sedangkan untuk persentase digunakan 30% - 90%. Pada percobaan tersebut didapatkan *infill* berbentuk *hexagonal* atau *honeycomb* memiliki *tensile streng* dengan nilai tertinggi dengan persentase *infill* sebesar 40%.

2.2.5 Sistem Locking

Pada pembuatan produk dibutuhkan sistem *locking* untuk menyatukan bagian kiri dan kanan. Pembuatan sistem *locking* dibutuhkan bila alat *3D print* tidak memenuhi ukuran benda yang dibuat ataupun mempermudah tahap *packing* dan pengiriman jika diterapkan oleh penjual nantinya. Terdapat dua sistem *locking* yang menjadi acuan yaitu *snap fit joint* seperti pada Gambar 2-7 dan *puzzle joint* seperti pada Gambar 2-8. Dipilih nya dua metode *locking* tersebut dikarenakan dua metode ini adalah cara yang efisien dan mudah untuk menyatukan bagian komponen tanpa memerlukan alat atau baut pengencang.

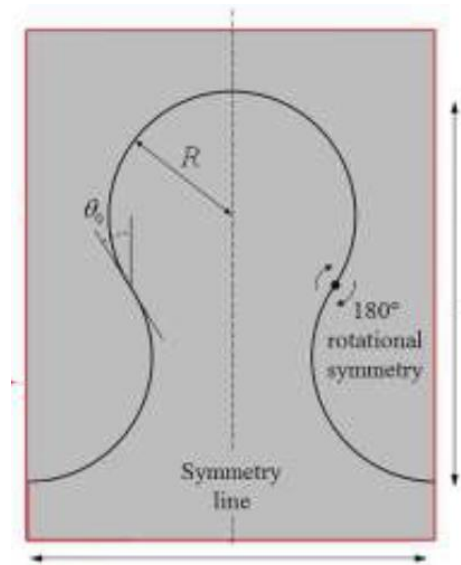


Gambar 2- 7 *Snap fit joint*

(Sumber : KLAHN ET AL., 2016)

Tergantung kebutuhan *snap-fit joint* dapat dibuat permanen atau lepas pasang dengan bantuan gaya atau alat. *snap-fit joint* sering diaplikasikan pada bagian yang berbahan plastik. Elastisitas dan regangan ijin pada plastik memungkinkan terjadinya defleksi besar pada bagian tanpa adanya kerusakan. Namun pada saat *snap-fit joint* terpasang cenderung bebas beban dan hanya sedikit

terjadi *displacement*. Hal ini sangat penting untuk diperhitungkan, dikarenakan plastik yang terkena tegangan secara terus menerus akan mengalami kerusakan atau *failure* (Klahn et al., 2016).



Gambar 2- 8 puzzle joint

(Sumber : Malik et al., 2017)

Pada *puzzle joint* seperti namanya berbentuk seperti *puzzle*. Dimana terdapat dua bagian *male* dan *female* untuk menggabungkan nya. *Puzzle joint* sangat baik digunakan karena mengurangi tekanan dan meningkatkan kekuatan pada sambungan, terutama untuk material yang rapuh. *Puzzle joint* terdiri dari sudut lingkaran berjari-jari R , dan dilanjutkan lengkungan yang ditentukan oleh sudut θ_0 (Malik et al., 2017).

2.2.6 Computer Aided Engineering

Computer Aided Engineering (CAE) dapat didefinisikan sebagai penggunaan teknologi sebagai bantuan pengerjaan analisis *engineering*. CAE biasa dipakai untuk membantu evaluasi performa produk termasuk seperti analisis struktural, kelelahan dan patah, kinematika dan dinamika benda padat, prediksi probabilitas kegagalan dan analisis keandalan (Chang, 2016). Analisis yang disebutkan memiliki metode-metode nya sendiri dan metode-metode tersebut masuk pada CAE. Beberapa metode nya seperti *finite element*, *computational fluid*

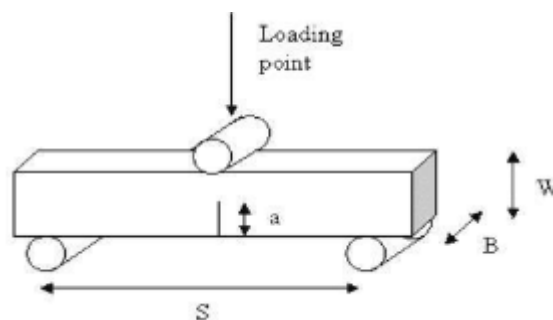
dynamics dan *multibody dynamics*. Software CAE yang populer digunakan contohnya seperti Ansys, Solidworks dan Siemens.

2.2.7 Sifat-sifat mekanis material

Material pastinya mengalami gaya atau beban pada saat digunakan. Pada situasi tersebut tentunya penting untuk mengetahui karakteristik dari material yang akan digunakan untuk menghindari deformasi berlebihan yang dapat menyebabkan patah atau *fracture*. Perilaku mekanika material mencerminkan dari deformasi dengan gaya atau beban yang diterima material. Maka itu perlu diperetimbangkannya karakteristik material seperti kekakuan, kekuatan, kekerasan, keuletan, dan ketangguhan saat membuat desain benda agar tidak terjadi hal yang tidak diinginkan (William, 2014).

2.2.8 Pengujian *bending*

Pengujian *bending* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan modulus elastisitas lentur, tegangan lentur, dan regangan lentur. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan momen bending pada spesimen hingga spesimen mengalami defleksi. Pengujian ini dilakukan pada alat Universal testing machine dengan tiga titik atau empat titik lentur.



Gambar 2- 9 Uji *bending* tiga titik

Data dari hasil pengujian yang dilakukan berupa nilai beban maksimal, nilai defleksi, dan nilai tegangan *bending*. Kemudian data yang didapatkan diolah untuk mendapatkan nilai data yang diketahui, menggunakan rumus sebagai berikut:

- Tegangan Maksimal

$$\sigma = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (2.1)$$

- Modulus Elastisitas *Bending*

$$E = \frac{L^3 F}{4bd^3 \delta} \quad (2.2)$$

Keterangan:

σ = Tegangan maksimal (MPa)

F = Beban (N)

L = Jarak antara titik tumpu (MM)

b = Lebar benda uji (MM)

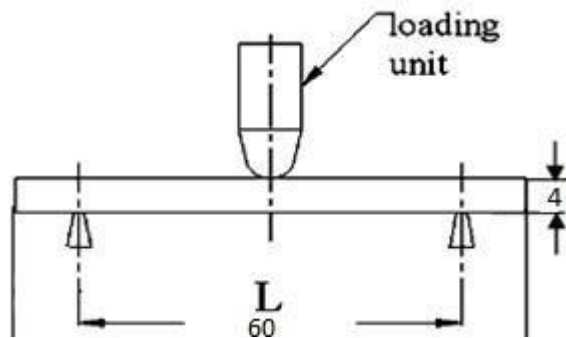
d = Ketebalan benda uji (MM)

E = Modulus elastisitas bending (MPa)

δ = Defleksi (mm)

2.2.9 ASTM D790

Standar pengujian *bending* yang dipakai pada tugas akhir ini adalah ASTM D790, Mengingat belum adanya standar pengujian *bending* untuk benda yang dibuat menggunakan FFF. Metode pengujian ini mencakup dalam penentuan sifat lentur plastik yang sudah diperkuat maupun belum diperkuat, dalam bentuk batangan persegi panjang yang dicetak langsung atau dipotong dari lembaran, pelat atau *molded shape*. Pada standar pengujian ini, nilai L didapatkan dari rasio 16:1 antara jarak titik tumpu dengan ketebalan spesimen.

