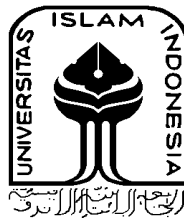


**PEMBUATAN CETAKAN *COVER HANDLE* PINTU MOBIL
TOYOTA INNOVA REBORN MENGGUNAKAN CNC
SUPERMILL MK 2.0**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh:

Nama : Muhammad Luqman Makarim
No. Mahasiswa : 18525014
NIRM : 1801210053

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

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Bismillahirrahmanirrahim, dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini merupakan hasil kerja saya sendiri dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi, kecuali kutipan dan ringkasan yang saya cantumkan sumbernya sebagai referensi. Apabila kemudian terbukti pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima hukuman/sanksi sesuai hukum yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 28 Juli 2025



Muhammad Luqman Makarim

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PEMBUATAN CETAKAN *COVER HANDLE* PINTU MOBIL
TOYOTA INNOVA REBORN MENGGUNAKAN CNC
SUPERMILL MK 2.0**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Muhammad Luqman Makarim
No. Mahasiswa : 18525014
NIRM : 1801210053

Yogyakarta, 10 Juli 2025

Pembimbing,

A handwritten signature in blue ink, consisting of several fluid, overlapping strokes that form a stylized representation of the name.

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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PEMBUATAN CETAKAN *COVER HANDLE* PINTU MOBIL
TOYOTA INNOVA REBORN MENGGUNAKAN CNC
SUPERMILL MK 2.0**

TUGAS AKHIR

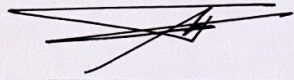
Disusun Oleh:

Nama : Muhammad Luqman Makarim
No. Mahasiswa : 18525014
NIRM : 1801210053

Tim Penguji

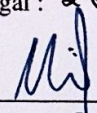
Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP

Ketua


Tanggal : 20/7/25

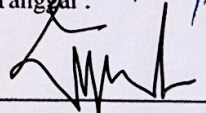
Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

Anggota I


Tanggal : 20/7/25

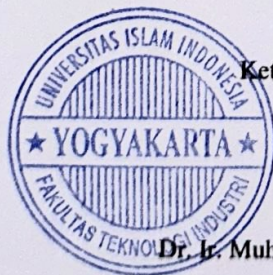
Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

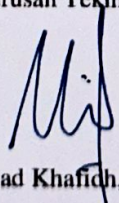
Anggota II


Tanggal : 20/7/25

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin




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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang sangat mendalam kepada Allah SWT, penulis mempersembahkan laporan tugas akhir ini kepada:

1. Ayah dan bunda yang sangat saya sayangi (Bapak Jorianto Imbang Djaja dan ibu Indra Yanti), kakak-kakak saya Nadya Khamila dan Mohammad Faishal Haris, serta kakak-kakak ipar dan seluruh anggota keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan saya dalam segala urusan.
2. Dosen pembimbing tugas akhir saya Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc., IPP yang selalu memberikan masukan, motivasi, saran dan ilmu yang bermanfaat.
3. Seluruh keluarga besar Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu serta pengalaman kepada saya.
4. Teman-teman Supernova, sahabat saya, yang selalu mendukung dan membantu saya dalam segala urusan.
5. Pasangan saya yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada saya dalam menyelesaikan penelitian ini.
6. Diri saya sendiri, Muhammad Luqman Makarim yang telah berhasil melewati semua rintangan selama perkuliahan ini atas seizin Allah SWT.

HALAMAN MOTTO

*“Percayalah bahwa Allah tidak akan memberikan ujian di luar batas
hambanya”*

“Sesungguhnya pertolongan akan datang bersama kesabaran”

“Pastikan untuk selalu libatkan Allah dalam segala perjalananmu”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah SWT atas segala pertolongan, rahmat, dan kasih sayang-Nya, laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam kepada baginda Rasulullah SAW yang senantiasa menjadi suri tauladan untuk seluruh umat manusia.

Pada proses pengerjaan tugas akhir ini dari awal, banyak pihak yang memberikan dukungan dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dengan penuh hormat penulis ingin mengucapkan terimakasih serta mendoakan semoga Allah SWT memberikan balasan terbaik kepada:

1. Ayah, Bunda, Kakak Nadya, Bang Ical, sebagai keluarga penulis yang selalu mendukung penulis melalui doa maupun materi.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafid, S.T., M.T., IPP, selaku Kaprodi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Dosen pembimbing tugas akhir saya Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc., IPP yang selalu memberikan masukan, motivasi, saran dan ilmu yang bermanfaat.
4. Segenap Dosen Jurusan teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
5. Seluruh Laboran dan staf Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
6. Teman-teman Angkatan 2018 Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia untuk dukungan dan bantuannya selama masa perkuliahan ini.
7. Mas Udin, Mas Fauzi, dan seluruh PT. Karyatama Komposit Teknologi yang telah memberikan ilmu dan membantu saya dalam banyak hal.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dengan berlipat ganda.

Akhir kata, dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis menyadari bahwa tidak yang sempurna, masih terdapat kesalahan dan kekurangan dalam penyusunannya. Harapannya laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan ridha-Nya kepada kita semua.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat cetakan produk komposit yang berupa *two plate mold* untuk produk *cover handle* pintu mobil Toyota Innova Reborn serta untuk mengetahui selisih yang terdapat antar waktu pemesinan pada simulasi dan waktu pemesinan aktual. Produk ini dapat digunakan sebagai aksesoris mobil Innova Reborn. Penelitian ini diawali dengan merancang cetakan yang sesuai dengan kriteria desain. Perangkat lunak CAD (*computer aided design*) yang digunakan peneliti di penelitian ini adalah SolidWorks 2022 pada perancangan cetakan dan Autodesk Fusion 360 untuk proses CAM (*computer aided manufacture*) yang berupa simulasi pemesinan hingga instuksi kerja untuk mesin CNC. Proses pemesinan cetakan dilakukan dengan mesin CNC Supermill MK 2.0. Cetakan yang dibuat dalam penelitian ini berbahan dasar Aluminium 5052 dan *Epoxy Tooling Block*. Pada penelitian ini, cetakan berhasil dibuat dengan CNC *milling* sesuai dengan desain yang telah dirancang. Durasi pemesinan yang dihasilkan dari hasil simulasi pemesinan pada perangkat lunak Autodesk Fusion 360 adalah 23 jam 24 menit 56 detik untuk *cavity plate* dan 21 jam 27 menit 46 detik untuk *core plate*, sedangkan durasi pemesinan aktual yang didapat dari proses pemesinan dengan mesin Supermill MK 2.0 adalah 25 jam 43 menit 15 detik untuk *cavity plate* dan 23 jam 18 menit 1 detik untuk *core plate*.

Kata kunci: CNC *milling*, *two plate mold*, komposit, aluminium, *epoxy tooling block*

ABSTRACT

This study aims to design and manufacture a composite product mold in the form of a two-plate mold for the Toyota Innova Reborn car door handle cover product and to determine the difference between the machining time in the simulation and the actual machining time. This product can be used as an accessory for the Innova Reborn car. This study began with designing a mold that meets the design criteria. The CAD (computer aided design) software used by researchers in this study is SolidWorks 2022 for mold design and Autodesk Fusion 360 for the CAM (computer aided manufacture) process in the form of machining simulations to work instructions for CNC machines. The mold machining process was carried out with a CNC Supermill MK 2.0 machine. The mold made in this study was made from Aluminum 5052 and Epoxy Tooling Block. In this study, the mold was successfully made by CNC milling according to the design that had been designed. The machining duration resulting from the machining simulation results in Autodesk Fusion 360 software is 23 hours 24 minutes 56 seconds for the cavity plate and 21 hours 27 minutes 46 seconds for the core plate, while the actual machining duration obtained from the machining process with the Supermill MK 2.0 machine is 25 hours 43 minutes 15 seconds for the cavity plate and 23 hours 18 minutes 1 second for the core plate.

Keywords: CNC Milling, two plate mold, composite, aluminium, epoxy tooling block

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER.....	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Perancangan	3
1.5 Manfaat 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 Cetakan.....	6
2.2.2 <i>Computer Aided Design (CAD)</i>	7
2.2.3 <i>Computer Aided Manufacture (CAM)</i>	8

2.2.4	<i>Computer Numerical Control (CNC)</i>	8
2.2.5	Parameter Pemesinan	9
2.2.6	Aluminium	11
2.2.7	<i>Epoxy Tooling Block</i>	11
2.2.8	<i>Resin Transfer Molding</i>	12
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		13
3.1	Alur Penelitian	13
3.2	Peralatan dan Bahan	14
3.3	Perancangan	17
3.3.1	Kriteria Desain	17
3.3.2	Kriteria Cetakan.....	18
3.3.3	Perancangan Perangkat Lunak.....	18
3.4	Simulasi Pemesinan	18
3.5	Persiapan Benda Kerja	22
3.6	Pemesinan	23
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		26
4.1	Hasil Perancangan.....	26
4.2	Hasil Pemesinan dan Perbandingan Estimasi Waktu.....	28
4.3	Kendala Pada Proses Pemesinan.....	30
BAB 5 PENUTUP		31
5.1	Kesimpulan	31
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	31
DAFTAR PUSTAKA		32

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Peralatan	14
Tabel 3-2 Bahan	16
Tabel 3-3 Parameter Pemesinan <i>cavity & core plate part 1 & 3 (epoxy tooling block)</i>	20
Tabel 3-4 Parameter Pemesinan <i>cavity & core plate part 2 (aluminium)</i>	21
Tabel 4-1 Perbandingan waktu pada simulasi dan aktual <i>cavity plate</i>	29
Tabel 4-2 Perbandingan waktu pada simulasi dan aktual <i>core plate</i>	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 (a) <i>Open mold</i> , (b) <i>Closed mold</i>	6
Gambar 2-2 Manufaktur menggunakan CAD.....	7
Gambar 2-3 Simulasi <i>milling</i> menggunakan CAM.....	8
Gambar 2-4 Jarak antar lintasan pemakanan	9
Gambar 2-5 Jarak antar lintasan pemakanan pada sumbu Z.....	9
Gambar 2-6 <i>Spindle speed</i>	10
Gambar 2-7 <i>Feedrate</i>	10
Gambar 2-8 Aluminium	11
Gambar 2-9 <i>Epoxy tooling block</i>	11
Gambar 3-1 Diagram alur penelitian.....	13
Gambar 3-2 <i>Cover handle</i> pintu Innova Reborn.....	17
Gambar 3-3 <i>Import</i> desain	19
Gambar 3-4 Mengatur titik <i>origin</i> pada benda kerja.....	19
Gambar 3-5 Mengatur selisih antara benda kerja dan <i>stock</i> yang akan digunakan.	20
Gambar 3-6 Simulasi pemesinan <i>cavity plate</i>	21
Gambar 3-7 Simulasi pemesinan <i>core plate</i>	21
Gambar 3-8 (a) <i>Facing</i> aluminium, (b) <i>Facing epoxy tooling block</i>	22
Gambar 3-9 Mencekam benda kerja pada ragum	23
Gambar 3-10 Menjalankan proses <i>homing</i> pada mesin CNC	23
Gambar 3-11 Memasang mata pahat pada <i>collet</i> ER32.....	24
Gambar 3-12 Mengatur titik 0 pada benda kerja	24
Gambar 3-13 Melakukan <i>stream g-code</i>	25
Gambar 3-14 Pemesinan cetakan	25
Gambar 4-1 (a) Cetakan <i>two plate mold</i> , (b) <i>Cavity plate</i> , (c) <i>Core plate</i>	26

Gambar 4-2 (a) <i>Guide pin</i> pada <i>cavity plate</i> , (b) <i>Guide bush</i> dan <i>return pin</i> pada <i>core plate</i>	23
Gambar 4-3 <i>Cavity plate</i> setelah dibagi menjadi 3	27
Gambar 4-4 <i>Core plate</i> setelah dibagi menjadi 3.....	27
Gambar 4-5 Jalur aliran resin.....	25
Gambar 4-6 Hasil cetakan (a) <i>Cavity plate</i> , (b) <i>Core plate</i>	25
Gambar 4-7 Mata pahat yang patah	30
Gambar 4-8 <i>Pot</i> pada benda kerja.....	30

DAFTAR NOTASI

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri otomotif saat ini menjadikan kendaraan bermotor sebagai sarana mobilitas yang penting untuk manusia guna mempermudah kegiatan manusia. Kendaraan roda 4 atau mobil penumpang menjadi salah satu kendaraan bermotor yang paling banyak digunakan di Indonesia dengan jumlah pengguna sebesar 17.168.862 unit (B. P. Statistik, 2022). Di antara berbagai pilihan, Mobil Innova Reborn menjadi salah satu yang paling populer di Indonesia. Berdasarkan data dari Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo), Mobil jenis Innova Reborn menjadi mobil nomor dua terlaris di Indonesia per 2024 dengan angka penjualan sebesar 2.929 unit.

