

**PEMBUATAN CETAKAN KEPALA PALU BERBAHAN
ALUMINIUM UNTUK PRODUK DARI LIMBAH PLASTIK
PADA MESIN *INJECTION MOULDING***



TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Menyelesaikan Program
Strata Satu (S1) Pada
Jurusan Teknik Mesin
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**

Disusun Oleh :

Dio Restu Putra Ardhika

3331200002

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON – BANTEN**

2024

TUGAS AKHIR

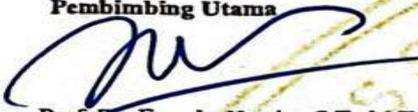
Pembuatan Cetakan Kepala Palu Berbahan Alumunium Untuk Produk Dari Limbah Plastik Pada Mesin Injection Moulding

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Dio Restu Putra Ardhika
333120002

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 02 Juli 2024

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Eng. Ir. Hendra, S.T., M.T
NIP.197311182003121000

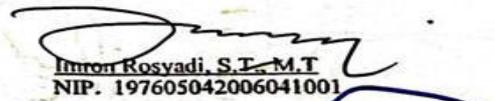
Anggota Dewan Penguji



Slamet Wiyono, S.T., MT.
NIP.197312182005011001



Yusvardi Yusuf, S.T., M.T.
NIP.197910302003121001



Imron Rosyadi, S.T., M.T
NIP. 197605042006041001



Prof. Dr. Eng. Ir. Hendra, S.T., M.T
NIP.197311182003121000



Yusvardi Yusuf, S.T., M.T.
NIP.197910302003121001

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik



Tanggal, 19 Juli 2024
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.
NIP.198305102012121006

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PEMBUATAN CETAKAN KEPALA PALU BERBAHAN ALUMINIUM
UNTUK PRODUK DARI LIMBAH PLASTIK PADA MESIN *INJECTION*
*MOULDING***

Yang telah dipersiapkan dan disusun oleh,

DIO RESTU PUTRA ARDHIKA

NIM. 3331200002

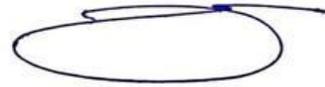
Telah disetujui oleh dosen pembimbing
skripsi Pada tanggal 04 Juli 2024

Dosen Pembimbing 1,



Prof. Dr. Eng Ir. Hendra, S.T., M.T
NIP. 197311182003121000

Dosen Pembimbing 2,



Yusvardi Yusuf, S.T., M.T
NIP. 197910302003121001

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu
persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik (S.T) Tanggal 04 Juli 2024

Ketua Jurusan Teknik Mesin
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng
NIP. 198305102012121006

PERYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dio Restu Putra Ardhika
NPM : 3331200002
Judul : PEMBUATAN CETAKAN KEPALA PALU BERBAHAN
ALUMINIUM UNTUK PRODUK DARI LIMBAH PLASTI
PADA MESIN *INJECTION MOULDING*

Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya

Cilegon, 25 Juli 2024



Dio Restu Putra Ardhika
NPM. 3331200002

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang menunjang “Pembuatan Cetakan Kepala Palu Berbahan Aluminium Untuk Produk Dari Limbah Plastik Pada Mesin *Injection Molding*”. Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan program studi strata satu (S1) Fakultas Teknik, jurusan Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Penelitian ini bertujuan agar dapat menambah pengetahuan dan kreativitas dalam belajar. Penulis menyadari bahwasannya penelitian ini harus mendapat banyak dukungan, bimbingan bantuan serta kemudahan dari berbagai pihak sehingga proposal ini dapat terselesaikan. Dengan ketulusan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
2. Ibu Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, MT. Selaku Dosen Pembimbing Akademik.
3. Bapak Dr. Ir. Eng. Hendra, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dan tenaga serta selalu membimbing saya selama proses penelitian.
4. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir, terimakasih atas bimbingan dan saran-saran untuk penelitian yang saya lakukan.
5. Bapak Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.TS elaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Untirta
6. Segenap dosen jurusan Teknik Mesin dan seluruh staf yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama proses kuliah.
7. Bapak Suhardi dan Ibu Karnowati Yaminingsih Selaku Orang Tua yang selalu mendukung,memberikan doa serta tak lelah menemani setiap langkah selama proses perkuliahan.

8. Teman-teman perantau kontrakan *conjuring* yang telah memberi pengalaman hidup baru yang bahu-membahu *men-support* selama proses perkuliahan.
9. Seluruh pihak yang telah membantu namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu oleh penulis

Penulis sendiri menyadari bahwasannya dalam pembuatan proposal ini masih terbilang belum dikatakan sempurna, karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang penulis dapatkan dilaporan ini ditulis dengan berdasarkan materi-materi yang ada. Akhir kata, semoga proposal ini dibuat bermanfaat bagi semua yang membaca dan bagi pihak yang menunjang materi tentang ini juga semoga membutuhkan.

Cilegon, Mei 2024

Penulis

ABSTRAK

PEMBUATAN CETAKAN KEPALA PALU BERBAHAN ALUMINIUM UNTUK PRODUK DARI LIMBAH PLASTIK PADA MESIN *INJECTION MOULDING*

Disusun Oleh :

DIO RESTU PUTRA ARDHKA

NIM. 3331200002

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

Mesin injeksi *molding* merupakan suatu metode untuk mendapatkan hasil produk dengan cara menyuntikkan lelehan plastik ke dalam cetakan kemudian mendinginkannya. Pada mesin injeksi *molding* ini terdapat komponen utama untuk menghasilkan produk, yakni cetakan atau *mould* dimana cetakan ini ialah blok kosong yang akan diisi oleh lelehan plastik dan akan memperoleh produk atau bentuk. Tujuan penelitian ini adalah membuat cetakan kepala palu dengan proses permesinan menggunakan mesin *CNC 3 AXIS*, melakukan pengujian ketahanan temperatur cetakan dan pengujian terkait bentuk geometri dari hasil produk cetakan. Setelah dilakukannya penelitian diperoleh data hasil dimana untuk proses pembuatan cetakan pada hasil desain simulasi sekitar 90 menit namun aktualnya proses permesinannya 120 menit. Dimana proses permesinan *CNC 3 AXIS* ini memperoleh data, yakni kecepatan potong (V_c) sebesar 11,3 mm/min dan kecepatan pemakanan sebesar 150 mm/min. Kemudian pada pengujian ketahanan temperatur terhadap cetakan menggunakan tiga jenis suhu yang berbeda-beda pada *heater*, yakni 150 °C, 200 °C dan 250 °C dimana pada pengujian ketahanan temperatur pada cetakan ini ketiga suhu memiliki hasil yang sama dimana semakin lamanya waktu semakin tinggi suhunya dan untuk pengujian bentuk geometri terjadi perbedaan dimensi diakibatkan oleh beberapa faktor salah satunya karena tidak memanaskan terlebih dahulu cetakan yang ingin diisi sehingga mengalami distorsi.

Kata Kunci : *Aluminium 6061, Injection Moulding, Mold*

ABSTRACT

HAMMER HEAD MOLD MAKING ALUMINUM FOR PRODUCTS FROM PLASTIC WASTE THE INJECTION *MOLDING* MACHINE

Compiled By :

DIO RESTU PUTRA ARDHKA

NIM. 3331200002

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

Injection molding machine is a method to obtain product results by injecting plastic melt into the mold and then cooling it. In this injection molding machine there is a main component to produce a product, namely a mold or mold where this mold is an empty block that will be filled by plastic melt and will obtain a product or shape. The purpose of this study was to make a hammer head mold with a machining process using a 3 AXIS CNC machine, conduct mold temperatur resistance testing and testing related to the geometry of The Shape of the molded product. After the research, the data obtained for the mold making process in the simulation design results about 90 minutes but the actual machining process is 120 minutes. Where this 3 AXIS CNC machining process obtained data, namely cutting speed (V_c) of 11.3 mm/min and feeding speed of 150 mm/min. Then in the test of temperatur resistance to the mold using three types of different temperatur on the heater, namely 150, 200 and 250 °C where in the test of temperatur resistance on the mold these three temperatur have the same results where the longer the higher the temperatur and for testing the geometry of The Shape of the dimensional differences caused by several factors, one of which is because it does not heat the mold you want to fill in advance so that it experiences distortion.