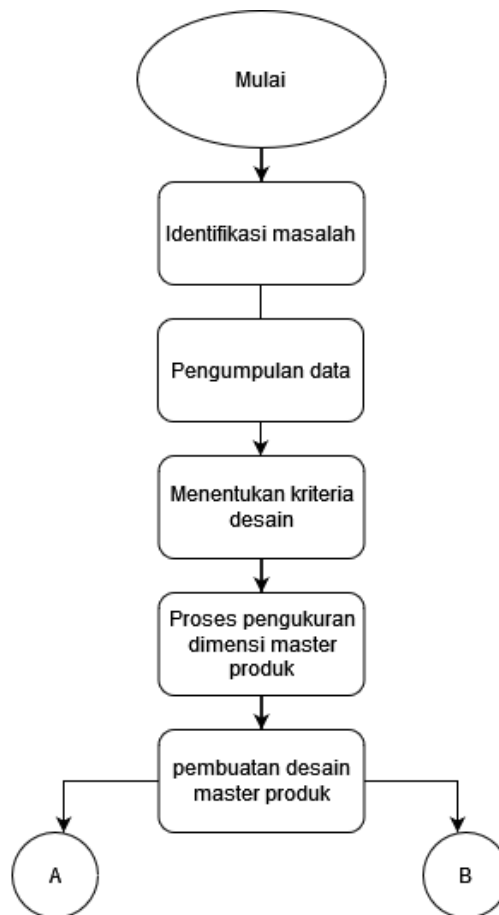


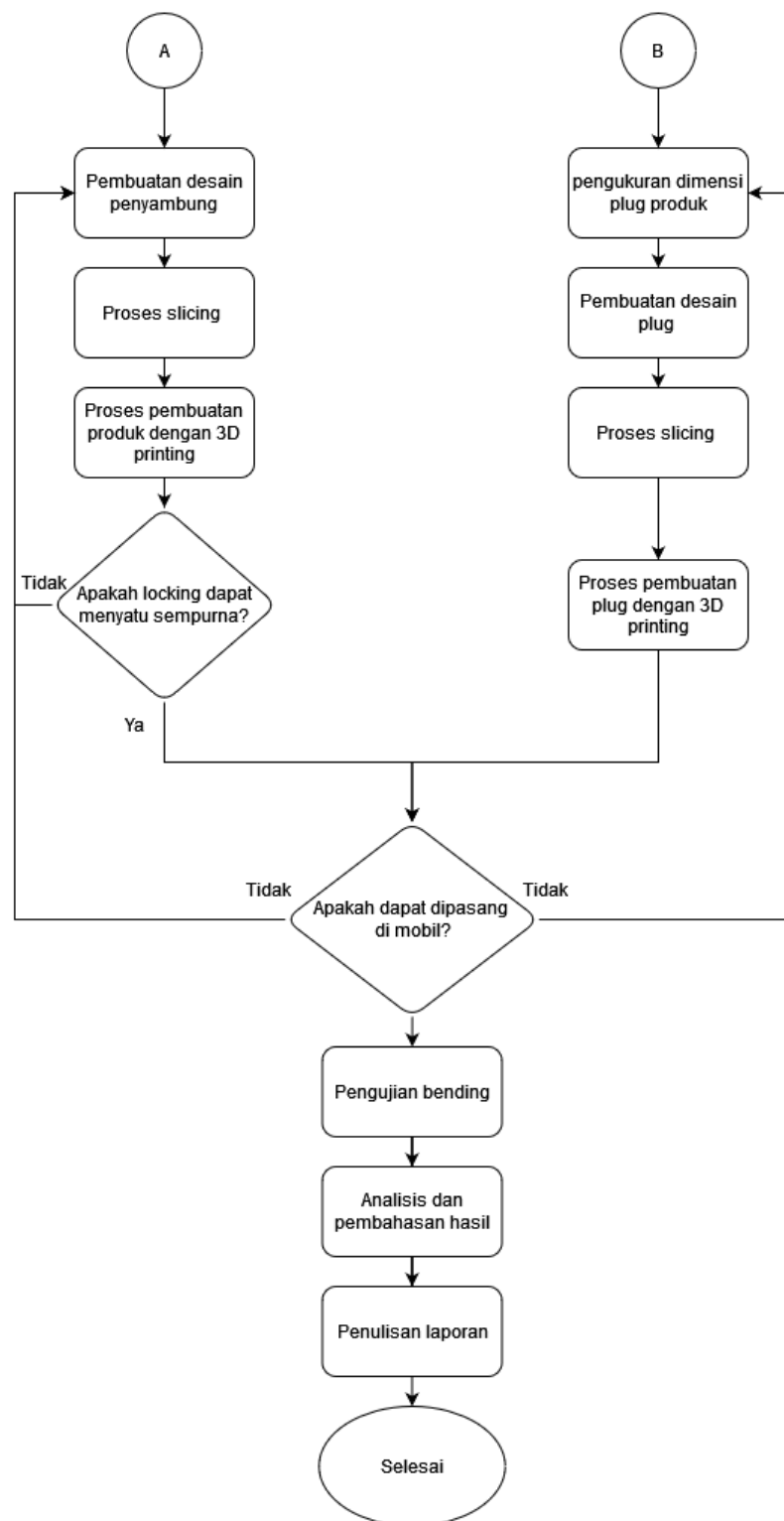
Gambar 2- 10 Spesimen ASTM D970

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian





3.2 Peralatan dan Bahan

Tabel 3-1 Alat dan bahan

Alat	Fungsi
Laptop	Untuk melakukan komputasi
<i>Software Solidworks 2021</i>	CAD
Mesin 3D <i>Printing</i> Creator Pro	Mencetak desain
Jangka sorong	Mengukur dengan ketelitian 0,1 mm
Alat ukur Panjang (mistar)	Mengukur dengan ketelitian 1 mm
<i>Software Flashprint</i>	Slicer
<i>scraper</i>	Melepas hasil print dari bed
Tang potong	Memotong support
<i>Frame HU</i>	Acuan desain
Alat uji Universal Testing Machine	Pengujian bending
Filamen PLA	Bahan baku 3D Printing
Spesimen ASTM D790	Spesimen uji bending

3.3 Kriteria desain

Frame head unit pada mobil berfungsi sebagai dudukan dari *head unit* mobil yang menjadi kontrol panel hiburan utama. Selain sebagai dudukan, *frame head unit* juga berfungsi sebagai bagian dari interior mobil yang terlihat jelas pada bagi pengendara maupun penumpang. Kriteria desain yang ditentukan berdasarkan fungsi tersebut adalah:

- Menambahkan sentuhan personalisasi desain pada purwarupa berupa motif pada bagian depan purwarupa

- Tidak mengurangi fungsi dari produk aslinya
- Sistem *locking* yang dibuat dapat menyambung *master* kiri dan *kanan*
- *Plug* dapat terpasang pada *bracket* mobil brio tahun 2017

3.4 Perancangan desain

Pada pembuatan desain purwarupa ini penulis membagi menjadi tiga bagian desain yaitu *master* sebagai bagian utama dari *frame head unit* yang dibagi menjadi *master* kanan dan *master* kiri agar bisa dilakukan proses fabrikasi menggunakan mesin Creator Pro. Kedua, desain *locking* yang merupakan sistem penyambung *master* kiri dan *master* kanan. ketiga, desain *plug* atauudukan purwarupa kepada interior mobil.

3.4.1 Desain *master*

Desain *master* dimulai dengan pengukuran menggunakan jangka sorong yang setelah itu dibuat gambar 3D menggunakan CAD Solidworks. Desain dimulai dengan pendekatan sederhana dari contoh benda, dan perlahan-lahan dibentuk menggunakan *tools* dari Solidworks. Setelah desain *master* dibagi menjadi dua bagian kiri dan kanan agar bisa dilakukan proses fabrikasi pada mesin Creator Pro. Setelah tahap pembuatan desain *master* sudah selesai dapat dilanjutkan ke tahap selanjut nya yaitu desain sistem *locking*.

3.4.2 Desain *locking*

Pada desain *locking* dilakukan pembuatan sebanyak dua tipe *locking* yaitu *snap-fit* dan *puzzle*. Pembuatan desain sistem *locking* ini diawali dengan pengukuran penempatan, sekiranya sebesar apa sistem *locking* ini dibuat. Dan terakhir sistem *locking* memiliki pasangan yaitu *male* dan *female* maka dibutuhkan empat desain yaitu *male* dua bagian yang terdapat di *master* kanan dan *female* dua bagian yang terdapat di *master* kiri. Desain sistem *locking* yang terbaik secara fungsi nanti nya akan dipilih sebagai sistem *locking* purwarupa yang dibuat.

3.4.3 Desain *plug*

Desain *plug* dilakukan setelah desain-desain yang lain sudah selesai dan dapat dilanjut pembuatan desain *plug* untuk dapat menyambung ke interior mobil. Desain *plug* sendiri memiliki 3 bagian yang berbeda, penulis membagi nya dengan memberi nama *plug* A yang bertugas untuk sambungan ke interior mobil, *Plug* B yang bertugas untuk menyambung ke *head unit* mobil, dan terakhir *plug* C yang bertugas untuk menyambung ke tombol *hazard*. Ada sebanyak 6 buah *plug* A, 4 buah *plug* B, dan 1 buah *plug* C.

3.4.4 Desain motif

Pada pengerjaan ini bagian depan purwarupa terdapat motif timbul yang dapat mengangkat motif sesuai keinginan pribadi. Motif ini diharap menjadi sentuhan personalisasi dari purwarupa, dimana produsen dapat membuat *frame head unit* dengan motif sesuai keinginan konsumen. Terdapat dua motif yang penulis buat pada tugas akhir ini, pertama motif batik *kawung* sebagai motif tradisional pada gambar dan motif toga Universitas Islam Indonesia sebagai motif kontemporer. Kedua motif tersebut diharap dapat menunjukkan *versetyle* nya 3D printing dalam memfabrikasi bentuk-bentuk rumit.

3.5 Pembuatan purwarupa

Proses pembuatan purwarupa menggunakan 3D print dilakukan setelah desain dirasa cukup. Desain CAD disimpan dalam bentuk STL. untuk di-*slice* menggunakan *software* Flashprint 5. Setelah menginput parameter *printing* pada *slicer*, baru dapat dilakukan proses pembuatan dengan mesin 3D *printing*.

3.5.1 Tahap *slicing*

Terdapat dua *setting* parameter pada penelitian ini, pertama pengaturan parameter percobaan dan kedua pengaturan parameter purwarupa. Pengaturan parameter percobaan lebih sederhana yang memakai pengaturan *basic* bawaan dari aplikasi *slicer*, Sedangkan pengaturan parameter purwarupa terdapat beberapa perubahan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan kriteria desain. Proses

slicing dimulai dengan memindahkan *file* desain yang sudah disimpan dalam bentuk .STL, setelah itu *file* tersebut dimasukan pada *software slicer*. Setelah melalui tahap *slicing* maka *file* .X3g akan menjadi G-code untuk alat 3D *print*.

3.5.2 Tahap fabrikasi

Tahap fabrikasi purwarupa menggunakan 3D *printing* diawali dengan menyiapkan alat dengan menyalakan terlebih dahulu. Setelah alat sudah menyala dilakukan prosedur *filament loading* dengan memilih mode *filament loading* dan memasukkan *filament* ke *extruder* sesuai *extrude* kiri atau kanan yang dipilih. Setelah *filament* sudah siap, masukan *file* .X3g yang mau di *print* menggunakan SD card, dan pilih *file* tersebut untuk di *print*.

3.6 Pengujian

Pengujian bending dilakukan untuk untuk mendapatkan beban maksimal dari sambungan *locking*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan tiga pasang spesimen, yang masing-masing terdiri dari *locking male* dan *female*. Pengujian dilakukan dengan standar pengujian ASTM D970 menggunakan *three point bending* pada alat uji *Universal testing machine* yang berada di laboratorium bahan Teknik vokasi UGM.