Seiring dengan berkembangnya teknologi, material campuran atau komposit semakin banyak digunakan karena material komposit memiliki sifat-sifat mekanis tertentu. Saat ini, pemanfaatan material komposit dalam kehidupan sehari-hari sangat beragam, seperti pada pembuatan peralatan rumah tangga, bagian mesin seperti mobil, dan sepeda motor yang terbuat dari bahan komposit polimer. Pemanfaatan komposit polimer dalam pembuatan komponen mobil telah terbukti efektif dalam menyeimbangkan fungsi kendaraan, misalnya dengan mengurangi bobot dan meningkatkan keselamatan penumpang (Ezekwem, 2016). Terdapat beberapa metode pembuatan material komposit antara lain, *hand lay-up*, *compression molding*, *vacuum infusion*, dan *resin transfer molding*. Proses pembuatan material komposit yang paling banyak digunakan adalah metode *hand lay-up* (Kumarasamy et., al., 2019). Akan tetapi, pendekatan ini memiliki kelemahan yaitu tingginya kemungkinan adanya ruang udara atau kekosongan pada produk. Ruang udara muncul karena udara terjebak di dalam komposit dan bagian kosong tidak terisi oleh matriks. Untuk itu, dibutuhkan metode yang lebih canggih untuk mengurangi gejala porositas pada bahan komposit (Mohamed et., al., 2020).

Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk membuat cetakan produk komposit yang terbaru menggunakan mesin CNC Supermill MK 2.0 guna mendapatkan hasil yang presisi serta mengembangkan pembuatan produk komposit

dengan merancang cetakan menggunakan perangkat lunak desain komputer (CAD) untuk membuat desain cetakan, dan perangkat lunak manufaktur berbasis komputer (CAM) untuk menyusun strategi pemesinan serta simulasi dan mengubah desain tersebut menjadi instruksi kerja. Waktu pemesinan hasil simulasi dibandingkan dengan waktu aktual pada mesin CNC untuk mengevaluasi akurasi perencanaan proses. Hasil perbandingan ini digunakan untuk mengidentifikasi efisiensi *toolpath*, akurasi *post-processor*, serta faktor-faktor eksternal yang memengaruhi performa pemesinan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diselesaikan, yaitu:

1. Bagaimana proses merancang cetakan menggunakan perangkat lunak berbasis CAD?
2. Bagaimana proses dan kendala dalam pembuatan cetakan menggunakan perangkat lunak berbasis CAM dengan mesin CNC *milling* Supermill MK 2.0?
3. Seberapa besar selisih waktu antara simulasi pada simulasi di perangkat lunak CAM dengan durasi aktual pemesinan pada mesin CNC?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang ada, berikut batasan masalah yang membatasi lingkup penelitian ini:

1. Perancangan cetakan menggunakan perangkat lunak CAD.
2. Perancangan strategi pemesinan dan simulasi pemesinan menggunakan perangkat lunak CAM.
3. Pemesinan dilakukan dengan mesin CNC *milling* Supermill MK 2.0.
4. Cetakan terbuat dari material Aluminium 5052 dan *Epoxy Tooling Block*.

1.4 Tujuan Perancangan

Tujuan dari perancangan ini, antara lain:

1. Untuk merancang dan membuat cetakan produk *cover handle* pintu Toyota Innova Reborn.
2. Untuk mengetahui berbagai kendala yang dihadapi dalam proses pembuatan cetakan *cover handle* pintu Toyota Innova Reborn.
3. Untuk mengetahui selisih waktu antara estimasi pada perangkat lunak dan durasi aktual saat pemesinan pada mesin CNC Supermill MK 2.0.

1.5 Manfaat Perancangan

Manfaat yang diharapkan dari perancangan ini, antara lain:

1. Untuk memberikan pengetahuan mengenai proses pembuatan cetakan melalui CNC *milling*.
2. Untuk mengembangkan inovasi baru untuk cetakan pada produk *cover handle* pintu Innova Reborn.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut urutan dan sistematika penulisan yang dilakukan:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah tujuan perancangan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai kajian pustaka dan menjelaskan dasar teori yang digunakan dalam perancangan yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan alur penelitian, peralatan dan bahan, serta proses pengerjaan dari penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil dari proses pengerjaan, dan pembahasan dari penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan dan saran untuk perancangan selanjutnya agar lebih baik selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Metode yang umum digunakan adalah metode *vacuum infusion*. Metode ini terdapat proses *vacuum* di dalamnya sehingga meminimalisir kemungkinan adanya rongga udara dan memastikan produk tidak memiliki ketebalan yang tidak rata yang disebabkan oleh resin yang berlebih. Namun, tanpa keterampilan yang tepat, kemungkinan kebocoran pada *vacuum bag* tinggi, membuat metode ini sulit digunakan dan relatif mahal (Nugraha dkk., 2022).

Terdapat beberapa metode lain dalam proses pembuatan produk material komposit, salah satunya adalah metode *resin transfer molding* (RTM). *Resin transfer molding* adalah metode pencetakan suatu produk komposit menggunakan cetakan tertutup. Lapisan material serat disusun pada sisi cetakan utama, kemudian cetakan ditutup untuk membiarkan lapisan material serat yang tersusun memadat. Resin kemudian disuntikkan ke dalam cetakan menggunakan tekanan positif titik input resin yang terdapat pada cetakan sehingga resin menggantikan udara yang terperangkap di lapisan serat. Proses ini dilakukan dengan menggunakan ruang hampa untuk memastikan tidak ada udara yang terperangkap (Laurenzi & Marchetti, 2012). Metode RTM memberikan hasil cetakan yang lebih baik dari metode lay up yaitu antara lain permukaan yang rata dan halus, toleransi lebih kecil, kemampuan mencetak desain yang lebih kompleks hingga perputaran produksi yang lebih cepat (Fong & Advani, 1998). Sebagai proses manufaktur, RTM membutuhkan beberapa faktor yang perlu dilibatkan pada pembuatan mold. Faktor tersebut khususnya adalah aliran injeksi resin. Faktor-faktor yang perlu diperhitungkan yaitu antara lain geometri cetakan yang memudahkan aliran resin, dan tingkat pembasahan serat (Potter, 1999).

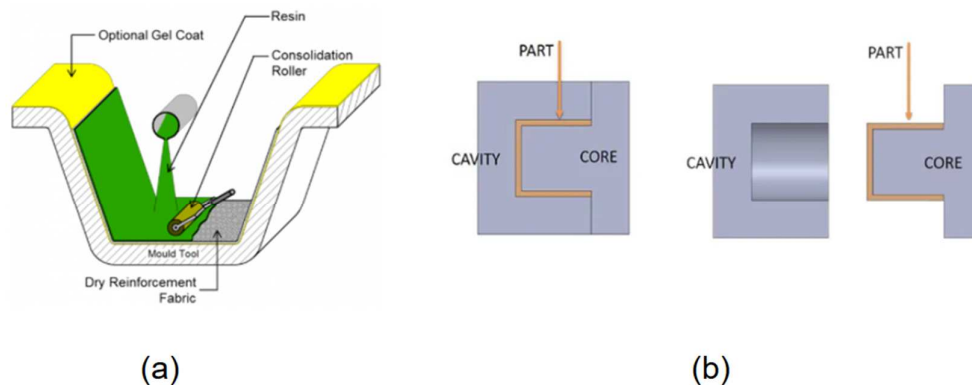
Metode RTM menggunakan cetakan *two plate mold*. Proses pembuatan cetakan RTM ini penulis memilih untuk menggunakan mesin CNC untuk mendapatkan hasil yang presisi dan maksimal. Mengacu kepada penelitian sebelumnya yang telah dipelajari, parameter yang digunakan untuk memperoleh waktu seefisien mungkin yaitu *step over* sebesar 0.4 mm, *step down* sebesar 0.2

mm, *feed rate* sebesar 250 hingga 800 mm/min, dan *spindle speed* sebesar 4000 hingga 5000 rpm.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Cetakan

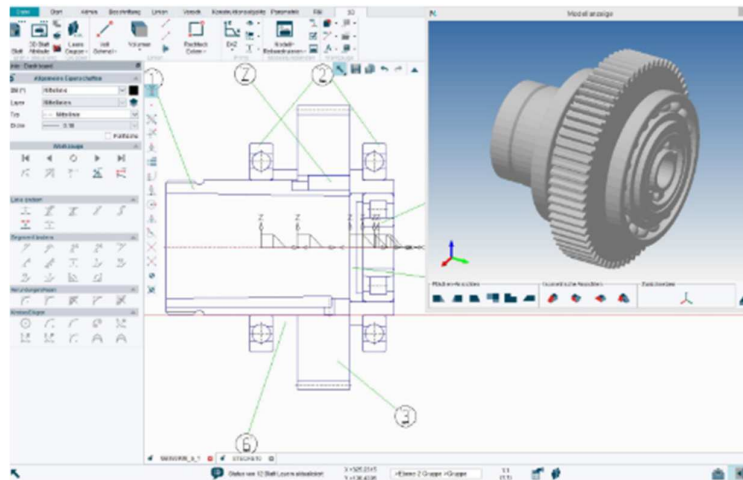
Cetakan (*mold*) adalah sebuah alat bantu berupa rongga tempat bahan leleh dituangkan untuk memperoleh sebuah bentuk yang diinginkan. Cetakan digunakan sebagai alat bantu pada proses pembuatan sebuah produk. Terdapat dua jenis dasar cetakan yang umum digunakan di industri komposit yaitu *open mold* (cetakan terbuka) dan *closed mold* (cetakan tertutup). Cetakan terbuka adalah cetakan satu sisi yang resin terekspos ke udara. Cetakan terbuka digunakan pada metode mencetak *hand lay-up* dan *spray molding* sedangkan cetakan tertutup adalah cetakan dua sisi atau lebih yang membuat rongga cetakan tertutup secara sempurna. Cetakan tertutup digunakan pada metode mencetak *vacuum infusion*, *resin transfer molding*, *reaction injection molding*, dan *compression molding*. Berikut ilustrasi cetakan terbuka dan tertutup dapat dilihat di Gambar 2-1 di bawah ini.



Gambar 2-1 (a) *Open mold*, (b) *Closed mold*

2.2.2 *Computer Aided Design (CAD)*

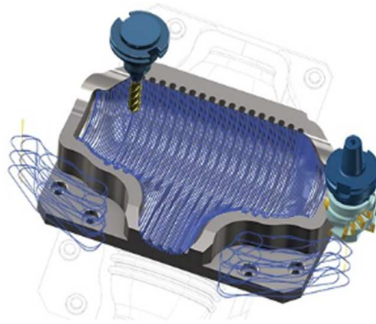
Computer Aided Design (CAD) apabila diartikan secara bahasa adalah perancangan dibantu komputer. CAD adalah penggunaan teknologi komputer untuk membantu proses desain dan pembuatan gambar teknis, model 2D dan 3D di berbagai bidang seperti teknik sipil, arsitektur, teknik mesin, dan manufaktur. CAD memungkinkan perancang dan insinyur untuk membuat, memodifikasi, menganalisis, dan mengoptimalkan desain secara lebih efisien daripada metode manual (Zeid, 2014). Berikut beberapa perangkat lunak yang digunakan untuk CAD antara lain, AutoCAD, Solidworks, fusion 360, dan Inventor. Contoh penggunaan CAD pada perangkat lunak dapat dilihat di gambar 2-2 di bawah ini.



Gambar 2-2 Desain manufaktur menggunakan CAD

2.2.3 *Computer Aided Manufacture (CAM)*

Computer Aided Manufacture atau yang biasa disebut CAM adalah pengembangan teknologi yang digunakan sebagai alat bantu dalam mewujudkan desain produk hingga menjadi sebuah produk akhir. Proses produksi membutuhkan pengendalian dan penyesuaian untuk proses fisik, peralatan, dan tenaga kerja. Dengan adanya CAM, komputer membantu perancang serta pekerja produksi dengan mengotomatisasikan pekerjaan produksi (Ningsih, 2005). Dengan desain yang sudah didapatkan dengan CAD, CAM dapat membantu perencanaan proses produksi dan memberikan instruksi dalam bentuk CNC yang akan digunakan pada mesin otomatis (Rudolf et. al., 2015), seperti ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 2-3. Berikut beberapa perangkat lunak yang digunakan untuk CAM antara lain Fusion 360, MasterCAM, dan Powermill.



Gambar 2-3 Simulasi *milling* menggunakan CAM

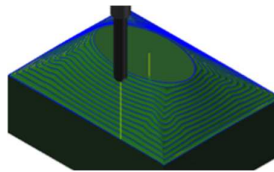
2.2.4 *Computer Numerical Control (CNC)*

Computer Numerical Control (CNC) merupakan sistem otomatisasi pada mesin perkakas yang bekerja berdasarkan perintah yang telah diprogram melalui CAM dan disimpan dalam media penyimpanan. Berbeda dengan metode konvensional, di mana pengoperasian mesin perkakas dilakukan secara manual menggunakan roda tangan atau melalui otomasi sederhana. CNC memungkinkan berbagai mesin seperti bubut, frais (*milling*), dan pemotong laser beroperasi dengan tingkat presisi yang tinggi berdasarkan instruksi yang diprogram dalam bentuk kode numerik (*G-code*) (Groover, 2010).

2.2.5 Parameter Pemesinan

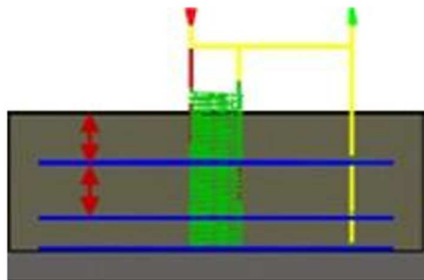
Pembuatan produk dengan CNC membutuhkan perancangan pemesinan yang disimulasikan terlebih dahulu menggunakan CAM. Terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan di dalam proses perancangannya antara lain *step over*, *step down*, *spindle speed*, dan *feed rate*.

Step over adalah jarak antara lintasan dari alat pemotong selama pemesinan menggunakan CNC pada sumbu X dan Y seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2-4.