Keywords : Aluminium 6061, Injection Moulding, Mold

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>State Of Art</i>	4
2.2 Jenis-jenis Plastik.....	5
2.3 <i>Injection Molding</i>	11
2.4 Mekanisme Langkah Kerja <i>Injection Molding</i>	12
2.5 Komponen Mesin <i>Injection Molding</i> Plastik.....	16
2.6 Cetakan (<i>Mold</i>)	20
2.7 Jenis-Jenis Cetakan	20
2.8 Aluminium 6061	21
2.9 Proses Permesinan	22
2.9.1 Mesin <i>CNC 3 AXIS</i>	23
2.9.2 Prinsip Kerja Mesin <i>CNC 3 AXIS</i>	24

2.9.3	Bagian-Bagian Utama Mesin <i>CNC 3 AXIS</i>	25
2.9.4	Parameter Permesinan.....	27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2	Alat dan Bahan	34
3.2.1	Alat yang Digunakan.....	34
3.2.2	Bahan yang digunakan	36
3.4	Prosedur Penelitian.....	38
3.4.1	Prosedur Permesinan Cetakan	38
3.4.2	Prosedur Kalibrasi Termokopel	39
3.4.3	Prosedur Pengujian Ketahanan Tempereatur Cetakan Kepala Palu	40
3.4.4	Prosedur Pengujian Geometri Cetakan Kepala Palu	41

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Desain dan Simulasi Cetakan	42
4.2	Proses CAM Cetakan Dari <i>Solidworks to Autodesk Fusion</i>	43
4.3	Proses Permesinan Cetakan	47
4.4	Kalibrasi Alat Ukur Suhu	58
4.5	Uji Ketahanan Temperatur Cetakan	61
4.6	Hasil Cetakan Berdasarkan Karakteristik Geometri.....	68
4.7	Cacat dan Penyebabnya	71

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Limbah Plastik PETE	6
Gambar 2.2 Limbah Plastik HDPE	7
Gambar 2.3 Limbah Plastik PVC	8
Gambar 2.4 Limbah Plastik LDPE	9
Gambar 2.5 Limbah Plastik PP	9
Gambar 2.6 Limbah Plastik PS	11
Gambar 2.7 Limbah Plastik <i>Others</i>	11
Gambar 2.8 Mesin Injeksi <i>Molding</i> Plastik	13
Gambar 2.9 <i>Clamping Unit</i>	14
Gambar 2.10 Proses <i>Injection</i>	14
Gambar 2.11 Proses <i>Dwelling</i>	15
Gambar 2.12 Proses <i>Cooling</i>	16
Gambar 2.13 Proses <i>Mold Opening</i>	16
Gambar 2.14 Proses <i>Ejection</i>	17
Gambar 2.15 <i>Hopper</i>	18
Gambar 2.16 <i>Barrel</i>	18
Gambar 2.17 <i>Screw Zone</i>	19
Gambar 2.18 <i>Mold Preform</i>	20
Gambar 2.19 <i>Nozzle</i>	20
Gambar 2.20 <i>Mold 2 Plate</i>	22
Gambar 2.21 <i>Mold 3 Plate</i>	22
Gambar 2.22 Mesin <i>CNC 3 AXIS</i>	23
Gambar 2.23 Persumbuan <i>CNC 3 AXIS</i>	24
Gambar 2.24 Motor Penggerak	25
Gambar 2.25 Step Motor	25
Gambar 2.26 Meja Mesin	26
Gambar 2.27 Rumah Pahat	26
Gambar 2.28 Ragum.....	26

Gambar 2.29 Bagian Pengendali	27
Gambar 2.30 Standar Kecepatan Potong	28
Gambar 2.31 Standar Ketentuan Pahat	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3.2 Mesin Injeksi <i>Molding</i>	34
Gambar 3.3 Cetakan Kepala Palu	34
Gambar 3.4 <i>Hopper</i>	35
Gambar 3.5 Timbangan	35
Gambar 3.6 Gerinda Tangan Kecil	35
Gambar 3.7 Jangka Sorong	36
Gambar 3.8 Termokopel Jenis K	36
Gambar 3.9 Jenis Plastik PETE	37
Gambar 3.10 Jenis Plastik PP	37
Gambar 3.11 Minyak Sayur	37
Gambar 4.1 Desain Cetakan	42
Gambar 4.2 Simulasi Termal 150°C	43
Gambar 4.3 Simulasi Termal 200°C	43
Gambar 4.4 Simulasi Termal 250°C	43
Gambar 4.5 Tampilan Desain Hasil Transfer Data	44
Gambar 4.6 Mengatur <i>Tools</i> untuk Simulasi CAM	44
Gambar 4.7 Menentukan <i>Toolpath</i>	44
Gambar 4.8 Simulasi Pemakanan	45
Gambar 4.9 Mesin <i>CNC Router 3040</i>	47
Gambar 4.10 <i>Mach 3 CNC</i>	48
Gambar 4.11 Kalibrasi <i>Mach 3 CNC</i>	48
Gambar 4.12 Kalibrasi Pada Mesin CNC	49
Gambar 4.13 Mengatur <i>feedrate</i> dan <i>depth cut</i>	49
Gambar 4.14 Proses Permesinan	50
Gambar 4.15 Proses <i>Finishing</i>	50
Gambar 4.16 Titik Penempatan Termometer pada Cetakan	61
Gambar 4.17 Simulasi Waktu Injeksi Suhu 150 °C	62
Gambar 4.18 Grafik Perbedaan Suhu 150 °C terhadap Waktu	63

Gambar 4.19 Simulasi Waktu Injeksi Suhu 200 °C	64
Gambar 4.20 Grafik Perbedaan Suhu 200 °C terhadap Waktu	65
Gambar 4.21 Simulasi Waktu Injeksi Suhu 250 °C	66
Gambar 4.22 Grafik Perbedaan Suhu 250 °C terhadap Waktu	67
Gambar 4.23 Dimensi Desain Cetakan.....	68
Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Massa Produk	71
Gambar 4.25 Cacat <i>Shorshots</i>	72
Gambar 4.26 Cacat <i>Flashing</i>	73
Gambar 4.28 Cacat <i>Bubbles</i>	74

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>State Of Art</i>	4
Tabel 2.2 Properties Jenis Plastik PETE	7
Tabel 2.3 Properties Jenis Plastik LDPE	9
Tabel 2.4 Properties Jenis Plastik PP	10
Tabel 4.1 Spesifikasi Mesin CNC	47
Tabel 4.2 Jenis Pahat Untuk Material Benda Kerja	51
Tabel 4.3 Ketentuan Kecepatan Potong	52
Tabel 4.4 Ketentuan Besar Pemakanan	53
Tabel 4.5 Kalibrasi Alat Ukur	58
Tabel 4.6 Perbandingan Termometer Air Raksa dengan Temokopel Barrel	59
Tabel 4.7 Perbandingan Termometer Air Raksa dengan Temokopel Digital	60
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Perubahan Temperatur 150 °C Pada Cetakan	62
Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Perubahan Temperatur 200 °C Pada Cetakan	65
Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Perubahan Temperatur 250 °C Pada Cetakan	67
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Karakteristik Geometri Dimensi	69
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Karakteristik Geometri Massa	70
Tabel 4.13 Penyebab dan Solusi Cacat <i>Shortshot</i>	72
Tabel 4.14 Penyebab dan Solusi Cacat <i>Flashing</i>	73
Tabel 4.15 Penyebab dan Solusi Cacat <i>Bubbles</i>	74

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hampir semua kegiatan manusia tidak terlepas dengan adanya penggunaan plastik. Jenis plastik yang digunakan oleh masyarakat biasanya adalah kantong plastik. Kegunaan plastik di Indonesia ini sangat diperlukan oleh masyarakat seperti untuk pembungkus makanan, pembungkus barang-barang dan lain-lain. Selain kegunaannya sangat dibutuhkan plastik ini juga terdapat dampak negatif bagi lingkungan, dikarenakan tidak mudah terurai sehingga dapat mengurangi kesuburan tanah. Limbah plastik biasanya di daur ulang untuk mengurangi jumlah plastik. Hal ini tentunya sangat membantu proses langkah mengurangi polusi dan menyelamatkan jumlah spesies hewan supaya tidak punah yang penting bagi rantai makanan. Cara untuk memanfaatkan limbah plastik, yakni dengan mengkonversi limbah menjadi sebuah produk cetakan *injection molding*. (Yulianto dan Prassetiyo, 2014).

Dari data sistem informasi pengolahan sampah nasional (SIPSN) data tahun 2022 s.d 2023 yang terdiri dari banyak kabupaten atau kota sekitar 202 kabupaten atau kota di Indonesia, menunjukkan kenaikan jumlah sampah yang sangat pesat. Jenis sampah plastik berada pada posisi kedua sampah terbanyak setelah sampah sisa makanan, untuk jenis sampah ini terdapat 20% dan terus meningkat dan untuk wilayah Provinsi Banten untuk persentase jumlah sampah sekitar 10,2%. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan sampah plastik masih menjadi permasalahan di Indonesia.

Cetakan Injeksi adalah metode pembuatan produk plastik yang sering digunakan untuk jenis termoplastik. Dalam proses ini, bahan plastik dipanaskan di dalam sebuah wadah yang disebut *barrel* hingga mencapai suhu leleh yang diinginkan. Selanjutnya, bahan tersebut disuntikkan ke dalam cetakan hingga mengisi seluruh rongga. Setelah cetakan terisi penuh, plastik didinginkan dan dapat dilepaskan dari cetakan. Jenis cetakan yang akan dibuat adalah cetakan kepala palu berbahan material *aluminium 6061* yang

mana jenis material ini cocok dengan kriteria yang dibutuhkan. Dimana jenis cetakan dengan material ini mampu menahan panas hingga 400°C dan juga tahan akan korosi (Wisnu et al., 2023).

Penelitian ini berfokus pada pengembangan jenis material cetakan yang berbahan *aluminium 6061* yang memenuhi kriteria untuk proses injeksi *molding* plastik. Material ini biasanya memang digunakan untuk proses *mold* jenis plastik dan standar *aluminium 6061* cocok untuk termoplastik pada jenis polimer. Sifatnya yang mampu menahan panas yang cukup tinggi dan memiliki sifat korosi yang cukup baik membuat material ini tepat untuk dijadikan cetakan untuk kualitas yang baik terhadap kualitas geometri produk injeksi *molding* plastik (Wisnu et al., 2023).

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas mengenai topik yang dibahas proposal ini, maka dapat dituliskan beberapa rumusan masalah, yaitu :

- a. Bagaimana proses pembuatan cetakan dari material aluminium dan pembuatan produk kepala palu menggunakan mesin CNC 3-AXIS?
- b. Bagaimana caranya menguji ketahanan temperatur pada cetakan yang dihasilkan?
- c. Bagaimana kualitas hasil dari cetakan dengan karakteristik geometri meliputi dimensi dan bentuk?