Langkah-langkah dalam melakukan uji *bending* sebagai berikut:

1. Mengukur dimensi spesimen uji menggunakan jangka sorong dan mencatat panjang, lebar, dan tebal spesimen.
2. Menyiapkan mesin uji *bending* dengan mengatur jarak antar tumpuan (*L*) sebesar 60 mm.
3. Meletakkan spesimen uji pada alat uji sesuai dengan jarak antar titik tumpuan.
4. Memulai pengujian dengan memberikan beban pada bagian tengah spesimen secara perlahan hingga spesimen mengalami kegagalan.
5. Mesin akan mencatat hasil nilai beban maksimal yang diberikan dan membuat grafik beban terhadap defleksi yang terjadi

BAB 4

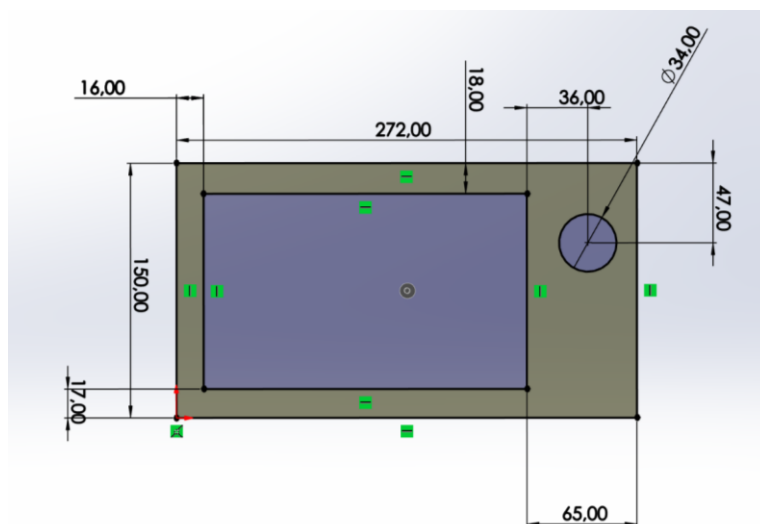
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan desain

Pada proses perancangan digunakan *software* SolidWorks untuk membuat gambar 3 dimensi yang nantinya akan diubah menjadi STL. Pengerjaan dibagi menjadi tiga sesi desain, yaitu desain *master*, sistem *locking* dan *plug*. Sedangkan proses pengambilan dimensi pada pembuatan desain menggunakan jangka sorong.

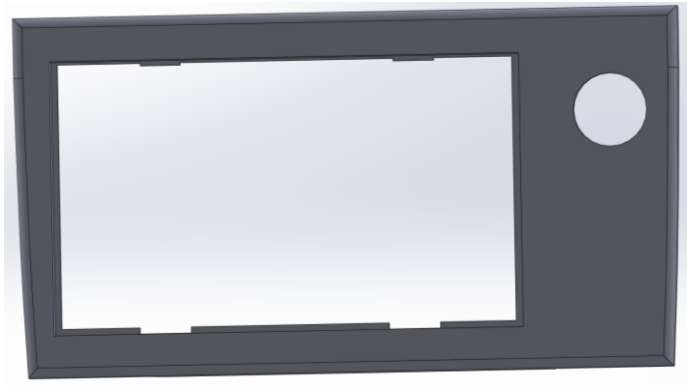
4.1.1 Desain *master*

Dimensi *master* yang sudah didapatkan melalui pengukuran jangka sorong dibuat menjadi gambar 3D menggunakan CAD Solidworks. Pertama desain dimulai dari bentuk sederhana dan secara perlahan dibentuk mengikuti bentuk *frame head unit*.

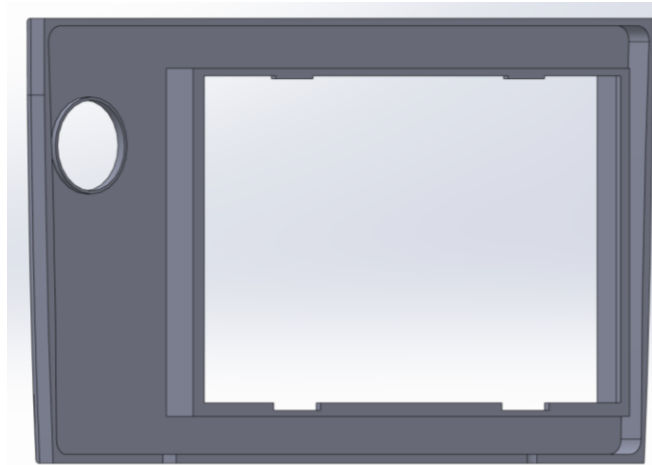


Gambar 4- 1 Desain sketsa *master*

Gambar 4-1 merupakan langkah awal dari desain CAD dengan membuat sketsa gambaran kasar dari desain sebelum di *extrude*.

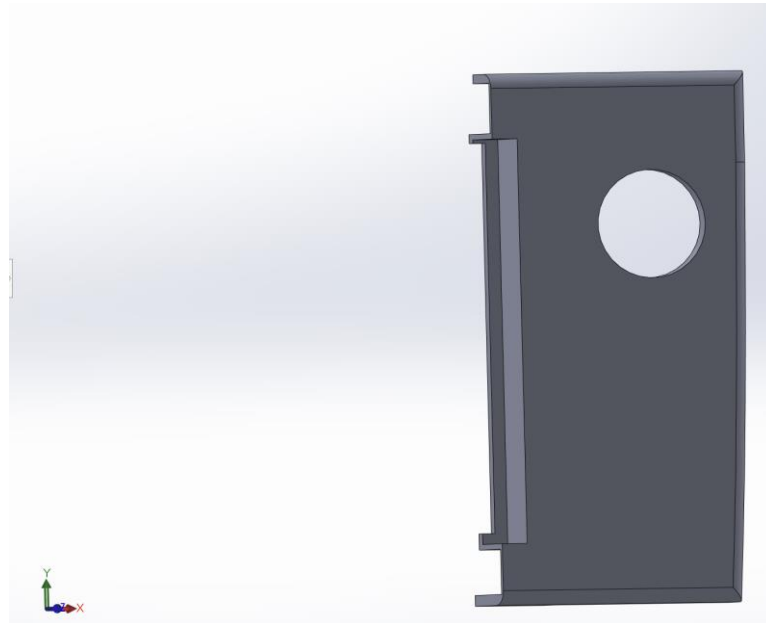


Gambar 4- 2 Desain awal *master*

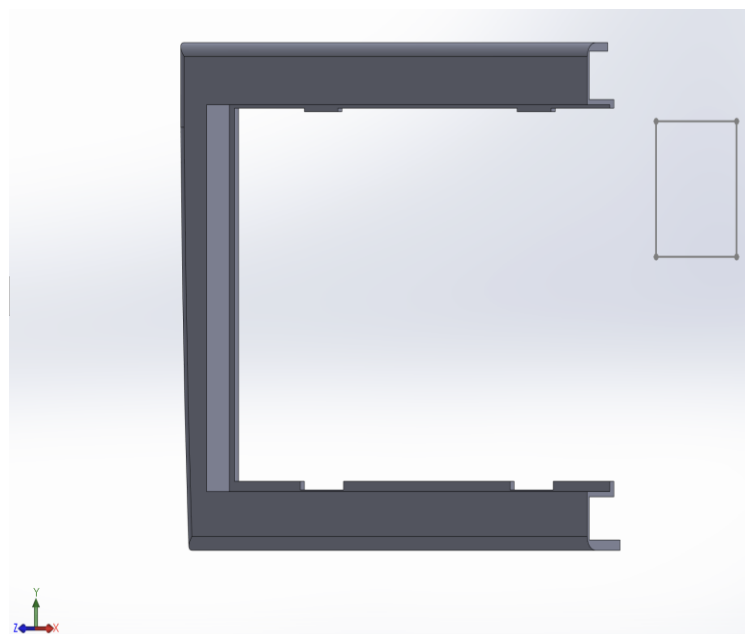


Gambar 4- 3 Desain awal *master* tampak belakang

Setelah di *extrude*, selanjutnya merapikan bagian-bagian desain agar mengikuti desain benda aslinya seperti pada Gambar 4-2 tampak depan dan 4-3 tampak belakang. Setelah desain *master* sudah selesai, *master* dibagi dua menjadi bagian kiri dan kanan seperti pada Gambar 4-4 dan 4-5. Pemisahan *master* dilakukan agar proses fabrikasi dapat dilakukan menggunakan mesin Creator Pro, yang nantinya *part master* kiri dan kanan akan disambung menggunakan sistem *locking*.