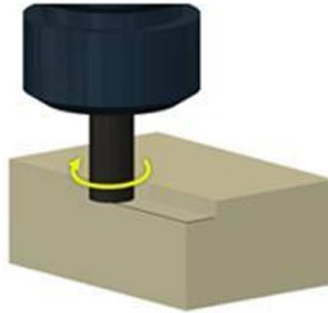
Gambar 2-4 Jarak antar lintasan pemakanan

Berbeda dengan *step over*, *step down* adalah jarak antara lintasan dari alat pemotong selama pemesinan menggunakan CNC pada sumbu Z seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2-5.



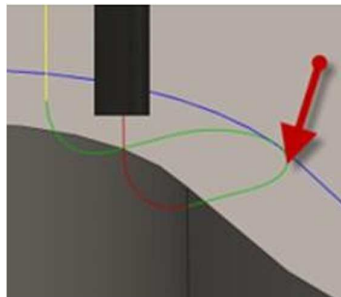
Gambar 2-5 Jarak antar lintasan pemakanan pada sumbu z

Spindle speed adalah kecepatan putaran spindel alat pemotong pada CNC yang diukur dalam satuan putaran per menit (RPM) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2-6.



Gambar 2-6 *Spindle speed*

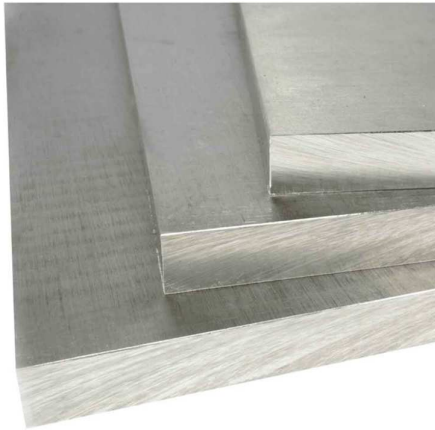
Feed rate adalah kecepatan pemakanan. *Feed rate* merupakan faktor penting dalam menentukan seberapa cepat proses pemakanan. Ilustrasi *feed rate* dapat dilihat di Gambar 2-7 berikut.



Gambar 2-7 *Feedrate*

2.2.6 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan dengan warna putih keperakan yang memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi, mampu menghantarkan listrik, dan mudah dibentuk. Karena densitasnya yang rendah serta kemampuannya untuk menjadi kuat saat dipadukan dengan unsur lain, aluminium banyak dimanfaatkan dalam berbagai sektor seperti otomotif, penerbangan, konstruksi, dan industri kemasan (Smith & Hashemi, 2010). Material aluminium dapat dilihat di gambar 2-8 dibawah ini.



Gambar 2-8 Aluminium

2.2.7 Epoxy Tooling Block

Epoxy tooling block merupakan material padat yang terbuat dari resin epoksi, yang dimanfaatkan untuk pembuatan peralatan seperti cetakan (*mold*), jig, fixture, serta model utama (*master model*) dalam proses manufaktur, terutama di bidang komposit, otomotif, dan industri dirgantara (Mallick P. K., 2007). Akan tetapi material ini memiliki sifat mekanis yang cukup getas. *Epoxy tooling block* terlihat seperti gambar 2-9 di bawah ini.



Gambar 2-9 Epoxy tooling block

2.2.8 Resin Transfer Molding

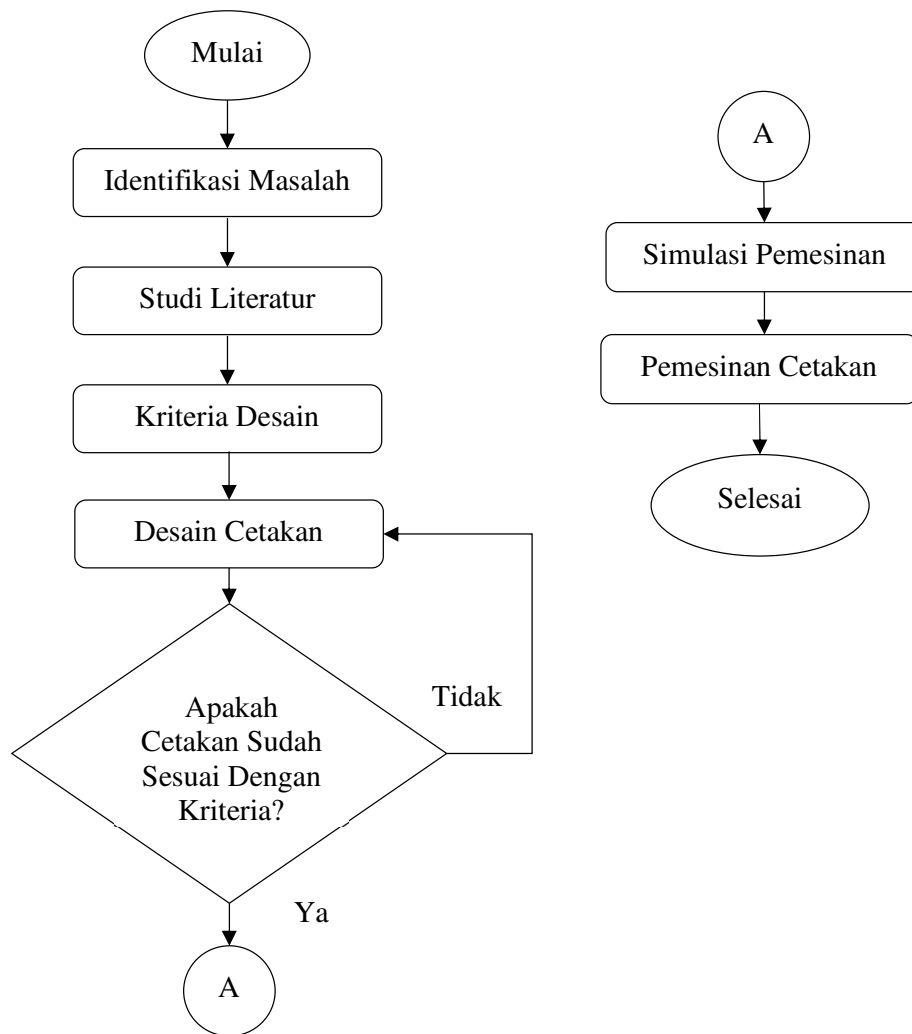
Resin transfer molding adalah metode pembuatan produk komposit yang menggunakan cetakan tertutup. Proses pencetakan dilakukan dengan menyuntikkan resin cair ke dalam cetakan tertutup yang telah berisi serat penguat yang telah tersusun. Setelah penyuntikkan, resin dibiarkan mengeras untuk membentuk produk komposit akhir. Metode RTM memiliki kelebihan dapat menghasilkan produk komposit yang memiliki kualitas tinggi dan konsistensi yang baik dikarenakan oleh metode cetakan tertutup serta menghasilkan limbah yang relatif lebih sedikit (Isoldi et., al., 2012).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini seperti yang tertera di Gambar 3-1 di bawah ini.



Gambar 3-1 Diagram alur penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

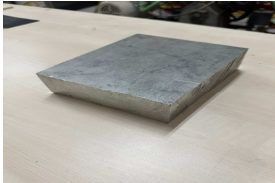
Adapun alat dan bahan yang diperlukan sebagai pendukung dalam proses pembuatan dapat dilihat di Tabel 3-1 dan Tabel 3-2 berikut.

Tabel 3-1 Peralatan

No.	Nama Alat	Kegunaan	Gambar
1	Alat Tulis	Untuk mencatat hal yang dibutuhkan	
2	<i>Collet</i> ER 32	Untuk mengikat mata pahat	
3	Gergaji/ <i>Bandsaw</i>	Untuk memotong material	
4	HP/ <i>Smartphone</i>	Untuk mengambil foto dan video sebagai dokumentasi	
5	Jangka Sorong	Untuk mengukur dimensi benda kerja	
6	Kunci ER 32	Untuk mengencangkan dan mengendorkan material	

No.	Nama Alat	Kegunaan	Gambar
7	Kunci Pas	Untuk mengencangkan atau mengendorkan <i>Hydraulic Vice</i>	
8	Laptop	Untuk mengoperasikan perangkat lunak CAD dan CAM	
9	Mata Pahat <i>Endmill</i> 4	Untuk mengurai material	
10	Mata Pahat <i>Endmill</i> 10	Untuk mengurai material	
11	Mata Pahat <i>Ballnose</i> 4	Untuk mengurai material	
12	Mistar	Untuk mengukur dimensi benda kerja	
13	Mesin Frais	Untuk melakukan proses pemesian	
14	Mesin CNC <i>Milling</i> Supermill MK 2.0	Untuk melakukan proses pemesian	

Tabel 3-2 Bahan

No	Nama Bahan	Kegunaan	Gambar
1	Aluminium	Benda kerja	
2	Epoxy Tooling Block	Benda kerja	
3	<i>Coolant</i>	Untuk pendingin proses <i>Milling</i>	
4	Oli	Untuk pelumas mesin <i>Milling</i>	
5	Air	Untuk campuran <i>Coolant</i>	
6	Lem berbahan dasar resin epoxy	Bahan perekat	

3.3 Perancangan

Proses perancangan dimulai dengan memilih komponen yang akan dibuatkan cetakan. Dalam penelitian ini, penulis memilih *cover handle* pintu innova reborn seperti pada Gambar 3-2. Pemilihan komponen tersebut dikarenakan komponen ini merupakan aksesoris modifikasi innova reborn yang sangat digemari. Komponen ini merupakan salah satu komponen yang paling menonjol sehingga dengan adanya aksesoris material komposit dapat memberikan nilai visual yang baik.



Gambar 3-2 *Cover handle* pintu innova reborn

3.3.1 Kriteria Desain

Setelah menentukan produk yang akan dibuat dilanjutkan dengan penentuan kriteria desain yang merupakan target dalam perancangan cetakan ini. Kriteria desain yang ditentukan adalah sebagai berikut:

1. Cetakan yang dirancang dapat dibuat menggunakan mesin CNC *milling* Supermill MK 2.0.
2. Cetakan yang dirancang dapat mencetak produk komposit dengan metode *resin transfer molding*.
3. Memberikan sistem yang memudahkan proses lepas pasang pada cetakan.
4. Menghasilkan produk dengan ketebalan 1 mm.

3.3.2 Kriteria Cetakan

Menyesuaikan dengan kriteria desain yang sudah ditentukan, berikut adalah kriteria cetakan yang diharapkan:

1. Memiliki permukaan yang halus.
2. Memiliki ruang untuk *seal* karet yang berfungsi untuk menghindari adanya kebocoran saat proses *vacuum*.
3. Memiliki akses *vacuum*, *input*, dan *output*.
4. Memiliki jalur aliran resin.

3.3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan cetakan dibuat sesuai dengan kriteria desain yang sudah ditentukan. Perancangan cetakan dilakukan menggunakan perangkat lunak CAD. Proses perancangan diawali dengan menentukan konstruksi dari cetakan. Diperlukan penambahan komponen *guide pin* dan *guide bush* sebagai tempat pertemuan antara *cavity plate* dan *core plate*. Berikut tahapan proses perancangan cetakan.

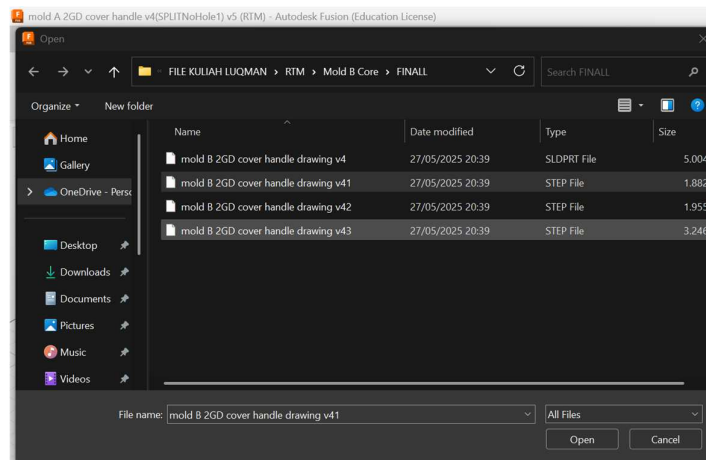
1. Membuka *software* CAD lalu *import* desain produk yang telah dimiliki.
2. Mengatur besar dimensi dari cetakan.
3. Memilih sisi bagian produk yang akan menjadi *core plate* dan bagian *cavity plate*.
4. Memberikan komponen *guide pin* dan *guide bush* pada cetakan.
5. Membuat *return pin* menggunakan *extrude cut* pada cetakan.
6. Setelah cetakan selesai dirancang, agar cetakan dapat dibuat menggunakan mesin CNC Supermill MK 2.0, cetakan perlu dibagi menjadi tiga bagian. Sehingga memiliki ukuran yang sesuai dengan ukuran mesin CNC Supermill MK 2.0.