1.3 Tujuan Penelitian

Terdapat beberapa tujuan yang ingin dituju dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mampu menghasilkan cetakan dari material aluminium menggunakan proses permesinan CNC 3-AXIS.
- b. Menguji ketahanan material cetakan terhadap temperatur yang berbeda-beda dan menganalisa hasilnya
- c. Mengetahui kualitas dari cetakan berdasarkan karakteristik geometri dimensi, bentuk dan cacat yang terjadi.

1.4 Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah yang terjadi dalam melakukan penelitian yang telah disesuaikan dengan tema *injection molding* ini meliputi.

- a. Material cetakan yang digunakan adalah aluminium 6061
- b. Suhu yang diinginkan pada *barrel* sebesar 150 °C, 200 °C dan 250 °C
- c. Proses permesinan yang digunakan menggunakan mesin CNC 3-AXIS
- d. Proses pengujian karakteristik geometri dimensi dan ukuran dengan standar ISO 1102
- e. Pengujian terhadap ketahanan temperatur dengan standar ASTM E230

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diinginkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghasilkan inovasi baru terkait mengolah sampah plastik menjadi suatu produk dengan mengembangkan ide dalam pembuatan *mold* pada mesin plastik *injection molding*
- b. Penghematan biaya produksi terkait pembuatan produk dengan dilakukannya pembentukan suatu produk injeksi *molding* plastik ini dapat terus mendorong inovasi dalam desain produk teknologi pembentukan plastik.
- c. Menambah wawasan terkait penelitian yang dilakukan dengan didasarkan oleh penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dan diharapkan menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.
- d. Mengetahui proses pembuatan cetakan jenis material *aluminium 6061* untuk kriteria produk kepala palu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State Of Art*

Penelitian ini menggunakan referensi dari beberapa jurnal dan buku sebagai literatur dalam penulisan. *State of art* ini akan disajikan dalam bentuk tabel yang berisikan penjelasan terkait perbedaan peneliti terdahulu yang nantinya akan menjadi acuan dalam penelitian kali ini. Berikut adalah tabel *state of art* yang digunakan sebagai acuan.

Tabel 2.1 *State Of Art*

No.	Deskripsi Jurnal (Judul, Peneliti, Tahun)	Objek Penelitian	Hasil dan Pembahasan
1	Pembuatan Cetakan Injection Molding Untuk Membuat Bantalan Ketiak Tongkat Kruk Dari Material Polypropylene (I. A. Putra et al., 2023)	Memanfaatkan limbah plastik jenis <i>Polypropylene</i> (PP) untuk bahan dasar pembuatan produk bantalan ketiak dengan cetakan <i>injection molding</i> .	Hasil penelitian : Pada penelitian kali ini menggunakan limbah plastik jenis PP, dengan variasi temperatur lelehnya 200°C dengan tekanan injeksi nya 100 bar. Untuk hasil pengujian densitas diperoleh rata-rata adalah 0,89 gr/cm ³ dan untuk pengujian kekerasan hasil rata-rata nya ialah 75,6 dan material cetakan yang digunakan adalah alumunium 6061
2	Perancangan Alat Cetak Interlocking Brick dengan	Memanfaatkan limbah plastik jenis <i>High</i>	Hasil Penelitian: Pada penelitian ini limbah plastik yang

	<p>Memanfaatkan Sampah Plastik HDPE sebagai Material Bata (Muharam et al., 2021)</p>	<p><i>Density Polyethylene</i> (HDPE) untuk bahan dasar pembuatan produk material bata</p>	<p>dilelehkan berjenis HDPE, yang mana temperatur leleh yang digunakan adalah 220°C, untuk pengujian mekanisnya menggunakan pengujian uji tarik dan diperoleh hasil tegangan tariknya 8,86 MPa</p>
3	<p>Pembuatan Cetakan Kotak Sabun Pada Mesin Injection Molding Plastik (Rakhmad et al., 2018)</p>	<p>Memanfaatkan limbah plastik jenis PP menjadi produk kotak sabun</p>	<p>Hasil Penelitian : Pada penelitian ini menggunakan jenis limbah plastik PP yang mana jenis ini sangat banyak ditemukan disekitar seperti botol gelas. Pada penelitian ini menggunakan temperatur leleh plastiknya 250°C, dengan menggunakan material cetakannya adalah Alumunium 7075. Hasil dari penelitian ini isi untuk kekuatan tariknya 45 MPa</p>

2.2 Jenis-jenis plastik

Plastik hampir setiap hari digunakan untuk kebutuhan, pada umumnya plastik ini terbagi menjadi beberapa jenis. Berikut jenis plastik yang umumnya digunakan.

- a) *Polyethylene Terephthalate* (PETE)

PETE biasanya untuk kebutuhan kemasan pada makanan atau minuman, disebabkan keunggulannya yang mampu mencegah munculnya oksigen dan merusak produk. Plastik jenis PETE dapat membantu mencegah karbon dioksida keluar dari minuman berkarbonasi, menjaganya tetap segar dan berkarbonasi lebih lama. Plastik PETE jenis ini banyak dijumpai pada botol air mineral dan wadah plastik minyak sayur dan wadah plastik lainnya. Plastik PETE jenis ini dibuat berwarna bening atau transparan dan hanya untuk sekali pakai (Untoro Budi, 2018).

Hindari penggunaan plastik jenis ini untuk pengisian ulang dan penggunaan karena hanya ditujukan untuk satu kali kesempatan. Apabila digunakan berulang-ulang kali akan menyebabkan atau resiko terhadap konsumsi bakteri dari bahan plastik menumpuk pada plastik tersebut. Hal ini dikarenakan Plastik PETE sulit dibersihkan dan dapat berbahaya jika tertelan. Itu harus didaur ulang dan tidak digunakan lagi (Untoro Budi, 2018).



Gambar 2.1 Limbah Plastik PETE

(Sumber : teknologi.bisnis.com)

Pada umumnya karakteristik jenis plastik PETE ini akan meleleh pada suhu sekitar 150°C s.d 300°C, Jenis plastik ini juga memiliki sifat tahan terhadap reaksi kimia. Bila suhu terlalu tinggi atau terlalu rendah jenis plastik ini akan mempertahankan sifatnya. Berikut adalah *properties* dari jenis plastik PETE yang akan disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 2.2 Properties Jenis Plastik PETE

Properties Jenis Plastik PETE	
Kekuatan Tarik (MPa)	55
Modulus Tarik (MPa)	1600
Specific Gravity	0,96
Elongation (%)	600
Tm (°C)	150 s.d 300

b) *High-Density Polyethylene* (HDPE)

High-Density Polyethylene atau biasa disebut plastik jenis HDPE adalah polietilen termoplastik tahan lama yang terbuat dari sumber daya ramah lingkungan. Sifat HDPE sedikit buram, transparan dan fleksibel. Plastik ini kedap air, tidak berbau, tahan panas dan benturan (Masyruroh dan Rahmawati, 2021).

HDPE terbilang istimewa, karena plastik ini terbuat dari rantai polimer tunggal, maka jauh lebih padat dibandingkan jenis plastik lainnya. Maka dari itu, HDPE dapat dikatakan lebih kuat dan lebih tebal dari PETE. HDPE biasanya digunakan pada botol sampo, botol obat, botol deterjen, botol pemutih dan sejenisnya (Masyruroh dan Rahmawati, 2021).



Gambar 2.2 Limbah Plastik HDPE

(Sumber : lingkungan.itats.ac.id)

Selain dapat *recycle* dan digunakan kembali, HDPE juga merupakan jenis plastik yang lebih aman untuk menyimpan makanan dan minuman. Jenis plastik ini kuat, keras, tidak tembus cahaya, dan memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, sehingga dapat mencegah terjadinya reaksi kimia antara kemasan dan makanan di dalamnya.

Plastik HDPE memiliki bahan jenis katalis ziegler-natta dan memiliki kekuatan tarik dan gaya antar molekul yang tinggi (Masyruroh dan Rahmawati, 2021).

c) *Polyvinyl Chloride (PVC)*

Jenis plastik ketiga adalah polivinil klorida, atau PVC. PVC adalah bahan plastik populer yang digunakan dalam berbagai jenis produk, termasuk mainan, tabung plastik, kantong darah, dan tabung medis. Hal ini juga merupakan resin yang paling banyak digunakan di dunia, dan dianggap relatif aman bila digunakan dalam jumlah sedang. Beberapa bahan kimia yang terdapat pada PVC dapat menyebabkan gangguan kesehatan, antara lain kanker, alergi, dan masalah hormonal pada anak. Karena itu, penting untuk mewaspadaai bahaya penggunaan plastik jenis ini, dan berhati-hatilah saat memilih produk yang terbuat dari plastik (W. T. Putra et al., 2015).

Plastik PVC adalah pilihan yang berisiko untuk didaur ulang karena dapat melepaskan racun saat didaur ulang, dan sulit untuk didaur ulang. Sebaliknya, hindari penggunaan produk PVC dan dukung program daur ulang yang aman dan efektif (W. T. Putra et al., 2015).

Gambar 2.3 Limbah Plastik PVC



(Sumber : lingkungan.itats.ac.id)

d) *Low-Density Polyethylene (LDPE)*

Jenis plastik keempat adalah polietilen densitas rendah yang merupakan plastik serbaguna yang populer untuk berbagai aplikasi. Kimia polimernya yang sederhana membuatnya mudah diproses dan murah, menjadikannya pilihan tepat untuk berbagai keperluan. LDPE umumnya digunakan untuk melapisi kantong plastik belanjaan, tong

sampah, kantong *dry cleaning*, kantong *freezer*, dan kertas karton susu, serta kabel (Landi et al., 2017).