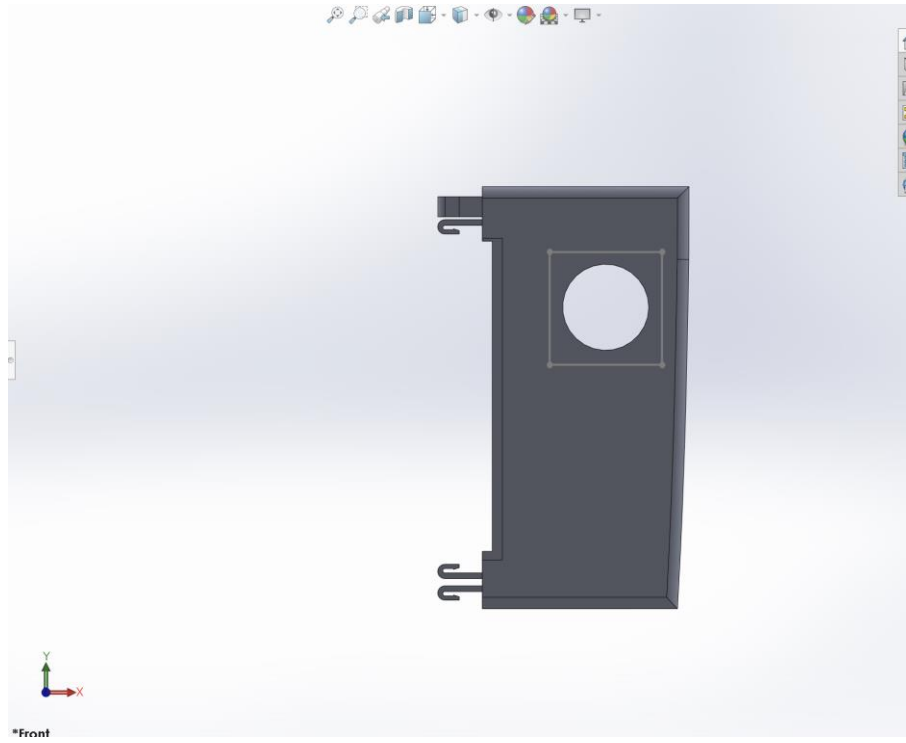
Gambar 4- 4 Desain awal *master* kanan



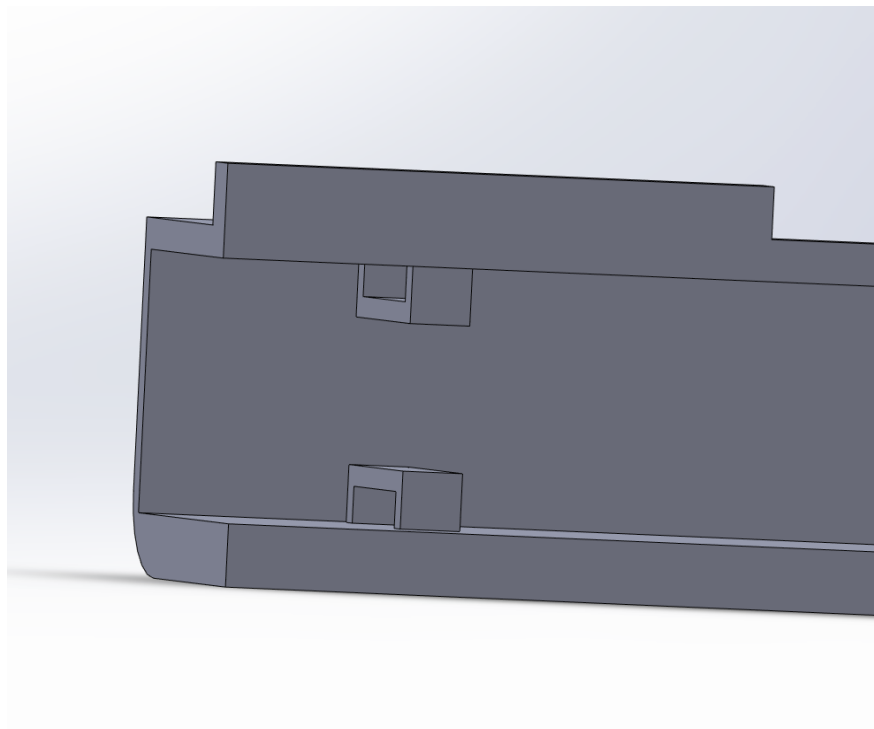
Gambar 4- 5 Desain awal *master* kiri

4.1.2 Desain *locking*

Desain *locking* pertama yang dibuat merupakan *locking snap-fit*.



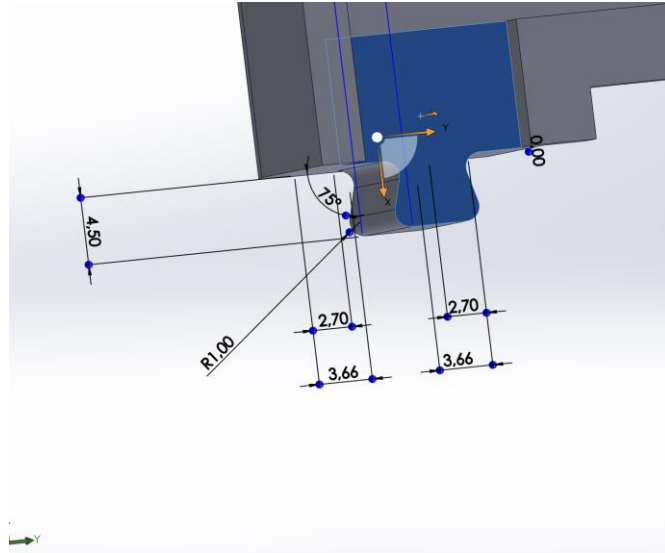
Gambar 4- 6 Desain *snap fit male*



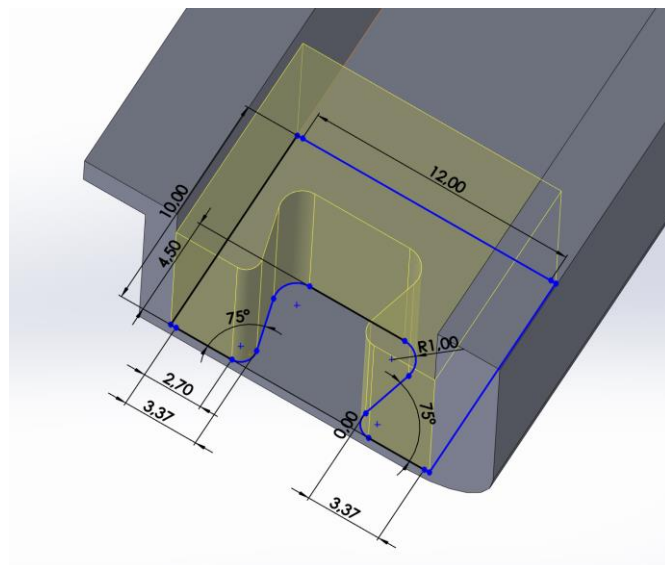
Gambar 4- 7 Desain *snap-fit female*

Gambar 4-6 dan 4-7 merupakan hasil dari desain *locking* metode *snap-fit*. Desain tersebut berbentuk seperti kail yang nanti nya akan menyatu dengan *female* yang menahan dan membuat kedua bagian *master* tergabung.

Pada desain *locking* kedua, adalah desain *locking* berbentuk *puzzle*.



Gambar 4- 8 Desain *puzzle male*

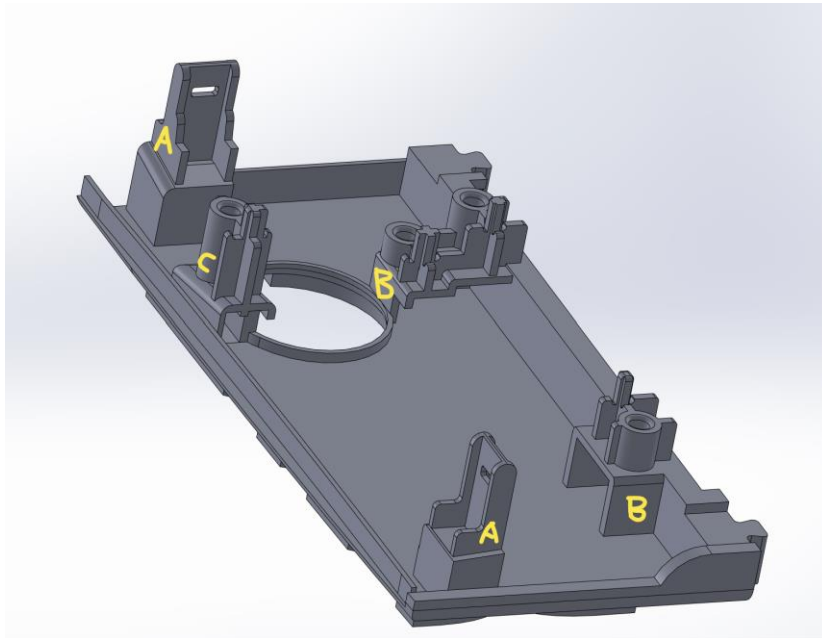


Gambar 4- 9 Desain *puzzle female*

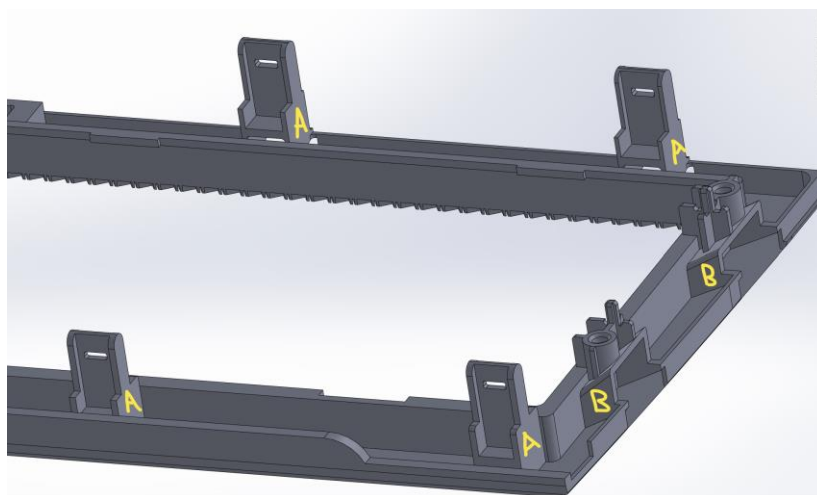
Pada Gambar 4-8 dan 4-9, merupakan desain *puzzle* yang nanti nya akan dapat menggabungkan bagian *master* kiri dan kanan dengan mekanisme seperti *puzzle* disatukan. Desain *locking* memanfaatkan kekosongan pada bagian belakang dari bentuk desain *master*.

4.1.3 Desain plug

Desain plug dilakukan setelah desain yang lain sudah selesai dan dapat dilanjut pembuatan desain plug untuk dapat menyambung ke interior mobil. Desain *plug* yang sudah dijabarkan seperti pada bab 3 terdapat 6 buah *plug* A, 4 buah *plug* B, dan 1 buah *plug* C.