3.4 Simulasi Pemesinan

Sebelum melakukan pemesinan, desain 3D yang sudah dirancang harus melalui proses CAM pada perangkat lunak agar mendapatkan *g-code* yang akan digunakan di mesin CNC. Proses CAM dilakukan dengan membuat simulasi

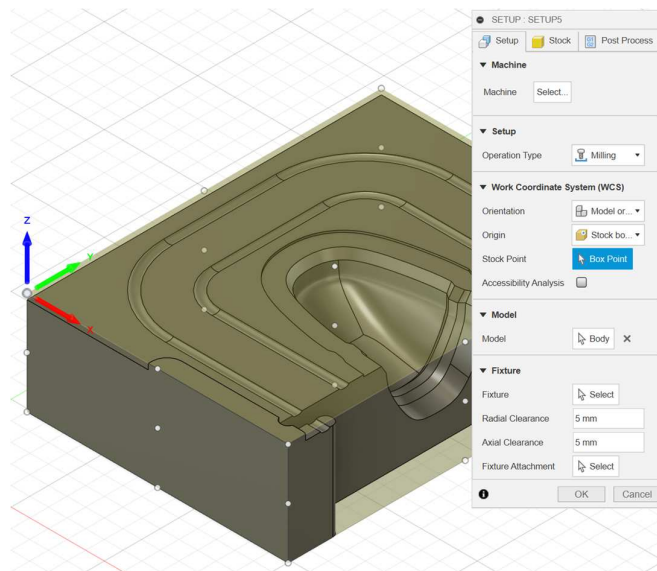
pemesinan pada perangkat lunak dan menentukan parameter-parameter pemesinan apa saja yang digunakan guna memaksimalkan efektifitas pemesinan serta mendapatkan hasil yang maksimal. Proses ini dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu:

1. Membuka perangkat lunak Autodesk Fusion 360 dan melakukan *import* desain yang sudah dibuat sebelumnya. Seperti yang terlihat pada gambar 3-3 di bawah ini.



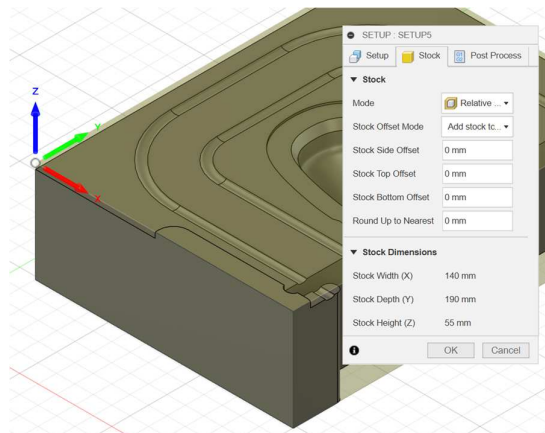
Gambar 3-3 *Import* desain

2. Menentukan titik *origin* sumbu X, Y, dan Z pada benda kerja, seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3-4 Mengatur titik *origin* pada benda kerja

3. Mengatur besar selisih antara benda kerja dengan *stock* yang akan disiapkan. Seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3-5 Mengatur selisih antara benda kerja dan *stock* yang akan digunakan

4. Memilih strategi pemesinan, mata pahat, dan parameter pemesinan yang akan digunakan pada saat pemesinan. Pemilihan mata pahat dan parameter pemesinan dipengaruhi oleh jenis material dan bentuk desain yang akan dilakukan pemesinan. Pada penelitian ini parameter pemesinan yang digunakan mengacu pada penelitian sebelumnya guna memperoleh pemesinan yang efektif dan maksimal. Strategi pemesinan yang diperoleh dapat dilihat di tabel di bawah ini.

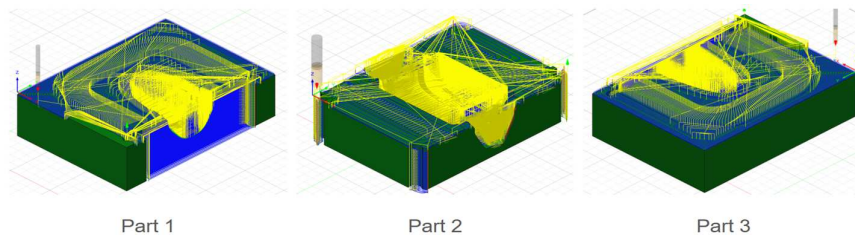
Tabel 3-3 Parameter pemesinan *cavity & core plate part 1 & 3*
(*epoxy tooling block*)

Tahap	<i>Roughing</i>	<i>Finishing</i>
Strategi Pemesinan	<i>Adaptive Clearing</i>	<i>Steep And Shallow</i>
Mata Pahat	<i>Flat End Mill 4 mm</i>	<i>Ball End Mill 4 mm</i>
<i>Step Over</i>	0.4 mm	0.4 mm
<i>Step Down</i>	0.3 mm	0.3 mm
<i>Feedrate</i>	800 mm/min	1000 mm/min
<i>Spindle Speed</i>	5000 rpm	5000 rpm
<i>Tolerance</i>	0.01 mm	0.01 mm

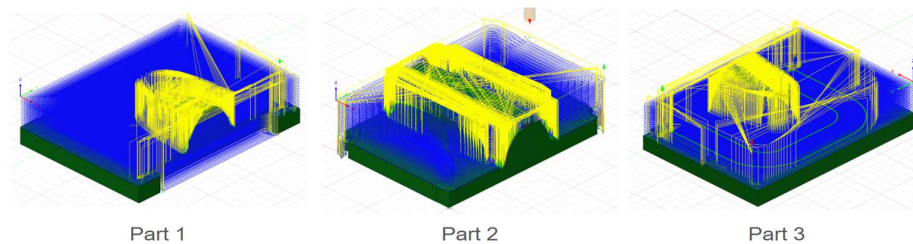
Tabel 3-4 Parameter Pemesinan *cavity & core plate part 2* (aluminium)

Tahap	<i>Roughing 1</i>	<i>Roughing 2</i>	<i>Finishing</i>
Strategi Pemesinan	<i>Adaptive Clearing</i>	<i>Adaptive Clearing</i>	<i>Steep And Shallow</i>
Mata Pahat	<i>Flat End Mill</i> 10 mm	<i>Flat End Mill</i> 4 mm	<i>Ball End Mill</i> 4 mm
<i>Step Over</i>	0.4 mm	0.4 mm	0.4 mm
<i>Step Down</i>	0.2 mm	0.2 mm	0.2 mm
<i>Feedrate</i>	400 mm/min	800 mm/min	1000 mm/min
<i>Spindle Speed</i>	5000 rpm	5000 rpm	5000 rpm
<i>Tolerance</i>	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm

Tahap ini diakhiri dengan melakukan simulasi pemesinan pada perangkat lunak. Simulasi dilakukan dengan parameter-parameter pemesinan yang sudah ditentukan. Simulasi dapat dilihat di gambar 3-6 dan 3-7 di bawah ini.



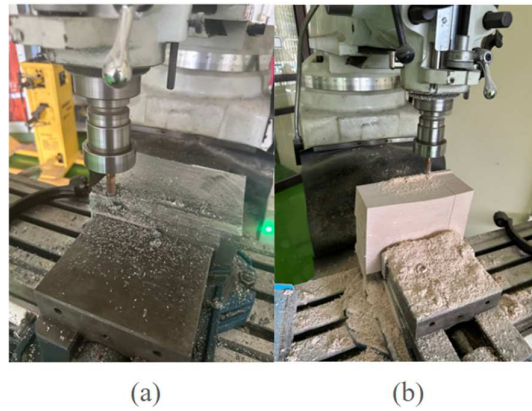
Gambar 3-6 Simulasi pemesinan *cavity plate*



Gambar 3-7 Simulasi pemesinan *core plate*

3.5 Persiapan Benda Kerja

Sebelum melakukan pemesinan, benda kerja harus disiapkan sesuai dengan yang terdapat di simulasi. Dimensi benda kerja yang akan digunakan saat pemesinan harus sesuai dengan yang ada di simulasi baik ukuran juga bentuknya. Benda kerja disiapkan melalui proses *facing* menggunakan mesin *frais*. Proses *facing* dapat dilihat seperti gambar 3-8 di bawah ini.



Gambar 3-8 (a) *Facing* aluminium, (b) *Facing epoxy tooling block*

3.6 Pemesinan

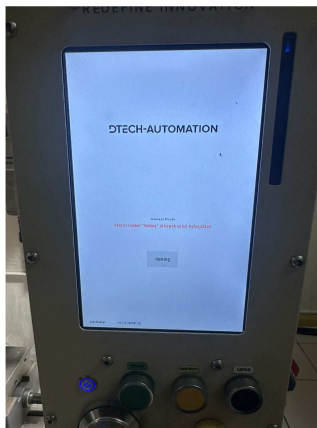
Desain cetakan yang sudah melalui proses CAM telah siap untuk proses pemesinan. Pemesinan dilakukan dengan mesin CNC *milling* Supermill MK 2.0 dengan parameter pemesinan serta *g-code* yang didapat dari perangkat lunak CAM. Material benda kerja yang sudah melalui proses *facing* juga telah siap untuk dilanjutkan ke proses pemesinan CNC. Berikut langkah-langkah dalam melakukan pemesinan cetakan pada mesin CNC:

1. Mencekam material benda kerja pada ragum yang ada di dalam mesin CNC. Seperti yang terlihat pada gambar 3-9 di bawah ini.



Gambar 3-9 Mencekam benda kerja pada ragum

2. Menyalakan mesin CNC dan menjalankan proses *homing* atau kalibrasi untuk meminimalisir *error*. Seperti yang terlihat di gambar 3-10 di bawah ini.



Gambar 3-10 Menjalankan proses *homing* pada mesin CNC

3. Memasang mata pahat pada *collet* ER32 sesuai dengan mata pahat yang ada pada simulasi. Seperti yang terlihat di gambar 3-11 di bawah ini.



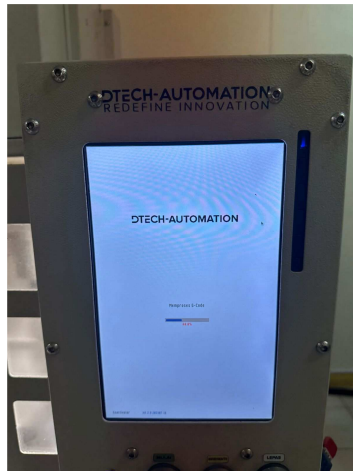
Gambar 3-11 Memasang mata pahat pada *collet* ER32

4. Menentukan titik *origin* benda kerja pada sumbu X, Y, dan Z. Lalu melakukan simpan *offset* untuk menjadikan titik *origin* sebagai titik 0. Seperti yang terlihat di gambar 3-12 di bawah ini.



Gambar 3-12 Mengatur titik 0 pada benda kerja

5. Apabila titik origin sudah dipastikan benar, langkah selanjutnya membuka *g-code* yang akan digunakan dan melakukan *stream g-code* pada mesin CNC. Seperti yang terlihat di gambar 3-13 di bawah ini.



Gambar 3-13 Melakukan *stream g-code*

6. Memulai pemesinan. Pemesinan lebih baik untuk selalu diawasi untuk meminimalisir kegagalan. Seperti yang terlihat di gambar 3-14 di bawah ini.



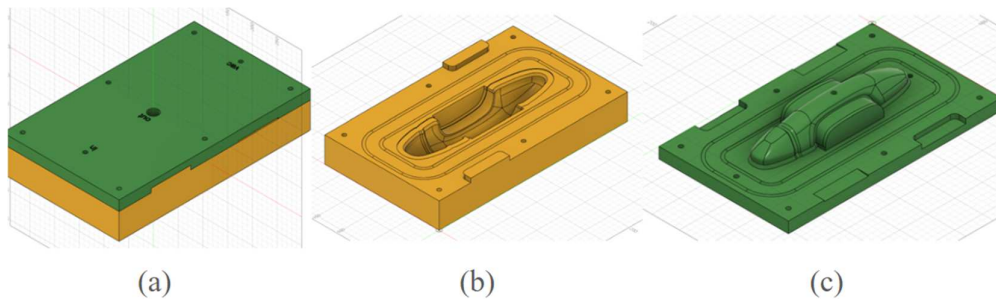
Gambar 3-14 Pemesinan cetakan

BAB 4

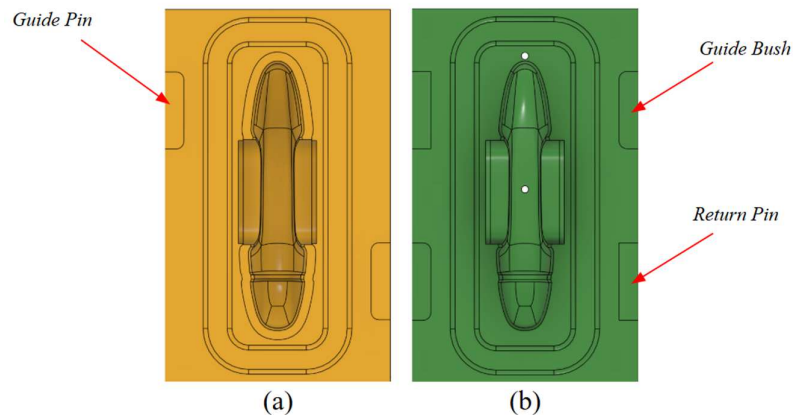
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

Desain cetakan telah dibuat menggunakan perangkat lunak CAD. Desain cetakan dibuat sesuai kriteria desain yang telah ditentukan. cetakan yang dirancang adalah *two plate mold* yang terdiri dari *cavity plate* dan *core plate*. Dimensi keseluruhan cetakan yaitu panjang 387 mm, lebar 190 mm, dan tebal 72mm. Hasil dari desain cetakan pada setiap *plate*-nya memiliki beberapa komponen tambahan seperti *guide pin*, *guide bush*, dan *return pin*. Penambahan komponen tersebut tentunya tidak semata-merta ditambahkan namun untuk mempermudah pemakaian dan proses lepas pasang cetakan saat mencetak produk komposit. Hasil desain cetakan terlihat seperti pada gambar 4-1 dan 4-2 di bawah ini.