Gambar 2.4 Limbah Plastik LDPE

(Sumber : lingkungan.itats.ac.id)

LDPE adalah plastik serbaguna dan tahan lama, cocok untuk barang yang membutuhkan fleksibilitas dan ketahanan terhadap reaksi kimia. Hal ini juga dapat didaur ulang, menjadikannya pilihan yang ramah lingkungan (Landi et al., 2017).

Tabel 2.3 Properties Jenis Plastik LDPE

Properties Jenis Plastik LDPE	
Kekuatan Tarik (MPa)	17
Modulus Tarik (MPa)	300
Specific Gravity	0,93
Elongation (%)	300
T _m (°C)	230

e) *Polypropylene* (PP)

Jenis plastik yang kelima adalah *polypropylene* yang lebih kaku dan tahan panas, polipropilena lebih sering digunakan dalam wadah makanan panas atau untuk menyimpan benda pada suhu tinggi. PP juga merupakan jenis plastik yang paling aman untuk kemasan makanan dan minuman dan dapat digunakan berkali-kali, menjadikannya pilihan tepat untuk mengemas produk (Untoro Budi, 2018).

Plastik PP jenis ini banyak digunakan pada wadah makanan, peluit, dan pembalut Wanita. Meski banyak manfaatnya, PP sangat sulit didaur ulang dan dapat menyebabkan asma dan gangguan hormonal pada manusia (Untoro Budi, 2018).



Gambar 2.5 Limbah Plastik PP
(Sumber : lingkungan.itats.ac.id)

Plastik jenis PP ini memiliki sifat yang baik sesudah dilelehkan. Dengan temperatur leleh yang tinggi membuat jenis plastik ini memiliki sifat kelenturan, kekakuan dan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan jenis plastik lainnya. Berikut adalah *properties* dari jenis plastik PP yang akan disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 2.4 Properties Jenis Plastik PP

Properties Jenis Plastik PP	
Kekuatan Tarik (MPa)	60
Modulus Tarik (MPa)	1172
Specific Gravity	0,96
Elongation (%)	600
Tm (°C)	130 s.d 190

f) *Polystyrene* (PS)

Jenis plastik keenam adalah *polystyrene* atau PS adalah bahan plastik yang ramah lingkungan dan dapat di-*recycle*, cocok untuk kemasan styrofoam dan penggunaan lainnya. Ini juga tersedia dari asap rokok, knalpot kendaraan dan sumber lain saat bersentuhan dengan makanan (Yos et al., 2017).

PS juga memiliki banyak efek berbahaya bagi tubuh, termasuk pelepasan *styrene*, yang merupakan racun otak dan sistem saraf, selain itu, PS memiliki tingkat daur ulang yang sangat rendah (Yos et al., 2017).



Gambar 2.6 Limbah Plastik PS
(Sumber : lingkungan.itats.ac.id)

g) *Other* (Lainnya)

Jenis plastik ketujuh adalah semua jenis plastik, kecuali yang terbuat dari bahan yang tercantum 1-6 dan plastik yang dapat dicampur dengan plastik jenis lain, seperti bioplastik. Polikarbonat (PC) adalah jenis plastik yang paling umum dalam kategori ini, tetapi PC tidak lagi digunakan dalam beberapa tahun terakhir karena toksisitas atau potensi toksisitasnya. Beberapa negara telah melarang penggunaan PC pada botol bayi dan kemasan susu formula (Untoro Budi, 2018).

SAN dan ABS sangat tahan terhadap reaksi kimia dan suhu, menjadikannya ideal untuk aplikasi ini. Apalagi ABS sering digunakan dalam pembongkaran mainan dan sulit didaur ulang, sehingga penggunaannya harus dibatasi atau dihindari (Untoro Budi, 2018).



Gambar 2.7 Limbah Plastik *Others*
(Sumber : lingkungan.itats.ac.id)

2.3 *Injection Molding*

Injection molding adalah proses manufaktur dimana bahan plastik dilelehkan dalam sebuah *barrel* dan kemudian disuntikkan ke dalam cetakan

(*mold*) yang tertutup rapat. Lelehan plastik tersebut akan mengisi ruang cetakan sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Proses ini sering digunakan untuk menghasilkan berbagai macam produk plastik, mulai dari mainan hingga komponen otomotif, dengan cepat dan efisien (Gusniar, 2018).

Injeksi *molding* juga merupakan teknik manufaktur untuk membentuk produk plastik dari serbuk termoplastik dengan memberikan bahan melalui perangkat pengumpan yang disebut *hopper*. Plastik tersebut kemudian dipanaskan hingga mencapai tekstur yang halus. Selama proses injeksi, tekanan dijaga konstan hingga material mengeras dan siap untuk dikeluarkan dari cetakan (Gusniar, 2018)..



Gambar 2.8 Mesin Injeksi *Molding* Plastik

(Sumber : powerjetmachine.com)

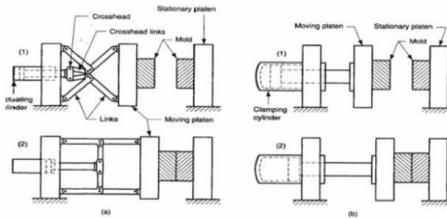
Injeksi *molding* metode yang sangat efektif untuk menghasilkan produk seragam dari cetakan, dan merupakan metode yang paling umum digunakan dalam pembuatan produk dari bahan plastik (polimer). Keunggulan menggunakan metode ini adalah kemampuan untuk memproduksi produk dengan bentuk yang rumit dengan efisiensi produksi tinggi. Injeksi *molding* adalah mesin pemroses polimer yang kunci dalam industri plastik. Dalam proses ini, polimer disuntikkan ke dalam cetakan dan dibentuk menjadi produk akhir (Kale dan Hambire, 2015).

2.4 Mekanisme Langkah Kerja *Injection Molding*

Proses *injection molding* menyerupai operasi pada jarum suntik. Bahan polimer termoplastik dilelehkan dan selanjutnya disuntikkan ke dalam cetakan yang tertutup rapat, sehingga cairan plastik mengisi ruang cetakan sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Proses siklus pada *injection molding* terdiri dari 6 tahapan, yaitu (Widiastuti, 2019).

1. Proses *Clamping*

Proses penguncian (*clamping*) terjadi sebelum tahap injeksi ke dalam cetakan, dimana rongga cetakan dan inti (*core*) harus tertutup rapat pada mesin. Fungsi utama dari sistem penjepitan (*clamping system*) adalah menutup cetakan dengan pelat yang dapat bergerak dan menjaganya agar tetap tertutup selama proses injeksi dan pendinginan. Setelah produk cetakan selesai, sistem penjepitan akan membuka cetakan (Yulianto dan Prasetyo, 2014).

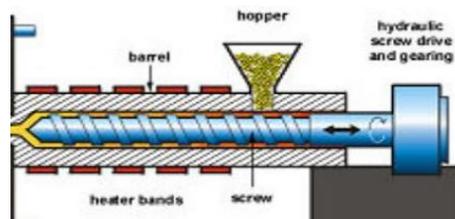


Gambar 2.9 *Clamping Unit*

(Sumber : anwarkholidi.com)

2. Proses *Injection*

Proses injeksi adalah saat bahan plastik yang telah dilelehkan disuntikkan ke dalam cetakan (*modal*) sehingga mengisi ruang cetakan sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Sebelum proses penginjeksian, bahan plastik masih berbentuk butiran serbuk yang rentan tersumbat. Selanjutnya, butiran plastik dimasukkan ke dalam *hopper* pada unit injeksi. Bahan plastik ditempatkan dalam silinder yang dipanaskan hingga mencair. Kemudian, sebuah sekrup yang ditenagai motor berfungsi untuk mencampur dan mengaduk bahan plastik yang telah meleleh serta mendorongnya hingga ujung silinder. (Mawardi, 2015).



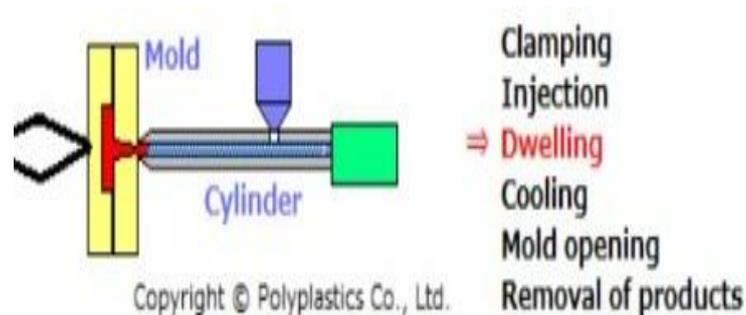
Gambar 2.10 Proses *Injection*

(Sumber : anwarkholidi.com)

Setelah mencapai suhu tertentu, plastik dilelehkan dan kemudian didorong keluar dari tabung melalui *nozzle* untuk disuntikkan ke dalam cetakan, Sehingga terakumulasi cukup bahan diujung sekrup, proses injeksi dimulai. Bahan plastik yang telah mencapai ujung sekrup kemudian disuntikkan ke dalam cetakan melalui *S*. Tekanan dan kecepatan injeksi selama proses ini dikendalikan oleh sekrup (Mawardi, 2015).

3. *Dwelling*

Dwelling merupakan tahap istirahat sementara dalam proses injeksi. Pada tahap ini, bahan plastik yang telah disuntikkan ke dalam cetakan dengan tekanan yang ditentukan harus dibiarkan untuk memastikan pengisian seluruh rongga cetakan (*cavity*). Proses ini bertujuan untuk mencegah cacat produk akibat kekurangan material atau masalah pengelasan (*welding*).