Gambar 4- 10 Desain *plug* pada *master* kanan



Gambar 4- 11 Desain *plug* pada *master* kiri

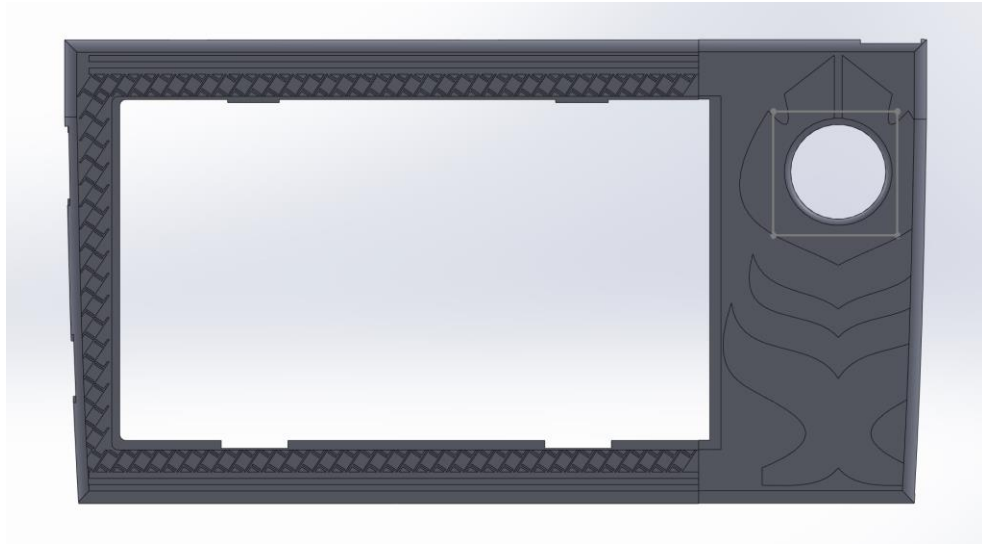
Pada Gambar 4-10 dan Gambar 4-11 merupakan hasil desain dari *plug* yang di desain dengan hasil pengukuran jangka sorong. Desain dari *plug* tersebut nantinya akan langsung bertemu dan berpasangan dengan dudukan dari *interior* mobil. Pada proses desain *plug* terdapat beberapa bagian yang diperkuat maupun ditiadakan dari desain aslinya. Mengingat benda aslinya dibuat menggunakan *injection molding*, dibutuhkan penyesuaian pada desain *plug* untuk mendapatkan hasil yang bisa difabrikasi dan tidak mudah rusak.

4.1.4 Desain motif

Pembuatan desain motif dilakukan setelah desain lain nya selesai. Pengerjaan motif terdapat pada bagian depan *master* yang diawali dengan pembuatan sketsa dan melanjutkan hasil desain menggunakan *pattern*. Setelah itu hasil *pattern* di *extrude* sebesar 1 mm. Hasil dari desain batik *kawung* dapat dilihat pada Gambar 4-12 dan motif UII pada Gambar 4-13.



Gambar 4- 12 Desain motif *kawung*



Gambar 4- 13 Desain motif Universitas Islam Indonesia

4.2 Tahap *slicing*

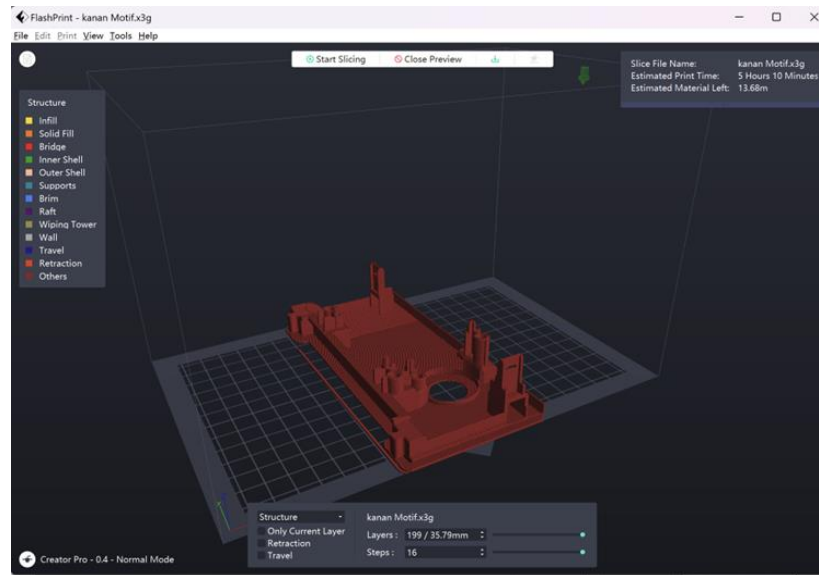
Dipakai dua *setting* parameter pada proses fabrikasi, untuk percobaan dan fabrikasi purwarupa. Parameter yang digunakan saat percobaan menggunakan *slice profile standart*, yang merupakan pengaturan bawaan dari *software* FlashPrint. Sedangkan *settingan* parameter fabrikasi Purwarupa diperlukan beberapa perubahan yang didapat dengan pendekatan *trial and error*, yang pada akhirnya ditemukan *settingan* parameter tersebut. Parameter yang diganti terdapat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4-1 Parameter *slicing*

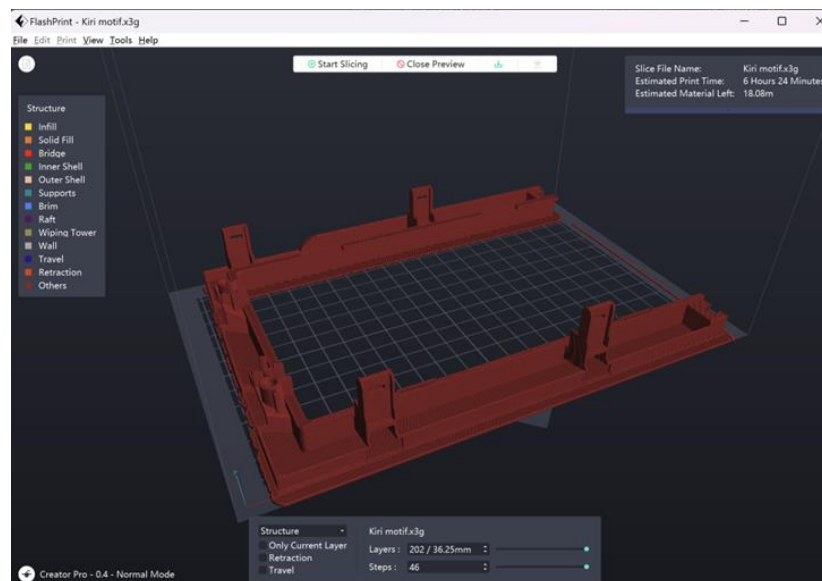
Suhu <i>extruder</i> kiri	210 C
<i>Base print speed</i>	55 mm/s
<i>Infill density</i>	40 %
<i>Bottom raft layer height</i>	0,21 mm
<i>Bottom raft Path width</i>	1,0 mm
<i>Bottom raft speed</i>	15 mm/s
<i>Middle raft layer height</i>	0,18 mm
<i>Middle raft Path width</i>	0,8 mm
<i>Middle raft speed</i>	15 mm/s
<i>Top raft layer height</i>	0,18 mm
<i>Top raft Path width</i>	0,4 mm
<i>Top raft speed</i>	15 mm/s

Parameter ini dipilih untuk menghindari beberapa kecacatan dari hasil fabrikasi 3D *printing*. Kecacatan yang dihindari seperti *stringing* yang membuat hasil fabrikasi seperti jaring laba-laba, *bridging* yang membuat hasil fabrikasi kendur, *wrapping* yang membuat hasil fabrikasi tertekuk dan terakhir memudahkan proses pelepasan *support* dari hasil fabrikasi. Beberapa parameter yang digunakan seperti jenis *infill* dan *infill density*, menggunakan hasil dari penelitian (Ganeshkumar et al., 2022).

Setelah menginput parameter hasil *slicing* akan keluar seperti pada Gambar 4-7 dan Gambar 4-8. Hasil *slicing* yang dapat dilihat seperti estimasi waktu pengeprinan, estimasi filamen yang terpakai, banyak nya *layer*, dan simulasi dari fabrikasi.



Gambar 4- 14 Proses *slicing master* kanan



Gambar 4- 15 Proses *slicing master* kiri

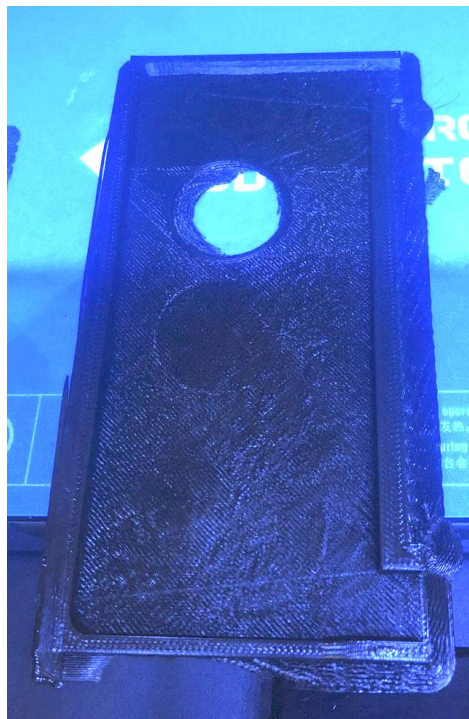
Setelah melalui tahap *slicing*, data di save dengan file X3G. yang nanti dapat dilakukan proses fabrikasi dengan mesin 3D *printing*. Data X3G ditransfer menggunakan SD *card*, yang dapat dibaca oleh mesin 3D printer Creator Pro.

4.3 Hasil Perancangan

Pada pengerjaan penelitian ini, didapatkan beberapa penyesuaian dari hasil yang didapat. Peneliti mendapatkan hasil akhir dengan beberapa kali percobaan dan dengan membuat beberapa purwarupa untuk mendapatkan hasil yang sesuai. dalam percobaan ini juga terdapat beberapa kegagalan maupun ketidaksempurnaan, maka pada bab ini akan dijabarkan penyesuaian dari kegagalan-kegagalan yang terjadi.

4.3.1 *Master*

Fabrikasi bagian *master* diawali dengan pembuatan dengan settingan parameter *basic* dan *auto support* tanpa diubah pada proses fabrikasi. Hasil yang didapat seperti pada Gambar 4-16 dan 4-17.