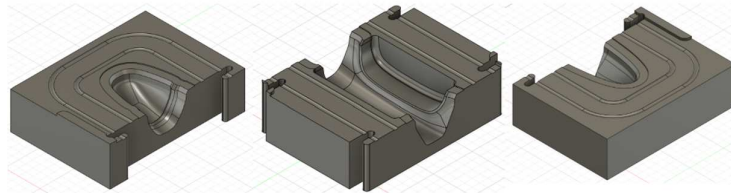


Gambar 4-1 (a) Cetakan *two plate mold*, (b) *Cavity plate*, (c) *Core plate*

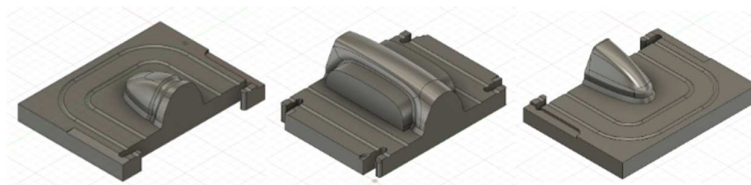


Gambar 4-2 (a) *Guide pin* pada *cavity plate*, (b) *Guide bush* dan *return pin* pada *core plate*

Ukuran cetakan harus disesuaikan dengan ukuran mesin CNC. Akan tetapi dikarenakan dimensi cetakan tidak dapat diperkecil maka cetakan perlu dibagi menjadi tiga bagian setiap sisinya. Hal ini dikarenakan ukuran maksimal ragum di mesin CNC Supermill MK 2.0 adalah 165 mm. Hasil pemotongan cetakan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

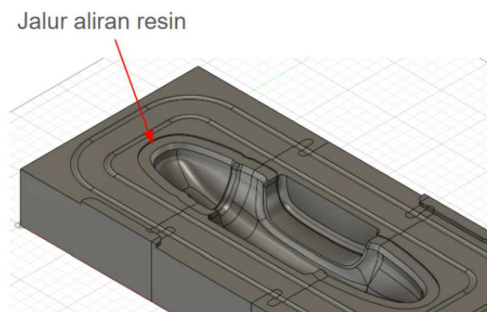


Gambar 4-3 *Cavity plate* setelah dibagi menjadi 3



Gambar 4-4 *Core plate* setelah dibagi menjadi 3

Desain cetakan yang dibuat telah memenuhi kriteria desain yaitu telah disesuaikan dimensinya dengan dimensi maksimal ragum pada mesin CNC, telah memenuhi kebutuhan untuk metode *resin transfer molding* yaitu dengan diberikannya ruang untuk *seal* karet dan tiga lubang yang terdiri dari *input*, *output*, dan *vacuum*, telah diberikan komponen yang memudahkan pemakaian dan proses lepas pasang cetakan yaitu *guide pin*, *guide bush*, dan *return pin*, serta telah memiliki jalur untuk aliran resin seperti yang terlihat pada gambar 4-5 dibawah ini.



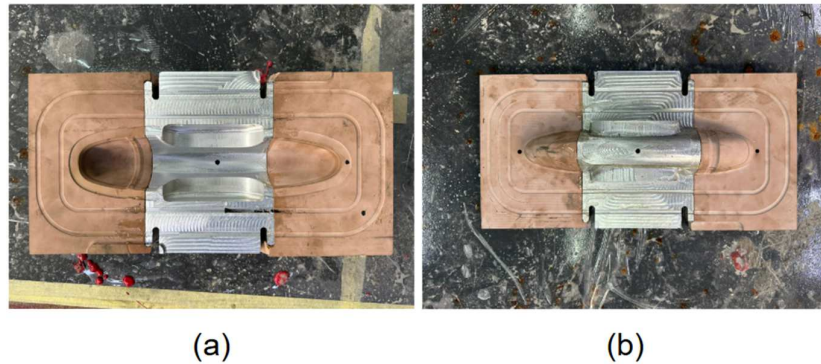
Gambar 4-5 Jalur aliran resin

4.2 Hasil Pemesinan dan Perbandingan Estimasi Waktu

Pemesinan cetakan dilakukan menggunakan mesin CNC Milling Supermill MK 2.0 dengan *g-code* yang didapat dari hasil proses CAM dengan perangkat lunak Autodesk Fusion 360. Pada proses pemesinan hal terpenting untuk dilakukan adalah menentukan titik *origin* pada sumbu X, Y, maupun Z. Ketelitian sangat diperlukan dalam menentukan titik *origin*, sebab apabila terjadi kesalahan pada titik *origin* akan mempengaruhi benda kerja dan mendapat hasil yang tidak maksimal.

Hasil pemesinan yang didapatkan sesuai dengan harapan yaitu memiliki permukaan yang belum cukup halus. Permukaan yang halus merupakan aspek yang sangat penting untuk cetakan karena berpengaruh pada hasil produk yang akan dicetak. Oleh karena itu, permukaan cetakan perlu dihaluskan lagi secara manual.

Material *epoxy tooling block* memiliki kekurangan yaitu memiliki sifat material yang cukup getas. Hal tersebut menyebabkan material sulit untuk disambung hanya dengan sambungan yang sudah terdapat pada desain. Oleh karena itu, cetakan juga perlu direkatkan menggunakan material berbahan dasar resin. Hasil cetakan yang telah di-*assembly* dapat dilihat di gambar 4-6 di bawah ini.



Gambar 4-6 Hasil cetakan (a) *Cavity plate*, (b) *Core plate*

Durasi waktu pemesinan aktual berbeda dengan estimasi waktu yang terdapat pada simulasi di perangkat lunak. Perbandingan durasi pemesinan aktual dan simulasi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4-1 Perbandingan Waktu pada Simulasi dan Aktual *Cavity Plate*

Proses	Durasi Simulasi	Durasi Pemesinan
<i>Roughing Part 1</i>	4:31:18	5:07:40
<i>Roughing A Part 2</i>	4:37:55	5:44:23
<i>Roughing B Part 2</i>	2:07:23	2:38:11
<i>Roughing Part 3</i>	2:45:56	3:06:12
<i>Finishing Part 1</i>	3:59:17	3:19:21
<i>Finishing Part 2</i>	2:35:29	2:52:48
<i>Finishing Part 3</i>	2:47:38	2:54:40
Total	23:24:56	25:43:15

Tabel 4-2 Perbandingan Waktu pada Simulasi dan Aktual *Core Plate*

Proses	Durasi Simulasi	Durasi Pemesinan
<i>Roughing Part 1</i>	3:58:55	4:18:20
<i>Roughing A Part 2</i>	3:55:13	4:23:32
<i>Roughing B Part 2</i>	0:53:09	1:12:21
<i>Roughing Part 3</i>	4:05:58	4:22:40
<i>Finishing Part 1</i>	2:24:09	2:27:53
<i>Finishing Part 2</i>	3:47:25	4:06:54
<i>Finishing Part 3</i>	2:22:57	2:26:21
Total	21:27:46	23:18:01

4.3 Kendala Pada Proses Pemesinan

Selama menjalani proses pemesinan, ditemukan beberapa kendala yang menghambat jalannya proses pemesinan. Kerusakan pada mata pahat yang menyebabkan proses pemesinan terhenti sementara. Kerusakan mata pahat tersebut disebabkan oleh kesalahan pada pengaturan yang membuat pergerakan mata pahat ke benda kerja terlalu cepat hingga merusak mata pahat. Seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4-7 Mata pahat yang patah

Selain mata pahat yang rusak, kendala yang dihadapi disaat pemesinan adalah pemadaman listrik. Pemadaman listrik membuat proses pemesinan tidak dapat dilanjutkan sehingga semua proses pemesinan harus diulangi dari awal. Pemadaman listrik ini cukup memakan waktu dan menimbulkan *pot* pada benda kerja. Seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4-8 *Pot* pada benda kerja

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil yaitu:

1. Cetakan *Cover Handle Door* Toyota Innova Reborn berhasil dibuat dan siap digunakan untuk memproduksi produk komposit berpenguat *carbon fiber*.
2. Terdapat beberapa kendala yang ditemukan saat proses pembuatan cetakan yaitu:
 - Rusaknya mata pahat yang diakibatkan oleh kesalahan pengaturan *feedrate* yang memberikan beban yang berlebih kepada mata pahat.
 - Terjadinya pemadaman listrik yang menyebabkan proses pemesinan harus terhenti dan harus diulang kembali dari awal.
3. Durasi pemesinan aktual yang diperoleh berbeda dengan waktu yang diperoleh pada proses pemesinan. Durasi pemesinan yang dihasilkan dari hasil simulasi pemesinan pada perangkat lunak Autodesk Fusion 360 adalah 23 jam 24 menit 56 detik untuk *cavity plate* dan 21 jam 27 menit 46 detik untuk *core plate*, sedangkan durasi pemesinan aktual yang didapat dari proses pemesinan dengan mesin Supermill MK 2.0 adalah 25 jam 43 menit 15 detik untuk *cavity plate* dan 23 jam 18 menit 1 detik untuk *core plate*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kendala yang ditemukan dimana salah satunya adalah kerusakan yang terjadi pada mata pahat. Untuk meminimalisir kemungkinan patahnya mata pahat, diharapkan memulai proses pemesinan dengan *feedrate* yang rendah. Ketika pemesinan telah berjalan dengan stabil, *feedrate* dapat ditingkatkan secara perlahan hingga sesuai dengan nilai *feedrate* yang ada pada simulasi.

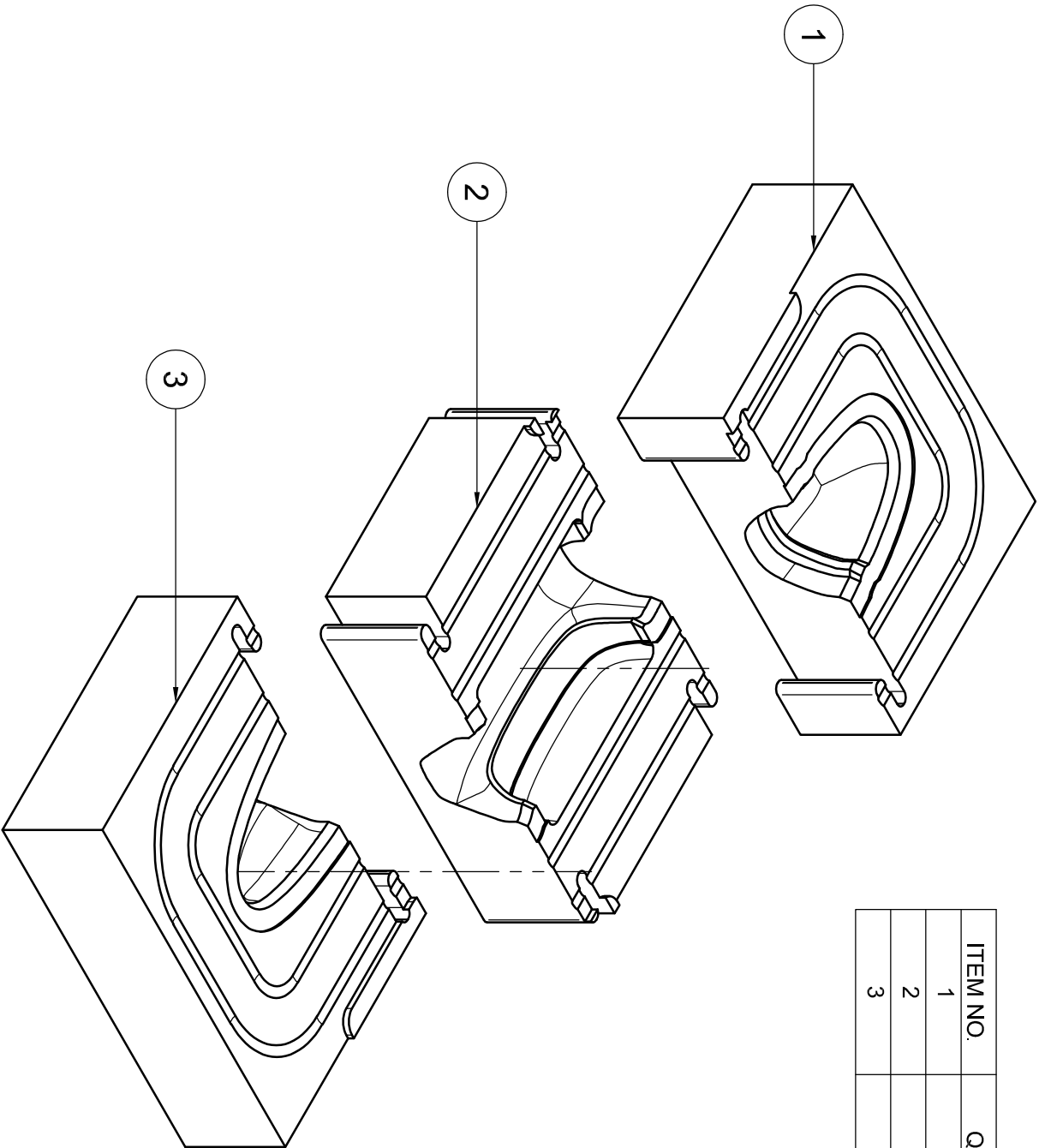
DAFTAR PUSTAKA

- B. P. Statistik. (2022). Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit). Badan Pusat Statistik, 19-22
- Ezekwem, C. I. (2016). Composite Materials Literature review for Car bumper Composite Materials Literature review. ResearchGate, August.
- Fong, L. and Advani, S.G., 1994, The role of drapability of fiber preforms in resin transfer molding, Amer. Soc. Comp., Proc. 9th Tech. Conf., 1246.
- Groover, M. P. (2010). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson Education
- Isoldi, L. A., Oliveira, C. P., Rocha, L. A. O., Souza, J. A., & Amico, S. C. (2012). Three-dimensional numerical modeling of RTM and LRTM processes. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 34(2). <https://doi.org/10.1590/S1678-58782012000200001>
- Laurenzi, S., & Marchetti, M. 2012. Advance Composite Material By Resin Transfer Molding For Aerospace Applications. Hu, Ning. (Editor). Composites and Their Properties. IntechOpen.
- Mallick, P. K. (2007). Fiber-reinforced composites: Materials, manufacturing, and design, third edition. In Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design, Third Edition.
- Mohamed, M., Selim, M. M., Ning, H., & Pillay, S. (2020). Effect of fiber prestressing on mechanical properties of glass fiber epoxy composites manufactured by vacuum-assisted resin transfer molding. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 39(1–2). <https://doi.org/10.1177/0731684419868841>
- Ningsih, D. H. U. (2005). Computer Aided Design / Computer Aided Manufacture [CAD/CAM]. *Dinamik*, 10(3).
- Potter, K. D. (1999). Early history of the resin transfer moulding process for aerospace applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 30(5). [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(98\)00179-1](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(98)00179-1)