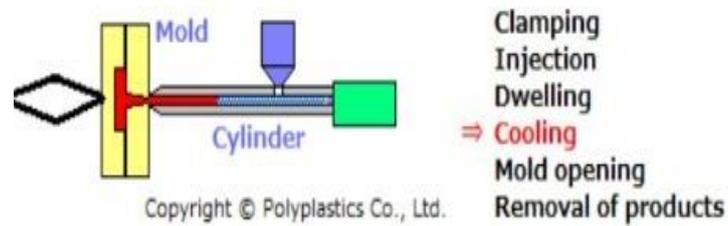
Gambar 2.11 Proses *Dwelling*

(Sumber : polyplastiks.com)

4. Proses *Cooling*

Proses pendinginan (*cooling*) terjadi pada bahan plastik setelah proses penyuntikan. Bahan plastik yang telah mengisi cetakan dan membentuk objek sesuai dengan cetakan akan kemudian didinginkan dengan suhu tertentu untuk mempercepat pengerasan atau pematangan material plastik. Proses pendinginan pada *molding* injeksi adalah tahap dimana produk plastik yang baru dibentuk dalam cetakan (*mold*)

didinginkan untuk memadatkan dan mengeraskannya sehingga dapat dikeluarkan dari cetakan dengan baik (Mawardi, 2015).

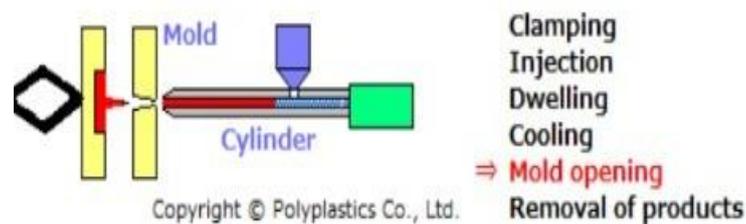


Gambar 2.12 Proses *Cooling*

(Sumber : polyplastiks.com)

5. Proses Pembukaan Cetakan (*Mold Opening*)

Proses pembukaan cetakan (*mold opening*) dalam injeksi *molding* adalah tahap di mana cetakan yang berisi produk plastik yang baru dibentuk akan dibuka untuk memungkinkan produk tersebut dikeluarkan. Langkah penting dalam siklus injeksi *molding* yang memungkinkan produk jadi untuk dikeluarkan dari cetakan. Bahan yang telah mengeras akan didinginkan hingga menjadi produk jadi. Kemudian, dua cetakan akan dibuka dengan menggunakan peralatan *clamping plate* dan *setting plate* (Mawardi, 2015).



Gambar 2.13 Proses *Mold Opening*

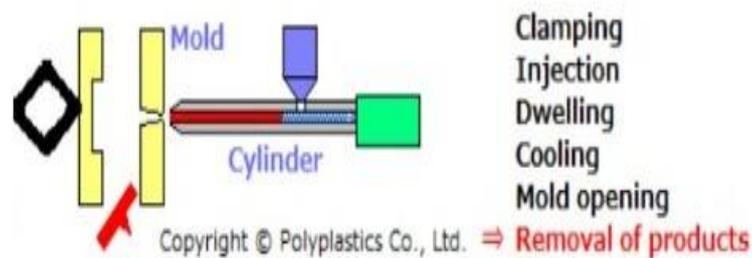
(Sumber : polyplastiks.com)

6. Proses *Ejection*

Langkah terakhir adalah untuk mengeluarkan produk jadi dari dalam cetakan sehingga proses injeksi selanjutnya dapat dilaksanakan. Pada tahap *ejection*, seringkali desain cetakan tertentu digunakan untuk memisahkan *runner* dan *sprue* dari material plastik. Ini bertujuan untuk menghasilkan produk *molding* yang tidak memerlukan pemotongan

tambahan *runner* dan *sprue*. Namun, dalam beberapa kasus dan desain khusus, *runner* dan *sprue* mungkin tidak dipisahkan secara langsung saat tahap *ejection*. Pada saat cetakan dibuka, mekanisme yang digunakan untuk sistem pengeluaran (*ejection system*) adalah mendorong bagian plastik yang telah mendingin dari cetakan (Mawardi, 2015).

Poses *ejection* ini melibatkan penggunaan mekanisme atau peralatan khusus yang mendorong atau mengeluarkan produk jadi dari cetakan, sehingga produk tersebut dapat diambil dan proses injeksi selanjutnya dapat dilakukan. Setelah proses-proses tersebut berhasil menghasilkan produk *molding*, langkah selanjutnya adalah melanjutkan dengan proses berikutnya menggunakan langkah yang sama secara berulang hingga mencapai jumlah produksi yang diinginkan (Mawardi, 2015).



Gambar 2.14 Proses *Ejection*

(Sumber : polyplastiks.com)

2.5 Komponen Mesin *Injection Molding* Plastik

Pada mesin *injection molding* plastik ini terdapat beberapa komponen yang memiliki fungsinya masing-masing. Berikut adalah komponen-komponennya, yaitu (Ferdian et al., n.d.).

1. *Hopper*

Hopper adalah tempat dimana bahan baku plastik berbentuk butiran disimpan sebelum dimasukkan ke dalam proses injeksi. *Hopper* juga merupakan tempat penyimpanan material plastik sebelum masuk ke dalam *barrel*. *Hopper* berperan dalam menjaga kondisi kering material

plastik. Jika kandungan kelembaban terlalu tinggi, hasil injeksi dapat terpengaruh negatif (Eidelweis, 2021).



Gambar 2.15 Hopper

(Sumber : Aliexpress.com)

Hopper adalah wadah penampungan material plastik yang akan dipanaskan dan dilelehkan sehingga dapat mengalir ke bagian sekrup. Dalam *hopper*, bahan plastik dikeringkan oleh aliran udara dari *blower* yang dipanaskan hingga suhu 170°C melalui elemen pemanas (*heater*) dan dicampur dengan pewarna BWE *Holland Colour* oleh *Doozing Unit* (Eidelweis, 2021).

2. *Barrel*

Barrel adalah tempat di mana bahan plastik dilelehkan dan diproses sebelum disuntikkan ke dalam cetakan. *Barrel* berfungsi sebagai tempat pengisian material dan pencampuran dalam suhu barrel sehingga bahan yang telah meleleh didorong ke dalam cetakan. Penggunaan utama dari *barrel* adalah untuk memberikan dukungan pada sekrup. *Barrel* terdiri dari elemen pemanas yang berfungsi sebagai sensor suhu untuk setiap bagian *barrel* (Eidelweis, 2021).



Gambar 2.16 Barrel

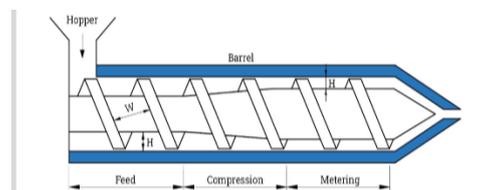
(Sumber : Aliexpress.com)

3. Sekrup

Sebuah sekrup berfungsi untuk menggabungkan, mencairkan, dan mendorong bahan plastik ke dalam cetakan. Sekrup mengambil bahan plastik dari *hopper* dan mengalirkannya ke dalam *barrel* untuk diproses. Selama perjalanan bahan plastik melalui *barrel*, sekrup berputar dan mencampurkan bahan plastik, sehingga meleleh dengan baik dan mendapatkan konsistensi yang tepat. Setelah bahan plastik meleleh, sekrup menekannya ke dalam *sprue* dan *runner*, kemudian memasukkannya ke dalam cetakan (Eidelweis, 2021).

Dikenal sebagai sekrup yang bergerak bolak-balik, digunakan dalam proses kompresi, pelelehan, dan penekanan bahan plastik. Sekrup memiliki tiga zona sebagai berikut.

- a) Zona Pengisian (*Feeding Zone*), di dalam zona pengisian tidak akan terjadi perubahan pada bahan plastik.
- b) Zona Transisi (*Transition Zone*), di zona ini terjadi pelelehan pelet plastik dan plastik cair akan di transfer ke zona berikutnya.
- c) Zona Pengukuran (*Metering Zone*), di zona ini bahan plastik cair siap untuk diinjeksikan.



Gambar 2.17 *Screw Zone*

(Sumber : Iqsdirectory.com)

4. *Mold Preform*

Mold preform adalah komponen utama dalam mesin *injection molding* yang digunakan untuk mencetak bahan plastik menjadi preform sesuai dengan cetakan yang telah dibuat sebelumnya. Bagian *mold preform* merupakan kelanjutan dari proses injeksi yang melibatkan sekrup dan *barrel*. Setelah cetakan preform tertutup, unit injeksi yang terdiri dari *nozzle*, *barrel*, dan sekrup menyuntikkan bahan plastik ke dalam cetakan yang telah didinginkan oleh *chiller*.

Kemudian, preform yang telah dingin dan mengeras dikeluarkan dari cetakan dengan bantuan sistem pendorong hidrolik (Eidelweis, 2021).

Mold preform dalam mesin *injection molding* juga berfungsi untuk membentuk preform atau bentuk awal dari produk plastik yang kemudian akan digunakan sebagai bahan dasar untuk produk akhir. *Mold preform* memainkan peran penting dalam menentukan bentuk dan dimensi *preform* yang sesuai dengan desain yang diinginkan (Eidelweis, 2021).