Gambar 4- 16 Percobaan *master* kanan pertama

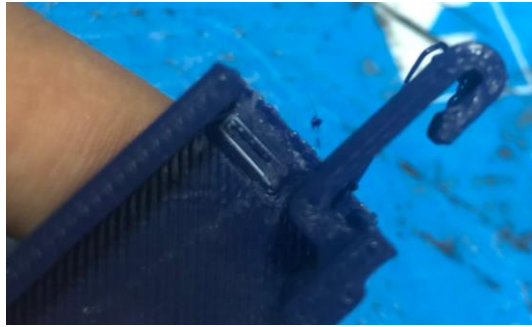


Gambar 4- 17 Percobaan *master* kiri pertama

Percobaan ini merupakan percobaan pertama dari penelitian ini, peneliti pun juga pertama kali menggunakan mesin 3D *printer* maka peneliti ingin mencoba dengan pengaturan *basic* yang disarankan *slicer*. Hasil yang didapatkan tidak terlalu baik, terutama pada bagian *support* dan *raft*. Pada bagian *support* sesuai anjuran dari *slicer* membuat *support* terlalu banyak yang menyebabkan terlalu menempelnya *raft* dengan benda hasil, Pengaturan *raft* juga mempengaruhi kesulitan tersebut. Dari percobaan pertama, penulis secara perlahan memperbaiki desain dan pengaturan seiring membuat bagian lain yang selalu berkaitan dengan bagian *master*.

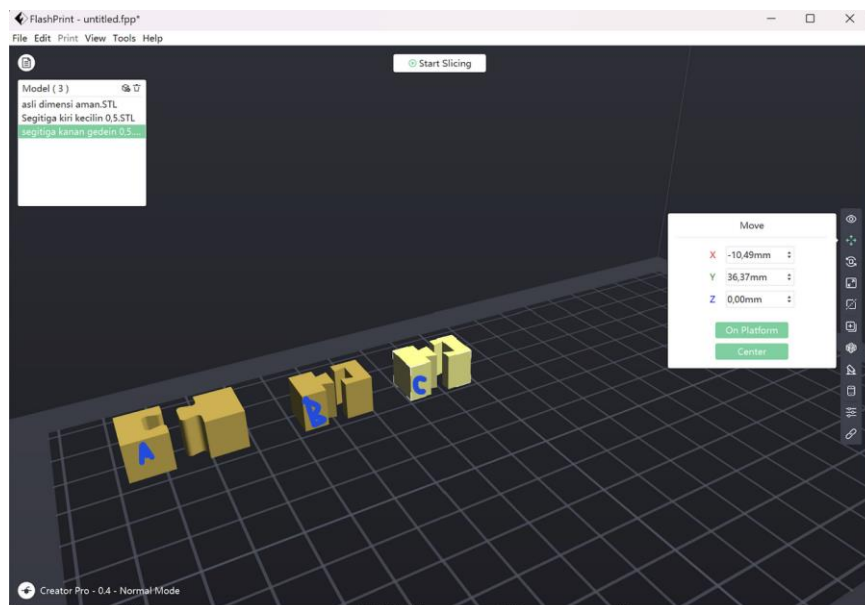
4.3.2 *Locking*

Bagian *locking* dibuat setelah penulis sudah memahami bentuk fisik dari *master*. Pada penelitian ini dibuat dua jenis *locking*, namun yang dipilih untuk purwarupa *final* adalah bentuk *puzzle*, dikarenakan bentuk *snap-fit* mengalami kegagalan saat fabrikasi. Kegagalan terjadi karena bentuk *snap-fit* yang di desain tidak bagus yang menyebabkan terjadi patah saat hendak dipasangkan, dapat dilihat pada Gambar 4-18.



Gambar 4- 18 Hasil percobaan *locking snap fit*

Fabrikasi *locking* berbentuk *puzzle* berawal dari mencoba dengan membuat beberapa contoh. Berikut proses *slicing* dan hasil yang didapatkan pada Gambar 4-19 dan 4-20.



Gambar 4- 19 Tahap *slicing locking puzzle*



Gambar 4- 20 Percobaan *locking puzzle*

Hasil yang didapatkan, *puzzle* jenis A yang berhasil bersatu dan tidak memiliki kendala seperti jenis B dan C. Bagian B dan C memiliki ukuran yang berbeda 0,5 mm pada masing-masing bagian *male* nya, namun tetap tidak dapat bersatu. Selanjutnya diteruskan penerapan *puzzle* jenis A ke bagian dari *master*.



Gambar 4- 21 Hasil percobaan *locking puzzle* 1

Gambar 4-21 merupakan percobaan pertama *locking puzzle* diterapkan ke potongan *master* untuk melihat apakah dapat bekerja atau tidak. Pada percobaan tersebut terdapat kesalahan pada tahap desain yaitu, kurang mundur nya *locking* yang membuat kurang rapi nya purwarupa.



Gambar 4- 22 Hasil percobaan locking *puzzle 2*

Setelah melakukan perbaikan pada desain dilakukan percobaan kedua dengan hasil pada Gambar 4-22. Pada percobaan kedua terdapat kekurangan pada bagian dasar *female locking* yang terlalu tinggi maka menyebabkan *master* kiri dan kanan tidak rata.



Gambar 4- 23 Hasil percobaan locking *puzzle 3*

Pada percobaan ketiga bagian dasar *female* sudah diperbaiki yang membuat *locking* sudah terlihat *seamless*, namun masih terdapat ketidak sempurnaan yaitu belum mengunci secara sempurna saat *locking* digabungkan seperti pada Gambar 4-23.

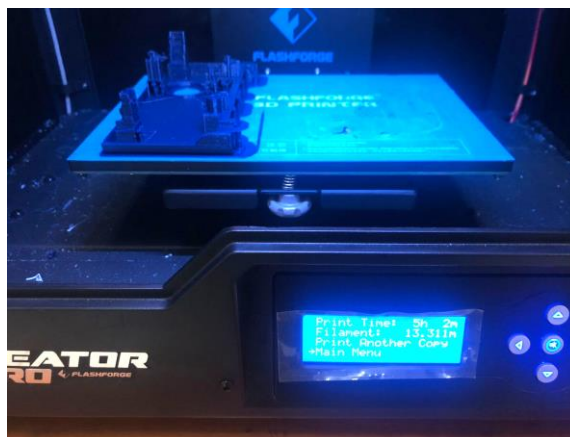


Gambar 4- 24 Hasil percobaan locking puzzle 4

Setelah memperbaiki semua kekurangan, pada percobaan keempat ditambahkan *stopper* pada bagian *female* yang membuat *locking* dapat mengunci setelah dipasang dan menyatu dengan sempurna seperti pada Gambar 4-24.

4.3.3 Plug

Fabrikasi *plug* dilakukan setelah *locking* sudah dapat digunakan di *master*. fabrikasi *plug* tidak terdapat masalah, hanya diperlukan penyesuaian pada tahap fabrikasi. Gambar 4-25 dan 4-26 melampirkan hasil dari fabrikasi *plug*.



Gambar 4- 25 Hasil percobaan Purwarupa

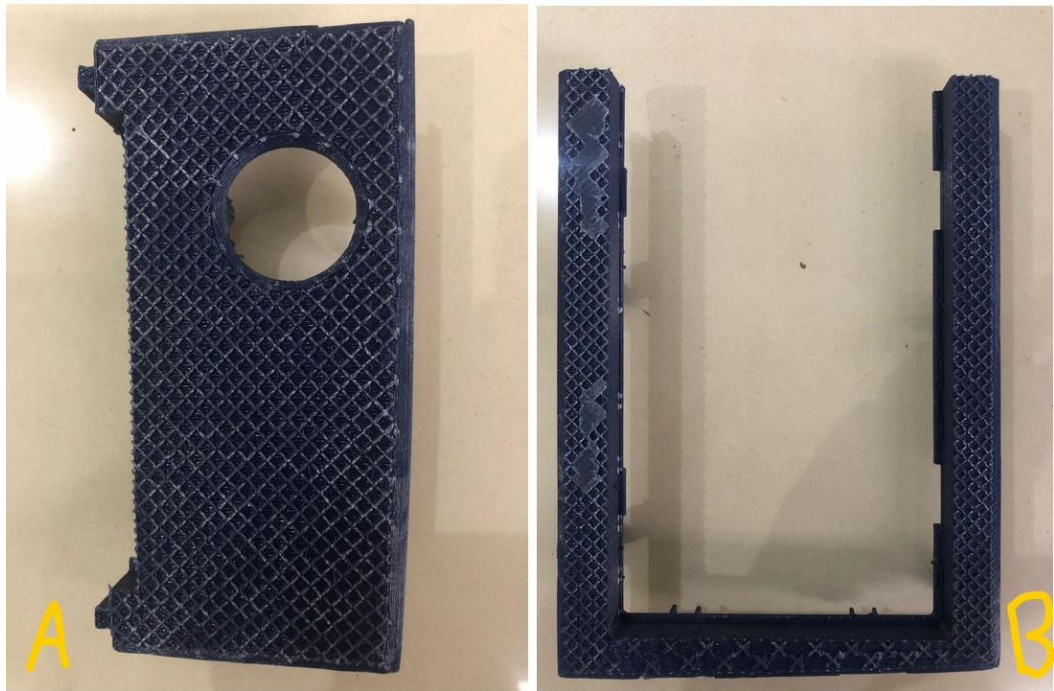


Gambar 4- 26 Hasil Purwarupa saat digabungkan

Proses fabrikasi *master* bersama *plug* kurang lebih memakan waktu 5 jam 2 menit. Hasil pada Gambar 4-25 dan 4-26 merupakan hasil dari beberapa kali percobaan sebelumnya, pada hasil tersebut sudah tidak terjadi *stringing* maupun tidak tertutup secara sempurna bagian *top layer*. Penyesuaian yang dilakukan setelah membuat *plug* pada *master* adalah mengurangi jumlah maupun penempatan *support* pada sela-sela purwarupa yang sulit untuk dijangkau. Dengan itu *support* dapat dengan mudah dilepas dan juga menghemat penggunaan *filament*.