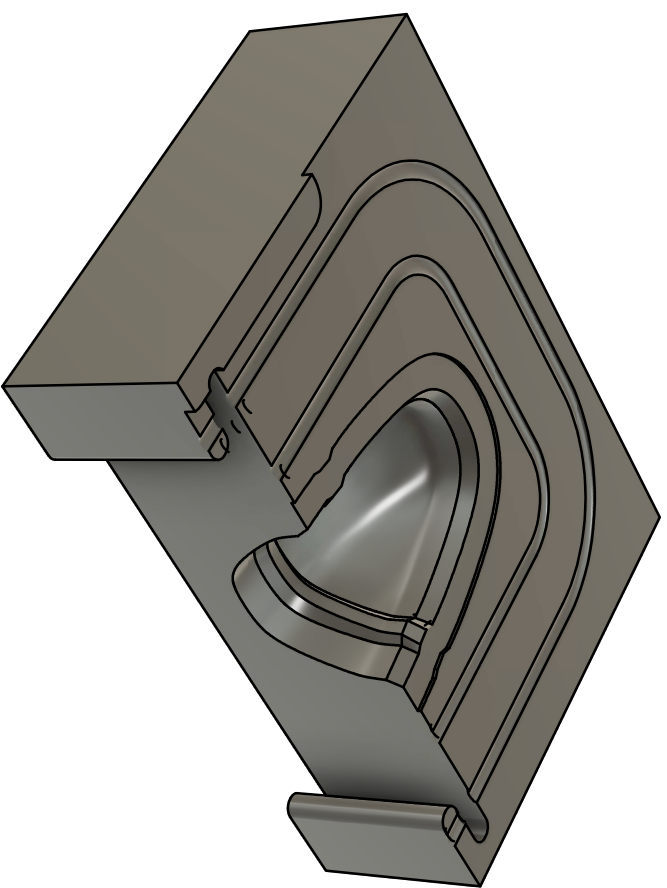
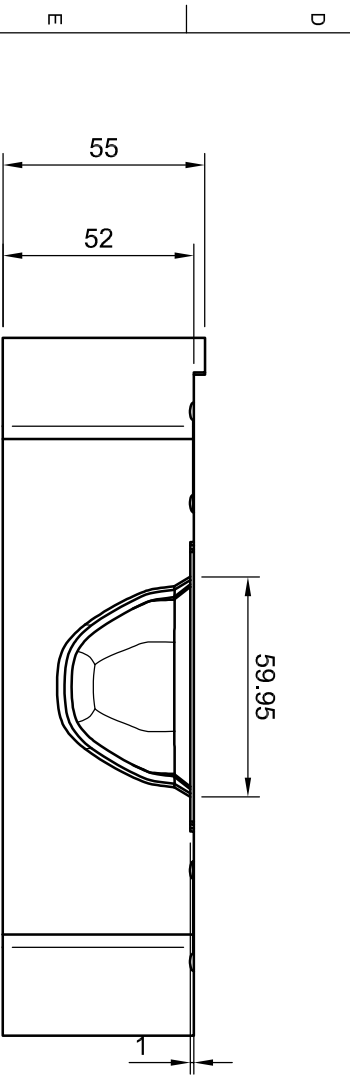
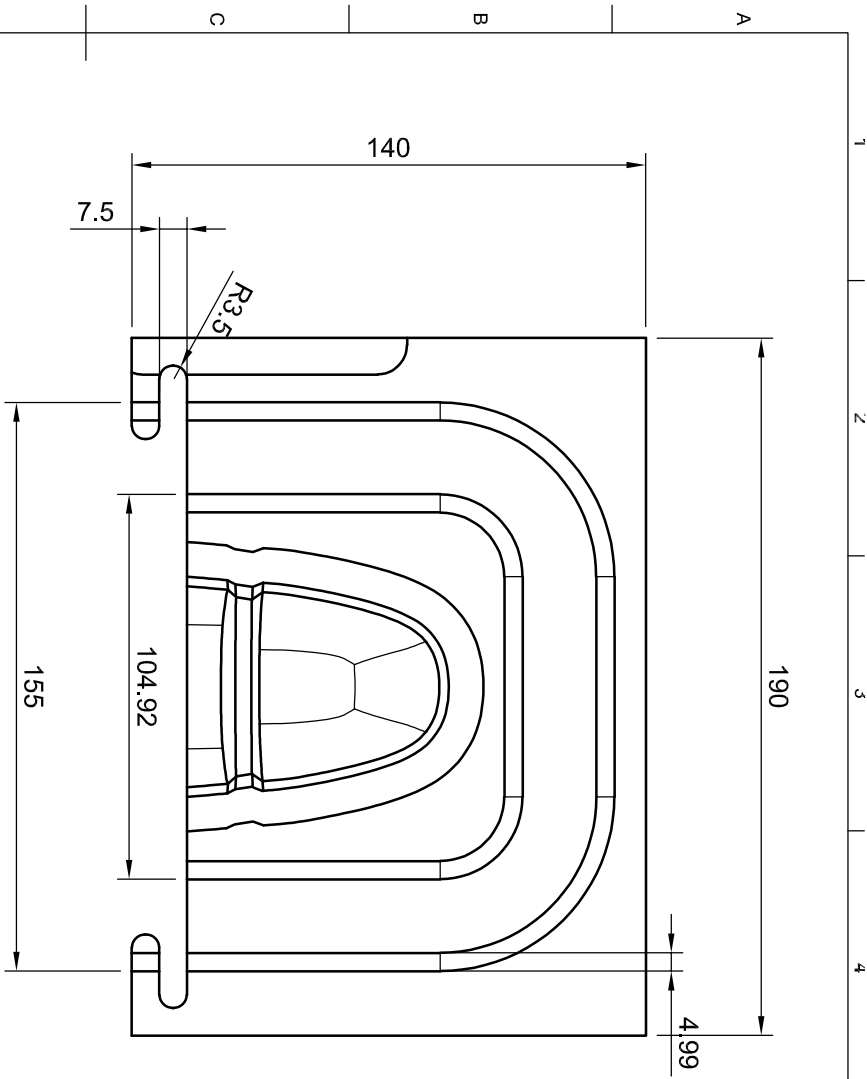
- Rudolph, H., Luthardt, R. G., & Graf, M. R. (2015). „Computer aided design/computer aided manufacturing“. *Der Freie Zahnarzt*, 59(7–8), 62–72. <https://doi.org/10.1007/s12614-015-5448-7>
- S. Kumarasamy, N. M. Mazlan, M. S. Z. Abidin, and A. Anjang, “Influence of fuel absorption on the mechanical properties of glass-fiber-reinforced epoxy laminates,” *J. King Saud Univ. Eng. Sci.*, vol. 32, no. 8, pp. 548-554, 2020, doi: 10.1016/j.jksues.2019.09.002.
- Smith, William F., & Hashemi, Javad. (2010). *Foundations of Materials Science and Engineering (5th ed)*. McGraw-Hill.
- Zeid, I. (2014). *Mastering CAD/CAM*. McGraw-Hill Education.

LAMPIRAN

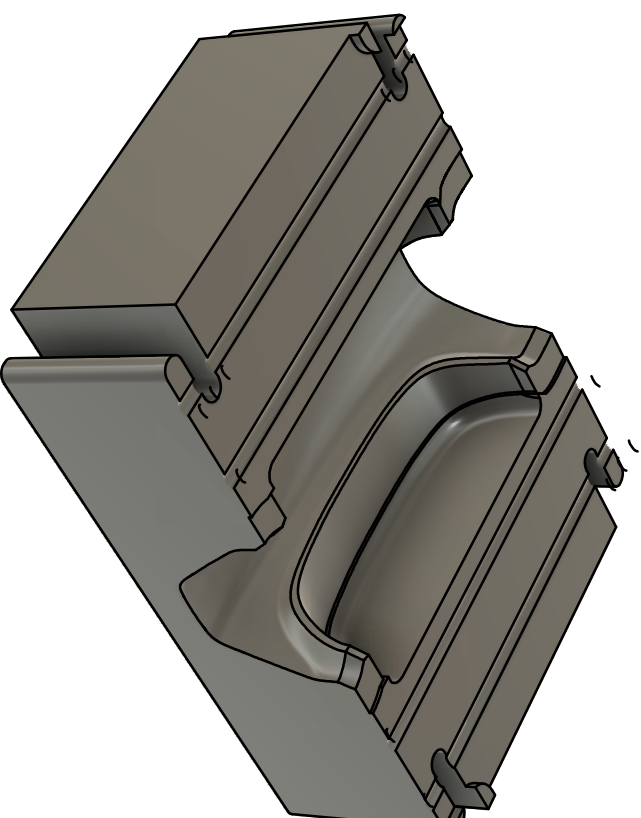
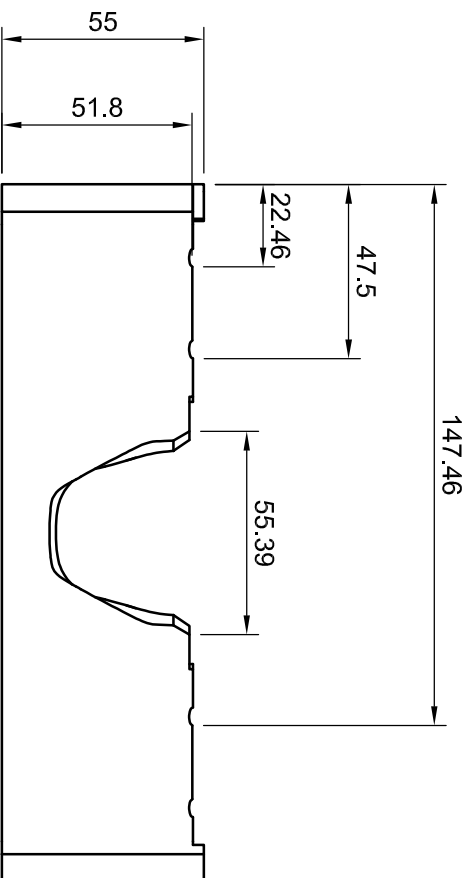
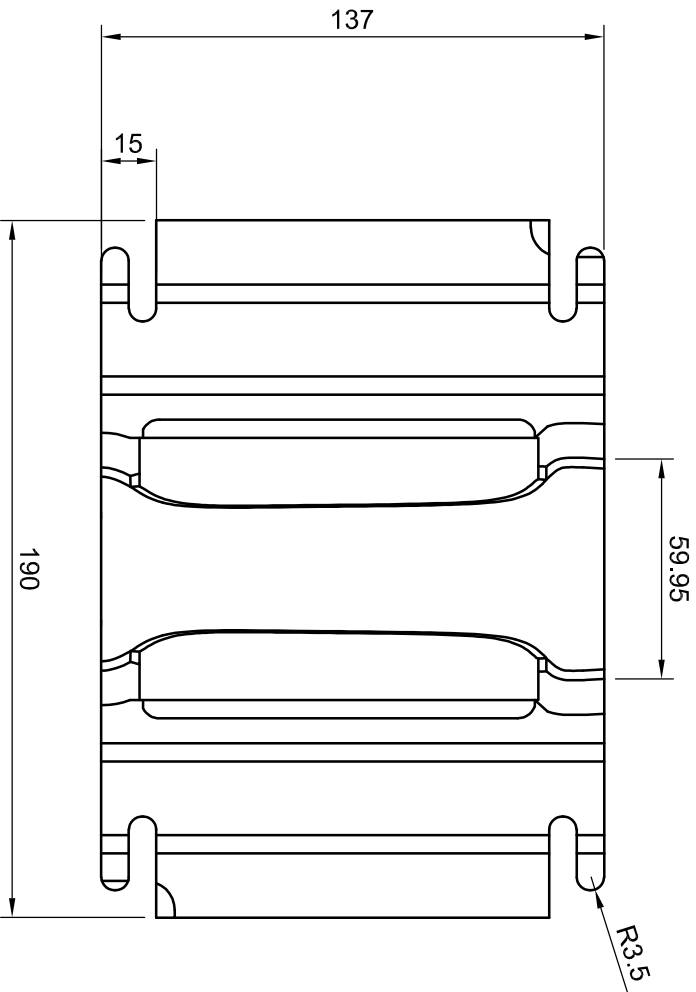
ITEM NO.	QTY.	COMPONENT
1	1	Part 1
2	1	Part 2
3	1	Part 3