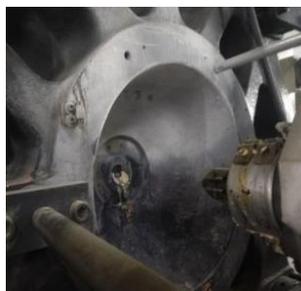


Gambar 2.18 *Mold Preform*

(Sumber : Go4mould.com)

5. *Nozzle*

Fungsi utama dari *nozzle* adalah untuk menghubungkan *barrel* ke *bushing sprue* yang akan membentuk segel antara cetakan dan *barrel*. Sangat penting bahwa suhu *nozzle* diatur sesuai dengan suhu leleh bahan plastik. *Nozzle* memandu aliran bahan plastik cair dari *barrel* ke dalam *sprue*, yang selanjutnya mengarahkan aliran plastik ke rongga cetakan (Eidelweis, 2021).



Gambar 2.19 *Nozzle*

(Sumber : Go4mould.com)

2.6 Cetakan (*Mold*)

Cetakan adalah rongga tempat untuk material yang dileburkan atau dilelehkan seperti logam atau plastik yang memperoleh bentuk sesuai desain cetakan yang dibuat. Cetakan juga pada dasarnya adalah rongga dari bentuk produk yang akan dibuat, sehingga desain dari cetakan ini terkadang kurang optimal atau tidak sesuai standar geometri yang di inginkan. Proses pembuatan cetakan (*mold*) ini melibatkan beberapa faktor yang harus diperhatikan dan harus menggunakan mesin otomatis CNC *milling* yang tingkat ketelitiannya cukup tinggi (Rakhmad et al., 2018).

Cetakan juga merupakan bagian penting dalam mencetak plastik dalam proses injeksi *molding*, karena bentuk jenis plastik tergantung dari desain cetakan itu sendiri. Untuk pembuatan cetakan itu sendiri terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan seperti pemilihan material cetakan dan proses manufakturnya (Rakhmad et al., 2018)

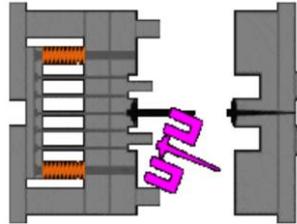
2.7 Jenis-Jenis Cetakan

Cetakan, yang juga dikenal sebagai *molding*, merupakan ruang kosong atau rongga yang digunakan untuk membentuk bahan plastik yang telah dilelehkan sehingga sesuai dengan desain cetakan. Cetakan terdiri dari dua bagian, yaitu pelat yang dapat bergerak (*moveable plate*) dan pelat yang diam (*stationary plate*). Sesuai dengan namanya, pelat yang dapat bergerak dipasang pada *moveable plate* di mesin injeksi *molding*, sementara pelat yang diam dipasang pada *stationary plate*. Secara umum, cetakan dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe cetakan 2 pelat dan cetakan 3 pelat. Cetakan 2 Pelat terdiri dari pelat rongga (*cavity plate*) dan pelat inti (*core plate*), sementara cetakan 3 Pelat juga mencakup pelat *runner*. Berikut adalah jenis tipe cetakan (Permana dan Anwar, 2021).

1. *Mold 2 Plate*

Cetakan 2 Pelat menghasilkan produk yang masih terhubung dengan runner (saluran material dari *sprue bush* dan seterusnya), sehingga perlu memisahkan produk dan runner dengan pemotong *nipper* atau tang potong untuk mendapatkan hasil pemotongan yang rapi. Untuk

mendapatkan produk yang terpisah dari *runner*, dapat diterapkan sistem gerbang tipe *sub-marine*, sedangkan untuk memungkinkan produk keluar tanpa *runner*, dapat mengaplikasikan sistem *hot runner*.

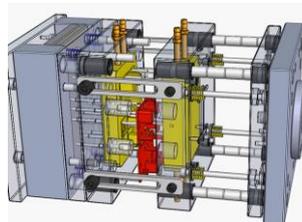


Gambar 2.20 *Mold 2 Plate*

(Sumber : plastikmoulds.com)

2. *Mold 3 Plate*

Perbedaan antara cetakan 2 Pelat dan cetakan 3 Pelat hanya terletak pada jumlah platennya. Cetakan 3 Pelat memiliki satu pelat tambahan, yang disebut pelat *runner*. Fungsi dari pelat *runner* adalah untuk memastikan produk terpisah dari *runner*, terutama dengan menggunakan gate yang biasa disebut sebagai gerbang *pin point*. Ketika cetakan terbuka, posisi *runner* harus tetap terpasang pada pelat *runner* dengan bantuan pin pengunci *runner* pada setiap gerbangnya.



Gambar 2.21 *Mold 3 Plate*

(Sumber : plastikmoulds.com)

2.8 Aluminium 6061

Aluminium 6061 ini adalah aluminium serba guna yang memiliki kekuatan yang tinggi dan biasanya banyak diaplikasikan dalam pembuatan cetakan, dimana sifat material dari *aluminium 6061* ini ketahanan korosi yang cukup tinggi dan memiliki konduktivitas termal yang baik membuat jenis material ini cocok digunakan untuk cetakan injeksi plastik. Paduan Aluminium 6061 merupakan salah satu paduan aluminium dari kelompok 6XXX yang sering

digunakan. Paduan ini memiliki ketahanan yang baik terhadap panas. Selain aluminium, magnesium dan silikon adalah komponen utama dalam material ini. Kombinasi aluminium, magnesium, dan silikon juga membuat material ini sangat reaktif terhadap oksigen (Shieddieque et al., n.d.).

Paduan ini memiliki ketahanan yang baik terhadap panas. Selain aluminium, magnesium dan silikon merupakan komposisi utama dalam material ini. Kombinasi aluminium, magnesium, dan silikon juga membuat material ini sangat reaktif terhadap oksigen. Beberapa produsen juga menambahkan sedikit krom dan tembaga untuk mencapai sifat tertentu. Ketika permukaan *aluminium 6061* terpapar udara, akan terbentuk lapisan tipis yang melindungi logam paduan ini dari karat. Berikut dibawah ini adalah gambar komposisi Paduan *aluminium 6061* (Shieddieque et al., n.d.).

Tabel 2.5 Paduan Kimia *Aluminium 6061*

Komposisi Kimia	Nilai	Satuan
Aluminium (Al)	95.65 - 98.65	%
Magnesium (Mg)	0.65 - 1.05	%
Silikon (Si)	0.25 - 0.7	%
Tembaga (Cu)	0.15 - 0.6	%
Mangan (Mn)	≤ 0.15	%
Kromium (Cr)	0.15 - 0.25	%
Besi (Fe)	≤ 0.35	%

2.9 Proses Permesinan

Proses permesinan merupakan kegiatan untuk menghasilkan produk melalui serangkaian tahapan dari bahan baku atau bahan mentah yang akan diolah secara sistematis dan teratur dengan metode tertentu, sehingga menghasilkan produk akhir yang diinginkan dan berfungsi sesuai kebutuhan. Proses permesinan juga merupakan transformasi bahan baku menjadi produk baru dengan peningkatan dalam fungsi, kualitas dan keunggulan lainnya, proses ini mengikuti prinsip pemotongan logam yang terbagi menjadi tiga kelompok dasar, yakni pemotongan dengan mesin pres, pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan pemotongan non-konvensional.

Pemotongan dengan mesin pres mencakup pengguntingan, pengepresan, dan penarikan. Pemotongan konvensional dengan mesin perkakas mencakup bubut, frais, dan sekrap. Proses ini melibatkan penghapusan bagian bahan kerja yang tidak diperlukan untuk membentuk geram sehingga menciptakan bentuk produk yang diinginkan (Nasution et al., 2021).

Proses pemesinan *milling CNC* adalah jenis permesinan pemotongan material menggunakan alat potong dengan beberapa mata potong yang berputar searah. Metode ini, yang menggunakan banyak gigi potong pada pisau yang berputar, dapat meningkatkan efisiensi proses pemesinan. Bentuk permukaan yang dihasilkan bisa datar, sudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja juga dapat berupa kombinasi dari berbagai bentuk. Mesin yang digunakan untuk menjepit benda kerja, menggerakkan pisau, dan melakukan pemotongan disebut mesin frais (Ratlalan, 2019).

2.9.1 Mesin CNC 3 AXIS

Secara garis besar, mesin *CNC 3 AXIS* terdapat dua kategori, yakni mesin *CNC 3 AXIS* untuk pelatihan (*Training Unit*) dan mesin *CNC 3 AXIS* untuk produksi (*Production Unit*). Fungsi dari kedua alat kurang lebih memiliki prinsip kerja yang serupa, namun berbeda dalam penggunaannya. Mesin *CNC 3 AXIS* untuk pelatihan digunakan untuk tugas yang ringan dan tidak terlalu kompleks, sementara mesin *CNC 3 AXIS* untuk produksi digunakan untuk tugas produksi massal karena dilengkapi dengan aksesoris yang lebih canggih seperti *chuck* otomatis dan *toolpost* otomatis (Nasution et al., 2021).