4.3.4 Motif

fabrikasi motif dilakukan sebanyak empat percobaan untuk membuat dua motif. Motif pertama mengangkat motif tradisional yaitu batik *kawung*, kedua motif UII yang diambil dari toga. Empat percobaan dikarenakan satu purwarupa memiliki dua bagian master. Hasil pengeprinan dapat dilihat pada Gambar di bawah. Percobaan motif pertama dapat dilihat pada Gambar 4-27, sedangkan motif kedua pada Gambar 4-28.



Gambar 4- 27 Hasil motif batik *kawung* kanan(a) dan kiri (b)

Pada hasil fabrikasi motif batik *kawung*, terjadi kendala seperti Gambar 4-27 b, dimana *raft* sulit dipisahkan dari motif yang membuat *raft* menempel pada motif purwarupa. Hal ini dapat dihindari dengan menyesuaikan desain tinggi motif untuk tidak terlalu tinggi, yang membuat tidak memerlukan *support* maupun tidak terjadi nya *bridging* di sela-sela motif.



Gambar 4- 28 Hasil motif UII kanan(a) dan kiri(b)

Percobaan fabrikasi motif terdapat beberapa kendala terutamanya penentuan penempatan support yang krusial pada hasil akhir dari bentuk motif. Dikarenakan fabrikasi dilakukan pada arah sumbu X, posisi motif menghadap ke arah bawah yang membuat panel yang tidak terdapat motif mengambang dan membutuhkan *support*. Pada percobaan sebelum 4-28 terdapat cacat pada panel-panel tersebut dikarenakan *bridging* yang terlalu jauh, maka disempurnakan dengan penempatan *support*. Salah Satu kendala pada arah fabrikasi adalah kesulitan pelepasan *raft* yang menempel pada sela-sela motif. Solusi yang untuk menghindari kecacatan adalah, dengan menaruh *support* seefisien mungkin dan pengaturan kembali parameter *raft*.

4.4 Hasil Pengujian



Gambar 4- 29 Hasil pemasangan pada mobil

Setelah purwarupa telah jadi, pengujian pun dilakukan. Pengujian pemasangan dilakukan di mobil Brio Satya tahun 2017. Pada percobaan pemasangan purwarupa ke mobil tidak terjadi masalah yang signifikan, yang membuat purwarupa dapat langsung *plug and play* pada mobil. Pada percobaan pemasangan purwarupa ini didapatkan catatan-catatan desain yang dilakukan untuk memperbaiki desain seperti pada bagian lubang tombol *hazard* memerlukan pembaharuan desain diameter agar lebih presisi. Pada bagian *locking* diperlukan perbaikan desain pada bagian pinggir yang menghalang purwarupa saat dipasang ke mobil. Terdapat beberapa sisi yang tidak presisi, seperti pada bagian sudut kiri bawah, kanan bawah, dan kanan atas. Ketidak presisian tersebut terjadi karena pengambilan dimensi dilakukan menggunakan jangka sorong.

4.5 Pengujian *Bending*

4.5.1 Skema *failure*

Berdasarkan pengamatan dari hasil purwarupa jadi, Kemungkinan *failure* yang terjadi pada bagian penyambung purwarupa. Penyambung yang berbentuk *puzzle* memiliki kekurangan pada momen *bending*. Dimana sambungan akan terbuka sedikit bila ditekuk. Penekukan tersebut mungkin tidak akan terjadi pada saat digunakan, namun kemungkinan untuk terjadi kegagalan mungkin saja terjadi. Namun untuk mendukung penelitian ini, pengujian bending harus tetap dilakukan untuk mengetahui berapa beban maksimal yang dapat diterima oleh purwarupa.



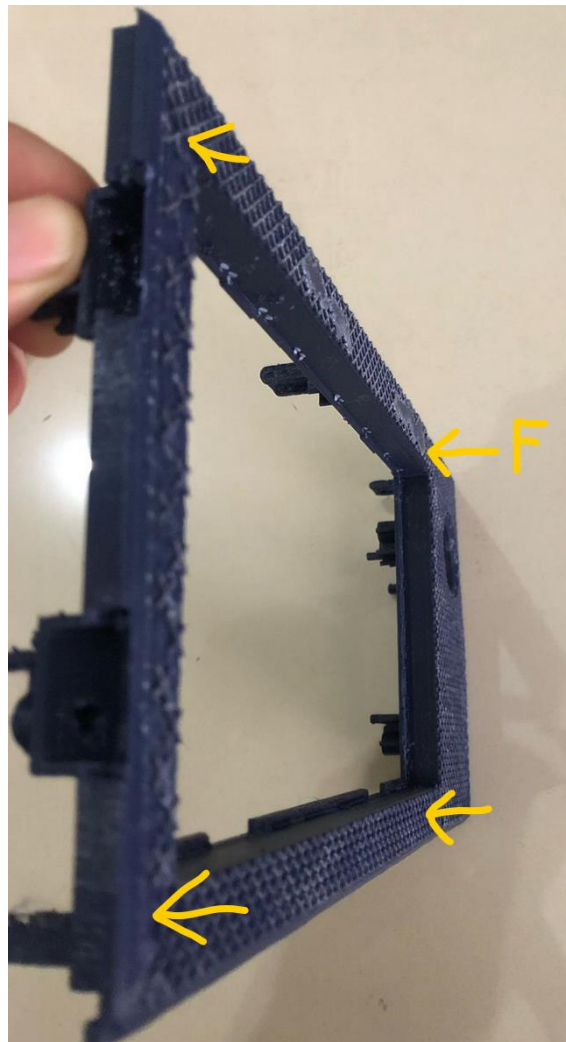
Gambar 4- 30 Skenario kegagalan *locking* sebelum ditekuk



Gambar 4- 31 Skenario kegagalan *locking* sesudah ditekuk

Pada Gambar 4-30 dan 4-31, dapat dilihat saat sambungan *locking* tidak terkena beban tekuk tidak terdapat celah antara sambungan *locking*. Namun saat sambungan *locking* terkena beban tekuk, terdapat celah yang dapat terlihat.

Kemungkinan failure kedua, disebabkan oleh impact. Saat purwarupa terpasang ada kemungkinan purwarupa tersenggol maupun tertekan, baik itu disengaja maupun tidak disengaja. purwarupa yang tersambung menggunakan *plug* pada bagian belakang ke sambungan interior dengan baut, maka ada kemungkinan dari impact yang terjadi merusak bagian plug atau sambungan tersebut. Tidak memungkiri bila dari impact akan merusak bagian paling rapuh dari purwarupa ini yaitu sambungan locking. pada Gambar 4-32 menjelaskan ilustrasi arah gaya pada purwarupa.



Gambar 4- 32 Skenario kegagalan impact

Ketiga, failure dapat terjadi diakibatkan oleh gaya tarik baik saat purwarupa sudah dipasang maupun sebelum. Karena purwarupa mengandalkan sambungan locking maka *failure* dapat terjadi jika benda ditarik dan menyebabkan patah pada bagian locking. pada Gambar 4-33 menjelaskan ilustrasi arah gaya pada purwarupa.

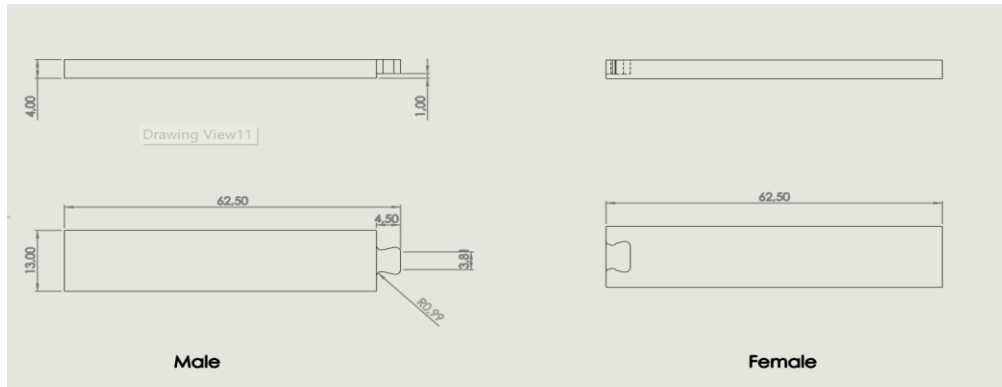


Gambar 4- 33 Skenario kegagalan tarik

Dari tiga kemungkinan *failure* yang terjadi, yang paling memungkinkan dan paling rapuh merupakan yang pertama. Maka itu diperlukan pengujian lebih lanjut terkait momen *bending*, untuk mengetahui beban maksimal yang dapat diterima oleh purwarupa.

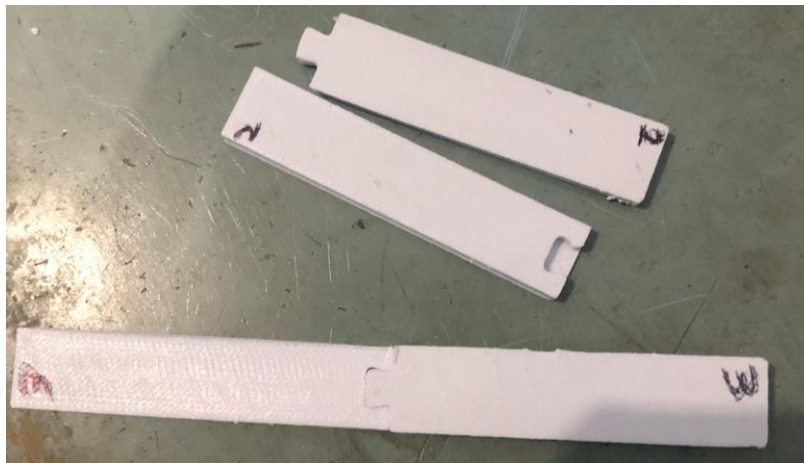
4.5.2 Pembuatan spesimen uji

Spesimen yang dibuat untuk pengujian bending ini, dibuat dengan standar ASTM D970 yang telah dimodifikasi menyesuaikan bentuk *locking*. Spesimen dibuat menggunakan parameter yang sama dengan Purwarupa.