	Skala: 1:1,5	Digambar: Muhammad Luqman Makainm NIM: 18525014 Diperiksa:	keterangan:
	Satuan Ukuran: mm Tanggal: 14-07-2025		
TEKNIK MESIN FTI-UII		Cavity Plate	LAMPIRAN
			A4



		Skala: 1:1.5		Digambar: M. Luqman Makarim		Keterangan:	
Satuan Ukuran: mm		NIM: 18525014					
Tanggal: 14-07-2025		Diperiksa:					
TEKNIK MESIN FTI-UII		Cavity Part 1		LAMPIRAN		A4	



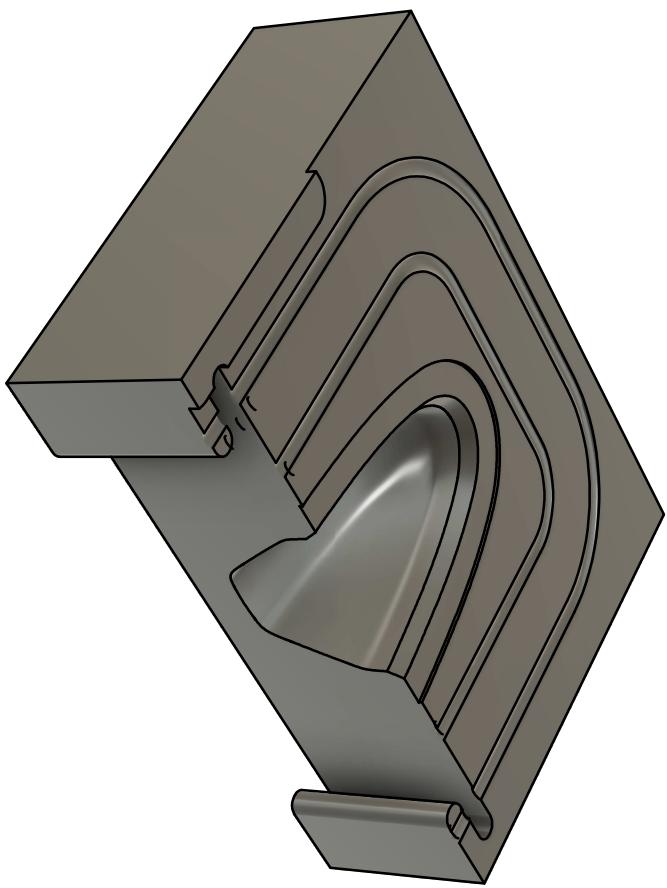
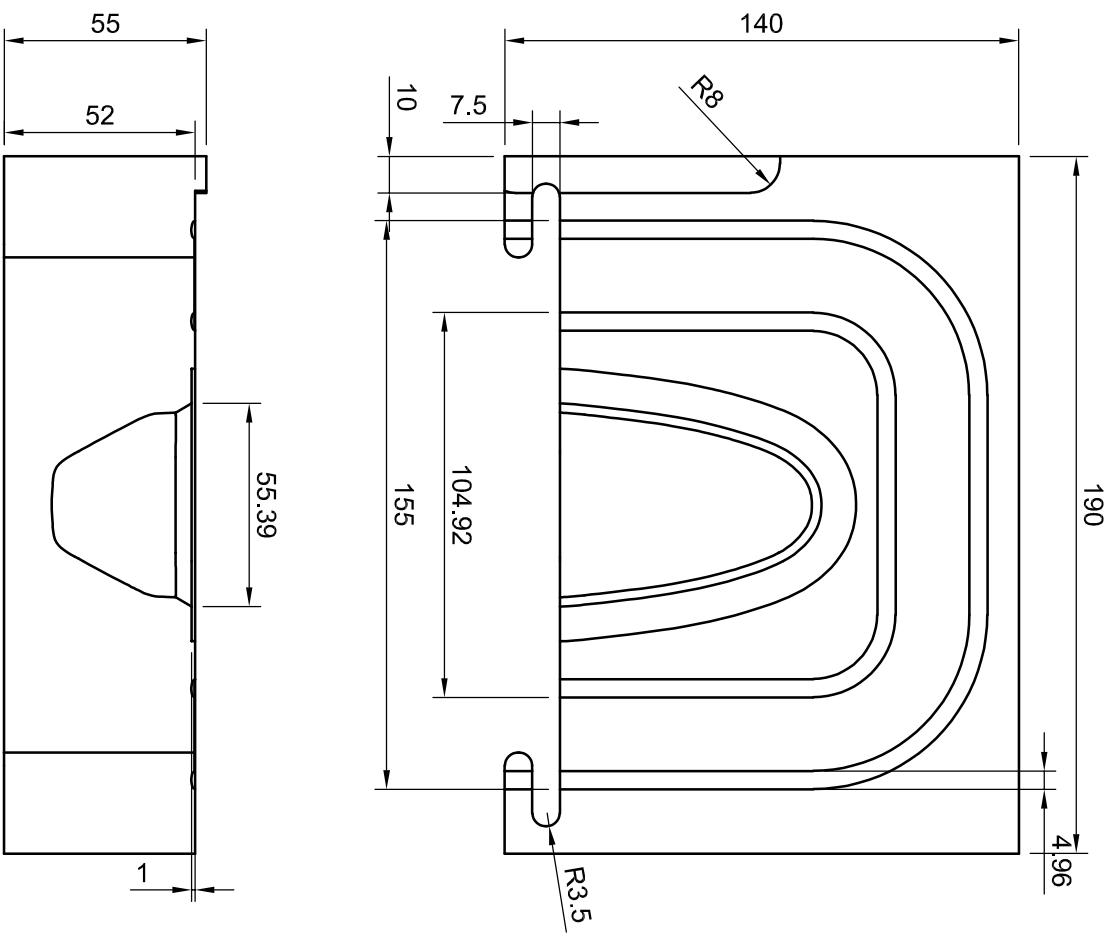
Skala: 1:1.5
Satuan Ukuran: mm
Tanggal: 14-07-2025
Diperiksa: M. Luqman Makarim
NIM: 18525014

TEKNIK MESIN FTI-UII

Cavity Part 2

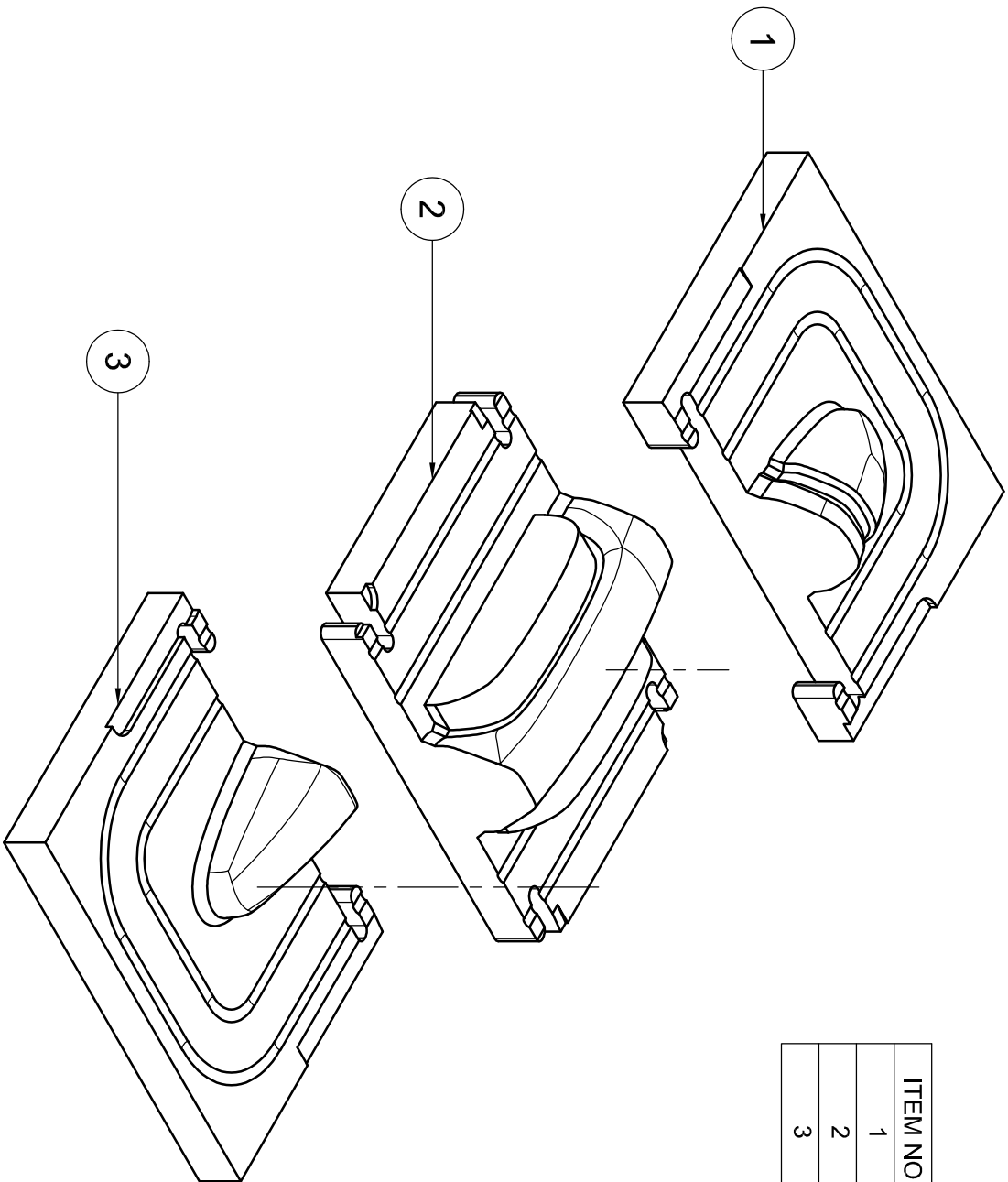
Lampiran

A4

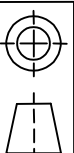
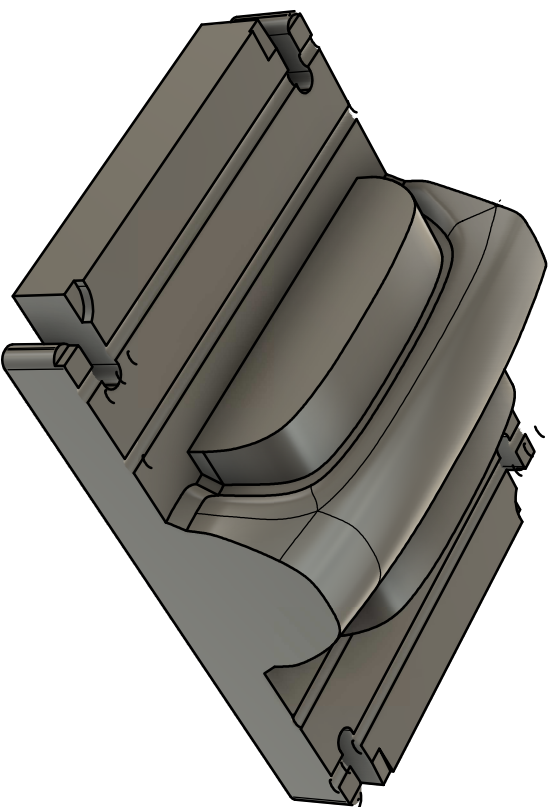
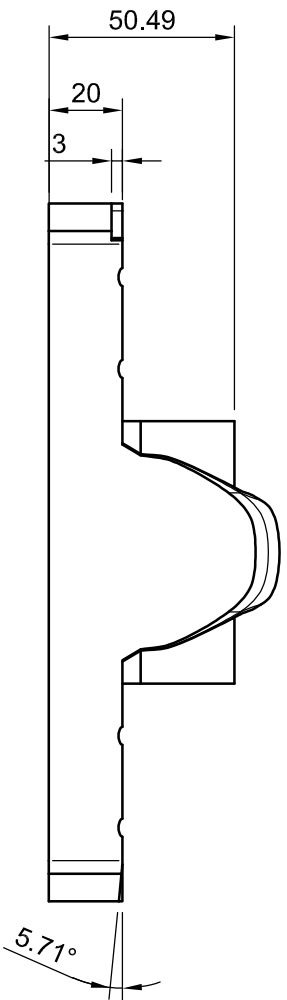
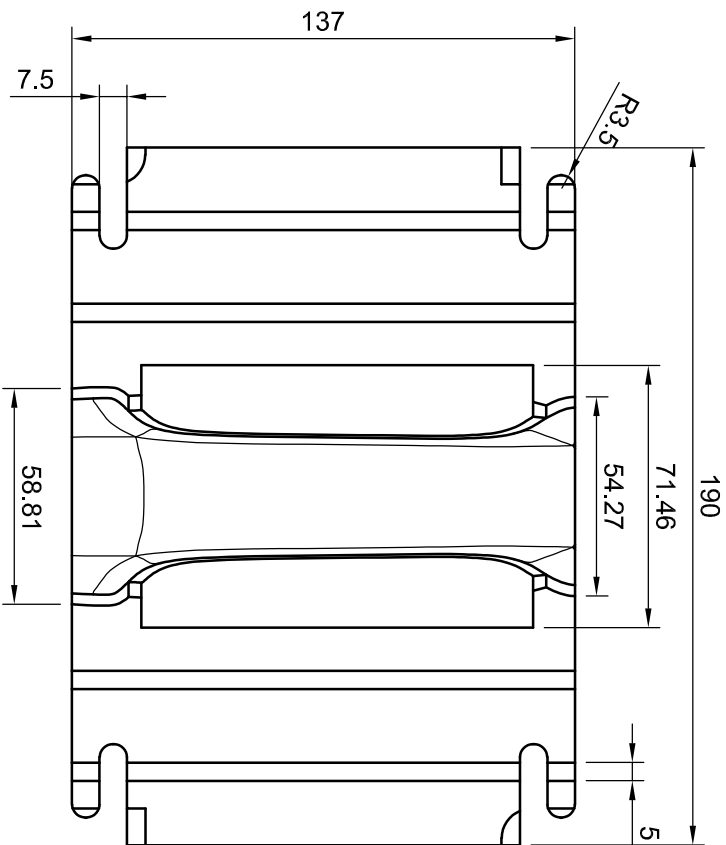