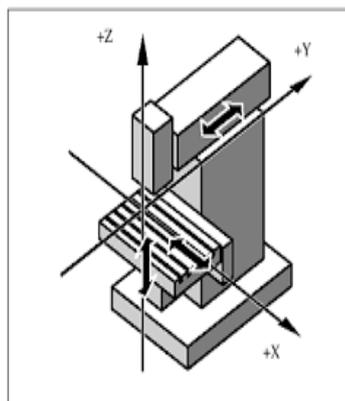


Gambar 2.22 Mesin *CNC 3 AXIS*

Mesin *CNC 3 AXIS* diperintahkan oleh komputer, sehingga semua proses berjalan secara otomatis sesuai dengan instruksi yang diberikan oleh program, maka dari itu, dengan program yang sama, mesin ini dapat diinstruksikan untuk mengulangi pelaksanaan proses secara berulang. Dimana *CNC 3 AXIS* ini diperintahkan oleh program, program tersebut memuat serangkaian instruksi yang harus dilaksanakan oleh mesin *CNC 3 AXIS*. Kelemahan dari pembuatan program NC secara langsung di mesin adalah waktu yang diperlukan sangat lama dan mesin tidak dapat digunakan selama proses pembuatan program NC berlangsung (Ratlalan, 2019).

2.9.2 Prinsip Kerja Mesin *CNC 3 AXIS*

Mesin *CNC 3 AXIS* menggunakan sistem koordinat persumbuan dengan dasar sistem koordinat kartesian (arah jarum jam). Sistem persumbuan pada mesin *CNC 3 AXIS* telah diatur sesuai dengan standar ISO. Prinsip kerja mesin *CNC 3 AXIS* adalah dengan meja bergerak dengan arah horizontal dan juga melintang, sedangkan mata pisau atau pahat berputar dengan menyayat badan kerja. Arah gerakan persumbuan mesin *CNC 3 AXIS* di antaranya sumbu X untuk arah bergerak horizontal memanjang (kiri-kanan), sumbu Y untuk arah gerak melintang (depan-belakang), dan sumbu Z untuk arah tegak lurus (atas-bawah) biasanya sumbu Z ini dilakan oleh pahat (Nasution et al., 2021).



Gambar 2.23 Persumbuan *CNC 3 AXIS*

(Sumber : Ratlalan, 2019)

2.9.3 Bagian-Bagian Utama Mesin CNC 3 AXIS

Terdapat bagian-bagian penting pada mesin *CNC 3 AXIS* secara garis besar semua mesin *CNC 3 AXIS* memiliki bagian yang sama, demikian juga pengoperasiannya tidak jauh beda dengan *CNC 3 AXIS* jenis yang berbeda. Berikut ini adalah bagian-bagian penting dalam mesin *CNC 3 AXIS* (Widiyaningsih & Irwanto, 2021)

1. Motor Penggerak

Motor penggerak adalah motor utama untuk menggerakkan pahat yang berfungsi untuk menyayat benda kerja, biasanya motor ini menggunakan jenis arus (*ss*) searah, dengan kecepatan yang berbeda-beda.



Gambar 2.24 Motor Penggerak

2. Step Motor

Motor step ini secara garis besar digunakan untuk menggerakkan meja benda kerja dimana terdapat dua arah gerak, yakni gerak X memanjang dan sumbu Y melintang.



Gambar 2.25 Step Motor

3. Meja Mesin

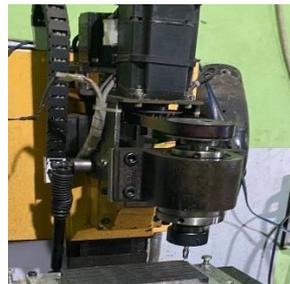
Meja mesin *CNC 3 AXIS* ini secara garis besar bergerak ke dua arah sumbu yang berbeda, yakni sumbu X dan Y dimana pada setiap sumbu nya difasilitasi dengan motor penggerak.



Gambar 2.26 Meja Mesin

4. Rumah Pahat

Rumah pahat ini secara garis besar digunakan untuk mencekam pahat yang akan digunakan (*tool holder*), pada rumah pahat ini hanya mampu menjepit satu pahat.



Gambar 2.27 Rumah Pahat

5. Ragum (cekam)

Ragum atau cekam ini digunakan untuk menjepit benda kerja ketika dilakukannya penyayatan, biasanya ragum dilengkapi oleh *stopper* guna batas pegangan pada benda kerja.



Gambar 2.28 Ragum

6. Bagian Pengendali

Bagian pengendali secara garis besar merupakan panel control pada mesin *CNC 3 AXIS* dimana panel tersebut terdapat tombol panel untuk melaksanakan perintah pada mesin.



Gambar 2.29 Bagian Pengendali

2.9.4 Parameter Permesinan

Parameter proses permesinan *CNC 3 AXIS* meliputi dasar-dasar perhitungan yang digunakan untuk menentukan variabel-variabel dalam proses pemakanan permesinan *CNC 3 AXIS*, seperti kecepatan potong (V_c), kecepatan putaran mesin (rpm), kecepatan pemakanan (V_f), dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*). Pada proses permesinan mesin *CNC 3 AXIS* terdapat beberapa parameter sebagai berikut (Aziz & Saraswati, 2022).

1. Kecepatan Potong (V_c)

Kecepatan potong (V_c) adalah kecepatan linier di mana satu titik pada tepi pisau menempuh jarak dalam satuan meter dalam satu menit. Terdapat sistematika perumusan sebagai berikut.

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

V_c = Kecepatan Potong (mm/min)

d = Diameter Pahat (mm)

n = Kecepatan Putar *Spindle* (putaran/min)

Jika kecepatan potong pada benda kerja diketahui maka jumlah putaran *spindle* dapat dicari putaran *spindle* nya yang akan digunakan berikut sistematika perumusannya

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

V_c = Kecepatan Potong (mm/min)

d = Diameter Pahat (mm)

n = Kecepatan Putar *Spindle* (putaran/min)

Sebelum memulai proses permesinan, hal yang terpenting adalah mengidentifikasi bahan yang akan dilakukan proses permesinan dan jenis pahat yang akan digunakan. Setelah menetapkan bahan dan pahat yang sesuai, langkah berikutnya adalah menentukan kecepatan potong. Kecepatan potong untuk berbagai jenis bahan biasanya telah distandarisasi dalam tabel berdasarkan hasil penelitian. Bahan-bahan tersebut dapat dibagi menjadi kategori logam dan non-logam, dengan penggunaan jenis pahat yang sesuai. Berikut adalah gambar untuk mengetahui standar kecepatan potong dari jenis bahan dan jenis pahat untuk memotong.

Material	<i>Dept of Cut</i> (mm)	<i>Speed</i> (m/min)	<i>Feed</i> (mm/tooth)
<i>Low Carbon Steel</i>	-7.0	180 - 300	0.10 - 0.30
<i>High Carbon Steel</i>	-7.0	130 - 280	0.10 - 0.30
<i>Alloy Steel</i>	-7.0	120 - 250	0.10 - 0.30
<i>Tool Steel</i>	-7.0	80 - 200	0.10 - 0.25
<i>Stainless 300 Series</i>	-4.2	80 - 170	0.08 - 0.18
<i>Stainless 400 Series</i>	-4.2	100 - 210	0.10 - 0.26
<i>Gray Cast Iron</i>	-7.0	150 - 400	0.10 - 0.30
<i>Nodular Cast Iron</i>	-7.0	100 - 250	0.10 - 0.30

Gambar 2.30 Standar Kecepatan Potong

2. Kecepatan Pemakanan (V_f)

Kecepatan pemakanan *feederate* berfokus untuk pengaturan kecepatan pergerakan meja *milling* saat melakukan proses pemotongan pada benda kerja. Secara garis besar kecepatan

pemakanan ini ialah jarak tempuh gerak benda kerja dalam satuan mm/menit. Berikut adalah sistematika perumusan untuk menentukan kecepatan pemakanan (Aziz & Saraswati, 2022).

$$Vf = f \cdot z \cdot n \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

Vf = Kecepatan Pemakanan (mm/min)

f = Besar Pemakanan (mm/min)

z = Jumlah Mata Pahat Alat Potong

n = Putaran Mesin (Putaran/min)

Pemakanan per mata potong (fz) diukur dalam mm/*tooth* dan merupakan nilai yang digunakan dalam proses pemilinan untuk menghitung *feed* meja. Ketika *cutter milling* memiliki banyak mata potong, nilai fz diperlukan untuk memastikan setiap mata potong beroperasi dalam kondisi aman. Nilai *feed* per mata potong dihitung berdasarkan ketebalan *chips* yang direkomendasikan. Penentuan nilai *feed* harus dihitung menggunakan rumus yang mencakup kebutuhan *feed* dan disesuaikan dengan ukuran pahat serta jumlah mata potong yang akan digunakan. Berikut adalah gambar ketentuan pahat HSS.