Gambar 4- 34 Desain spesimen uji

Panjang dari spesimen saat digabungkan sebesar 125mm, lebar spesimen sebesar 13mm, dan tebal 4mm seperti yang tertera pada Gambar 4-36. Spesimen dibuat sebanyak tiga pasang spesimen. Kemudian dari desain tersebut dibuat spesimen uji menggunakan alat 3D *printer* FFF. Hasil dapat dilihat pada Gambar 3-37.



Gambar 4- 35 Spesimen uji

4.5.3 Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil seperti pada tabel 4-2 dan didapatkan data berupa nilai beban maksimal, nilai defleksi, dan nilai tegangan bending setiap spesimen.

Tabel 4-2 Hasil Pengujian Bending

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan <i>Bending</i> (MPa)
1	1	3,88	13,58	0,02	5,02	8,80
2	2	3,92	13,70	0,03	7,62	17,10
3	3	3,89	13,80	0,02	6,03	11,49

Hasil dari pengujian yang tertera pada tabel 4-2, dan dapat dilihat bentuk spesimen uji setelah pengujian pada Gambar 4-38. Dari tiga percobaan nilai beban maksimal tertinggi dialami oleh spesimen dua sebesar 0,03 KN atau sebesar 30 N. Sedangkan beban maksimal terkecil dialami oleh spesimen satu dan tiga dengan nilai 0,02 KN atau sebesar 20 N. Untuk hasil nilai tegangan *bending* terbesar dialami oleh spesimen dua sebesar 17,10 MPa, sedangkan untuk hasil tegangan *bending* terkecil dialami oleh spesimen satu sebesar 8,80 MPa.



Gambar 4- 36 Spesimen setelah mengalami pengujian

Berdasarkan data yang telah didapatkan dari hasil pengujian bending, kemudian diolah untuk mencari nilai modulus lentur dari setiap spesimen menggunakan persamaan 2.1 yang tersedia pada bab 2.

Tabel 4-3 Hasil perhitungan modulus bending

No.	Variasi Spesimen	Modulus bending (MPa)
1	1	271,22
2	2	257,62
3	3	220,48

4.5.4 Analisis

Dari hasil pengujian dan perhitungan yang didapatkan dari pengujian *three point bending*, dibandingkan dengan nilai pembanding spesifikasi teknis *dashboard* yang didapat dari penelitian yang dilakukan oleh (Herwandi & Napitupulu, 2017). Spesifikasi tersebut sebagai berikut:

- Nilai regangan bahan plastik *ABS High Impact* adalah 2 %.
- Nilai tegangan lentur bahan plastik *ABS High Impact* adalah 37-76 MPa.
- Nilai modulus lentur bahan plastik *ABS High Impact* adalah 1235-2588 Mpa.

Pertama perbandingan pada tegangan lentur bahan plastik *ABS High Impact* terhadap hasil uji berbahan PLA memiliki selisih 19,9 MPa. Untuk perbandingan nilai modul lentur bahan *ABS High Impact* dengan hasil uji berbahan PLA memiliki selisih 963,78 MPa. Dari hasil perbandingan tersebut berarti purwarupa yang dibuat tidak sekuat dengan benda aslinya. Namun hasil pengujian tersebut dilakukan dengan pemfokusan pada kekuatan sistem *locking*, yang membuat pastinya pengurangan kekuatan secara drastis. Pengurangan hasil kekuatanpun diakibatkan oleh dimensi *locking* yang tidak sama seperti yang terdapat pada purwarupa, yang pastinya membuat kekuatan cenderung meningkat dengan dimensi yang lebih tebal.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian pembuatan *frame head unit* menggunakan 3D print, *Frame head unit* berhasil direkonstruksi menggunakan teknik *reverse engineering*. *Frame head unit* yang dibuat berhasil memiliki sentuhan personalisasi dengan ditambahkan motif batik *kawung* atau motif Universitas Islam Indonesia. Teknik 3D *print* yang digunakan dalam penelitian ini terbukti berhasil membuat purwarupa *frame head unit* yang sudah dimodifikasi sebelumnya. Dan juga dengan melakukan penelitian ini, purwarupa berhasil dibuat menggunakan alat 3D *print* CreatorPro yang memiliki kekurangan pada volume pembangunan, yang membutuhkan dibuat nya sistem *locking*.

Dua motif yang dibuat untuk memberikan sentuhan personalisasi berhasil dibuat, dengan kekurangan pada pelepasan *raft* dan sisa *support* yang membuat bekas pada bagian depan motif. Purwarupa *head unit* dapat dipasang ke mobil namun terdapat kekurangan pada kepresisian sisi-sisi samping dan lubang *hazzard*. Kekurangan ini disebabkan pengukuran ulang yang diambil menggunakan jangka sorong

hasil proses pengujian ini bila dibandingkan dengan standar plastik yang digunakan untuk *dashboard* mobil ternyata memiliki nilai cukup kecil. Hal ini disebabkan oleh sistem *locking* yang dibuat. Namun pemasangan purwarupa secara langsung menunjukkan hasil modifikasi dengan sistem *locking* ini masih cukup kuat menahan beban penggunaan komponen.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Dengan penelitian ini pula, penulis dapat memberikan saran penelitian yang dapat dilakukan selanjut nya. Beberapa saran sebagai berikut: Kekurangan pada pengambilan data dimensi dapat diatasi bila pengambilan dimensi menggunakan 3D *scanning*. Kedua, penelitian selanjutnya diharapkan dapat membuat purwarupa yang memiliki sistem *locking* dengan kekuatan lebih baik.

ketiga, penelitian selanjutnya diharap dapat memaksimalkan parameter maupun toleransi 3D *printing* terutama pada tahap fabrikasi motif, agar motif dapat terfabrikasi sempurna. Terakhir, pada proses pembuatan purwarupa disarankan lebih mematangkan teori agar tidak memerlukan *trial and error* yang berlebih.

DAFTAR PUSTAKA

- Bryła, J., & Martowicz, A. (2021). Study on the importance of a slicer selection for the 3d printing process parameters via the investigation of g-code readings. *Machines*, 9(8), 163.
- Chang, K.-H. (2016). *e-Design: computer-aided engineering design*. Academic Press.
- Chaning, J., Aristarchus, P. K., & Margana, M. (2013). Perancangan Buku Mobil Modifikasi dengan Pendekatan Fotografi Studio. *Jurnal DKV Adiwarna*, 1(2).
- Ćwikła, G., Grabowik, C., Kalinowski, K., Paprocka, I., & Ociepka, P. (2017). The influence of printing parameters on selected mechanical properties of FDM/FFF 3D-printed parts. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 227(1), 012033.
- Demirbilek, O., & Sener, B. (2003). Product design, semantics and emotional response. *Ergonomics*, 46(13–14), 1346–1360.
- Ganeshkumar, S., Kumar, S. D., Magarajan, U., Rajkumar, S., Arulmurugan, B., Sharma, S., Li, C., Ilyas, R. A., & Badran, M. F. (2022). Investigation of tensile properties of different infill pattern structures of 3D-printed PLA polymers: analysis and validation using finite element analysis in ANSYS. *Materials*, 15(15), 5142.
- Herwandi, H., & Napitupulu, R. (2017). PENINGKATAN KUALITAS SERAT REKEL UNTUK BAHAN KOMPOSIT SEBAGAI BAHAN KOMPONEN KENDARAAN BERMOTOR. *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, 3(2), 9–15.
- Karlsson, B. S. A., Aronsson, N., & Svensson, K. A. (2003). Using semantic environment description as a tool to evaluate car interiors. *Ergonomics*, 46(13–14), 1408–1422.
- Klahn, C., Singer, D., & Meboldt, M. (2016). Design guidelines for additive manufactured snap-fit joints. *Procedia Cirp*, 50, 264–269.
- Leder, H., & Carbon, C. (2005). Dimensions in appreciation of car interior design. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 19(5), 603–618.

- Malik, I. A., Mirkhalaf, M., & Barthelat, F. (2017). Bio-inspired “jigsaw”-like interlocking sutures: Modeling, optimization, 3D printing and testing. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 102, 224–238.
- Pradeep, S. A., Iyer, R. K., Kazan, H., & Pilla, S. (2017). Automotive applications of plastics: past, present, and future. In *Applied Plastics Engineering Handbook* (pp. 651–673). Elsevier.
- Raja, V., & Fernandes, K. J. (2007). *Reverse engineering: an industrial perspective*. Springer Science & Business Media.
- Redwood, B., Schffer, F., & Garret, B. (2017). *The 3D printing handbook: technologies, design and applications*. 3D Hubs.
- Rekoff, M. G. (1985). On reverse engineering. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 2, 244–252.
- Rosli, M., Ariffin, M., Sapuan, S., & Sulaiman, S. (2014). Survey of Malaysian Car owner needs of a Car Interior. *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, 14(1), 62–69.
- Sarcar, M. M. M., Rao, K. M., & Narayan, K. L. (2008). *Computer aided design and manufacturing*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Singh, S., Singh, G., Prakash, C., & Ramakrishna, S. (2020). Current status and future directions of fused filament fabrication. *Journal of Manufacturing Processes*, 55, 288–306.
- William, D. C. (2014). *Materials science and engineering: an introduction*. John wiley.
- Yau, H.-T. (1997). Reverse engineering of engine intake ports by digitization and surface approximation. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 37(6), 855–871.
- Zhang, J., & Yu, Z. (2016). Overview of 3D printing technologies for reverse engineering product design. *Automatic Control and Computer Sciences*, 50(2), 91–97.

LAMPIRAN 1