	Skala: 1:1.5	Digambar: M. Luqman Makarim	Keterangan:	
	Satuan Ukuran: mm	NIM:18525014		
	Tanggal: 14-07-2025	Diperiksa:		
	TEKNIK MESIN FTI-UII			
Cavity Part 3		LAMPIRAN	A4	

ITEM NO.	QTY.	COMPONENT
1	1	PART 1
2	1	PART 2
3	1	PART 3



	Skala: 1:1,5	Disambar: Muhammad Luqman Makam NIM: 18525014 Diperiksa:			Keterangan	
	Satuan Ukuran: mm					
	Tanggal: 14-07-2025					
TEKNIK MESIN FTI-UII		Core Plate		LAMPIRAN		A4



TEKNIK MESIN FTI-UII

Skala : 1:1.5
Satuan Ukuran: mm
Tanggal: 15-07-2025

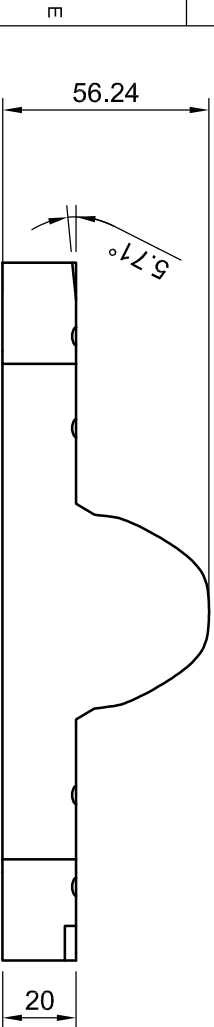
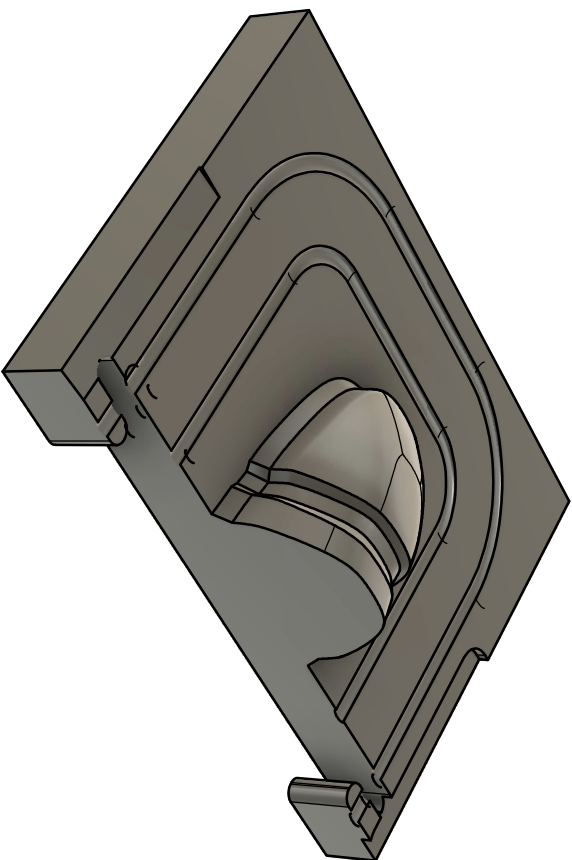
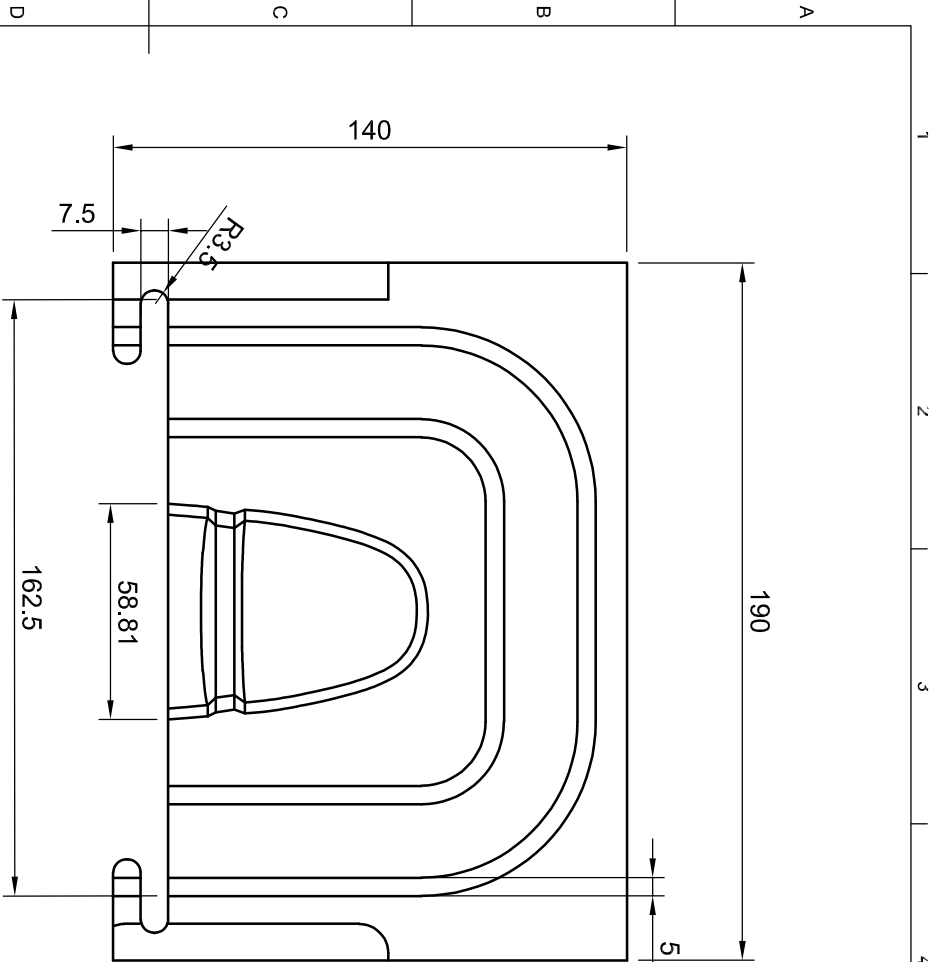
Digambar: M. Luqman Makarim
NIM: 18525014
Diperiksa:

Core Part 2

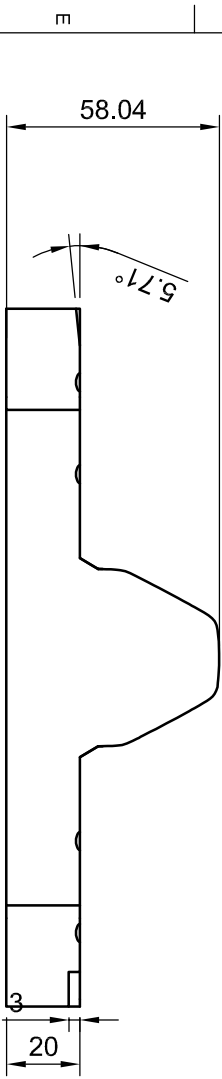
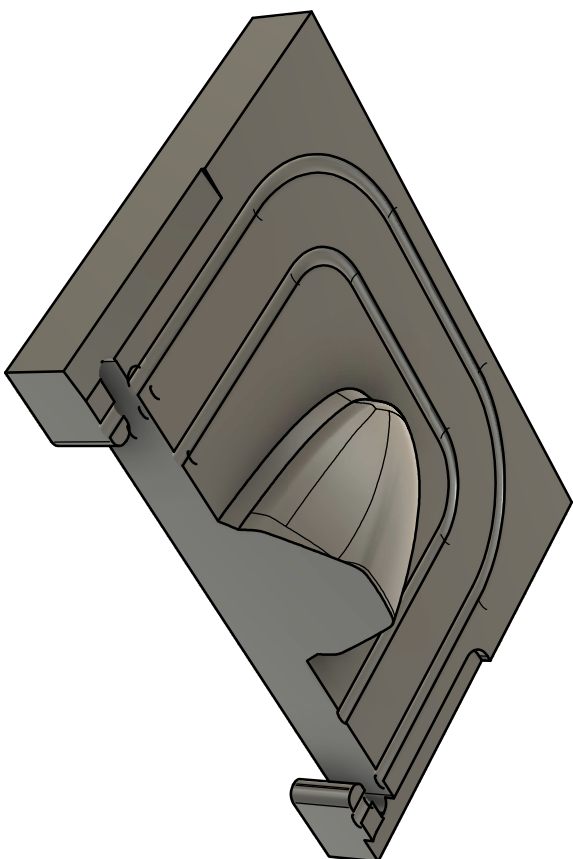
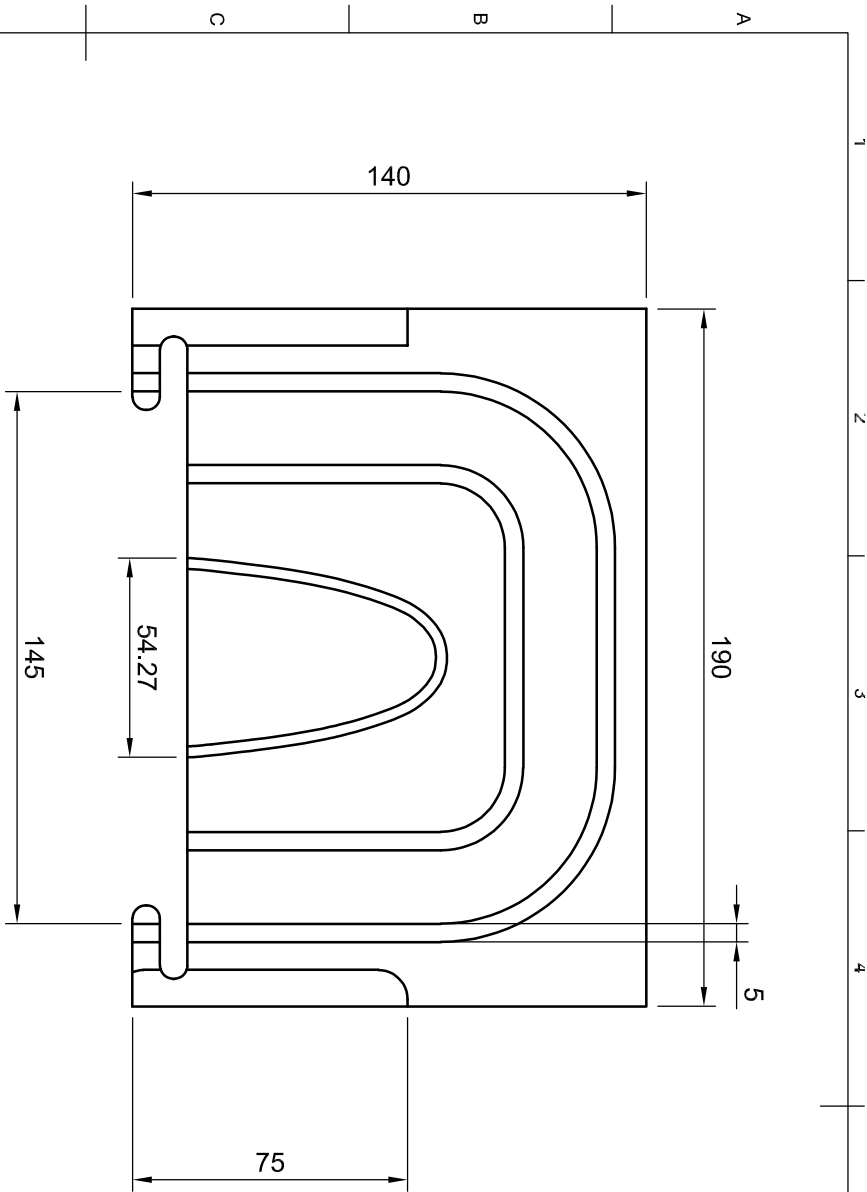
LAMPIRAN

A4

Keterangan:



	Skala: 1:1.5	Digambar: M. Luqman Makarim	Keterangan:	
	Satuan Ukuran: mm	NIM: 18525014		
	Tanggal: 15-07-2025	Diperiksa:		
	TEKNIK MESIN FTI-UII			
Core Part 1		LAMPIRAN	A4	



			
Skala: 1:1.5	Digambar: M. Luqman Makarim	Keterangan:	
Satuan Ukuran: mm	NIM: 18525014		
Tanggal: 15-07-2025	Diperiksa:		

TEKNIK MESIN FTI-UII		Core Part 3		A4	
----------------------	--	-------------	--	----	--