Bahan	Pahat Bubut HSS		Pahat Bubut Karbida	
	m/men	Ft/min	M/men	Ft/min
Baja lunak(<i>Mild Steel</i>)	18 – 21	60 – 70	30 – 250	100 – 800
Besi Tuang(<i>Cast Iron</i>)	14 – 17	45 – 55	45 - 150	150 – 500
Perunggu	21 – 24	70 – 80	90 – 200	300 – 700
Tembaga	45 – 90	150 – 300	150 – 450	500 – 1500
Kuningan	30 – 120	100 – 400	120 – 300	400 – 1000
Aluminium	90 - 150	300 - 500	90 - 180	b. – 600

Gambar 2.31 Standar Ketentuan Pahat

3. Panjang Pemotongan dan Waktu Pemotongan

Panjang pemotongan dan waktu pemotongan dipengaruhi beberapa faktor, yakni jarak tempuh pengefraisan, kecepatan pemakanan dan

mata pisau yang digunakan. Berikut dibawah ini adalah perhitungan panjang dan waktu pemotongan.

$$L = l_n + l_w + l_v \dots\dots\dots (2.4)$$

$$t_c = \frac{L}{v_f} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

t_c = Waktu Pemotongan (min)

L = Panjang Pemotongan (mm)

l_n = Jarak Tempuh Pemakanan Keseluruhan (mm)

l_w = Jarak Awal Penyayatan (mm)

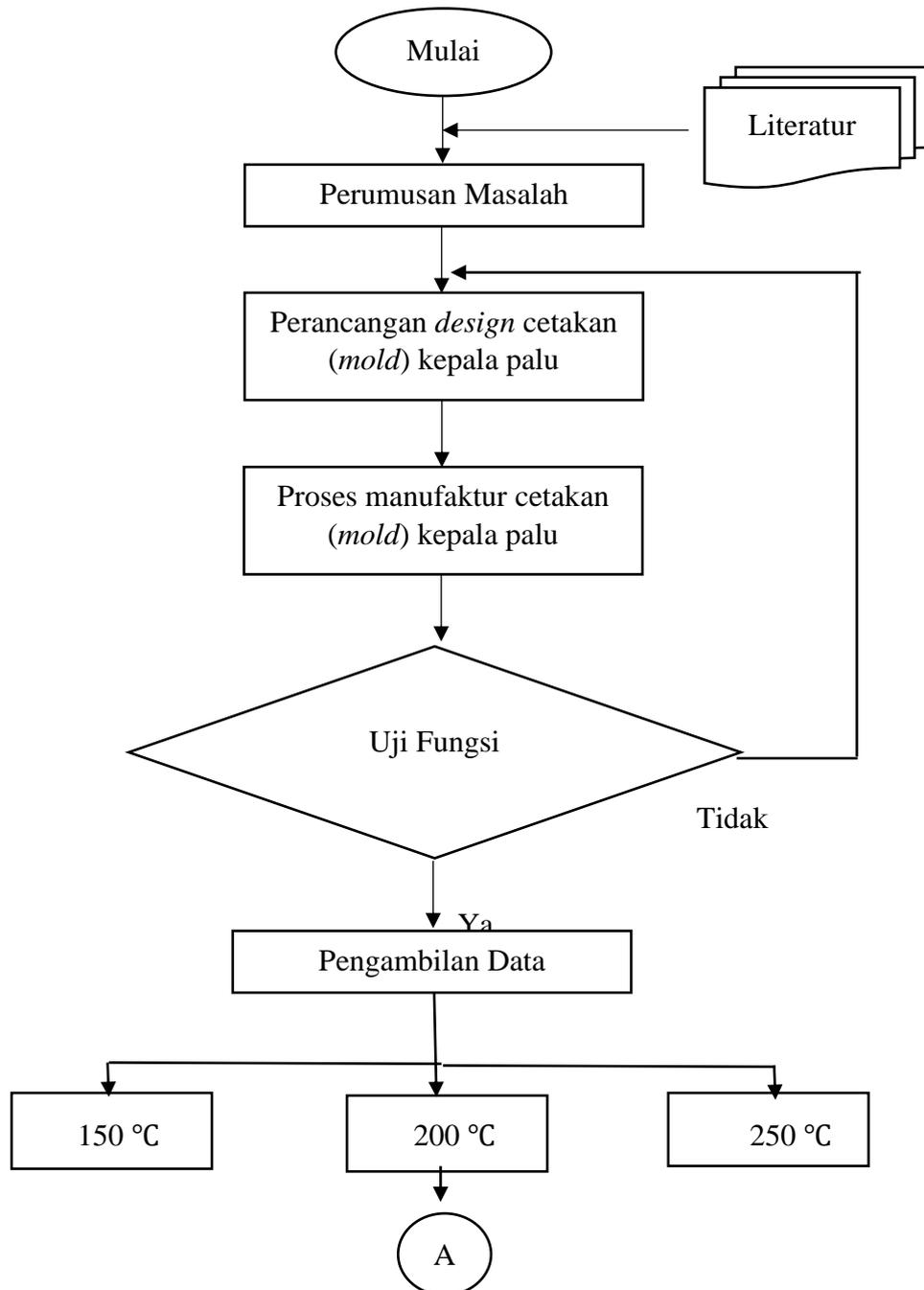
l_v = Jarak Akhir Penyayatan (mm)

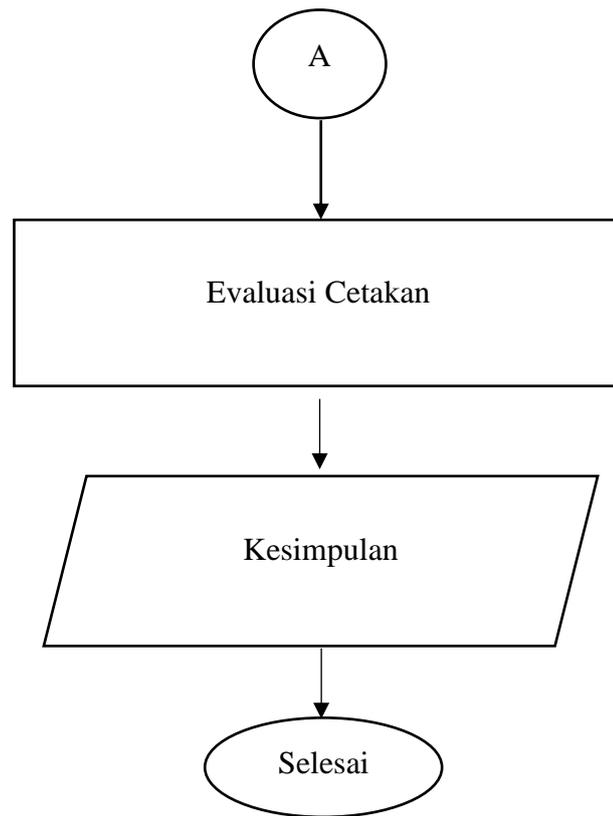
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini terdiri diagram alir dan metode penelitian, yakni sebagai berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir

Pada diagram alir diatas adalah proses tahap-tahap dalam melakukan penelitian untuk pembuatan cetakan kepala palu. Berikut adalah penjelasan diagram alir diatas.

1. Studi literatur

Pada tahap studi literatur ini digunakan untuk mempelajari referensi dalam penelitian yang akan dilakukan. Dalam metode studi literatur ini juga untuk mengetahui gambaran awal terkait pembuatan cetakan untuk injeksi *molding* untuk acuan penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur ini diambil dari beberapa media, yakni buku, jurnal dan penelitian sebelumnya.

2. Desain cetakan kepala palu

Pada tahap ini dilakukan desain yang cocok sesuai kebutuhan dan kriteria yang dibutuhkan, dengan menentukan dimensi serta pemilihan material pada cetakan yang sesuai kriteria yang dibutuhkan yang mampu menahan panas yang tinggi.

3. Proses Manufaktur kepala palu

Pada tahap ini dilakukan proses pembuatan cetakan kepala palu sesuai kriteria yang dibutuhkan, untuk material cetakan yang digunakan adalah *aluminium 6061* yang pada umumnya cocok untuk dilakukan proses injeksi *molding*. Proses pembuatan cetakan nya terdapat 2 blok, yaitu cetakan *core* dan cetakan *cavity* ini menggunakan mesin CNC 3 AXIS.

4. Uji Fungsi

Pada tahap ini dilakukan proses pengujian terhadap cetakan yang sudah dibuat apakah cetakan mampu menahan temperatur dan bagaimana hasil dari produk yang dibuar

5. Pengambilan Data

Pada tahap ini adalah proses pengelompokkan limbah plastik PETE dan PP selanjutnya dilakukan proses pemanasan plastik di ruang *barrel* dengan tujuan untuk mempermudah limbah plastik untuk mengisi cetakan, yang mana pada proses ini menggunakan tiga temperatur yang berbeda, yakni 150 °C, 200 °C dan 250 °C. Kemudian, dilakukan pengisian ke cetakan dari limbah plastik yang sudah dilelehkan yang di dorong menggunakan *screw* dan limbah plastik yang dipanaskan akan keluar dari lubang *nozzle* yang mana dibawah lubang terdapat cetakan yang ingin diisi.

6. Evaluasi Cetakan

Pada tahap ini dilakukan pengujian hasil dari cetakan terhadap ketahanan temperatur cetakan menggunakan termokopel jenis K yang di tempelkan pada dinding cetakan dan juga karakteristik geometri yang diukur menggunakan jangka sorong untuk dimensi dan tebal dari hasil produk cetakan

7. Analisa data

Pada tahap akhir adalah analisa data, yakni analisa terhadap data pengujian yang diperoleh untuk mengetahui nilai yang didapat dan evaluasi dari hasil pengujian cetakan dan produk nya.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan untuk menunjang dalam proposa; dengan kebutuhan sebagai berikut:

3.2.1 Alat

Berikut alat yang digunakan selama proses penelitian berlangsung sebagai berikut:

1. Mesin Injeksi *Molding*

Mesin ini adalah peralatan utama yang digunakan untuk mencairkan, menyuntikkan, dan mendinginkan bahan mentah (plastik) menjadi produk jadi. Mesin ini terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk unit injeksi, unit pengunci cetakan, unit pengontrol, dan unit pemanas.



Gambar 3.2 Mesin Injeksi *Molding*

2. Cetakan

Cetakan adalah alat yang digunakan untuk membentuk produk akhir. Cetakan dapat terbuat dari baja, aluminium, atau bahan lainnya dan terdiri dari dua bagian utama cetakan atas (*cavity*) dan cetakan bawah (*core*) yang membentuk produk.



Gambar 3.3 Cetakan Kepala Palu

3. Hopper

Hopper adalah wadah di atas mesin injeksi *molding* yang digunakan untuk meletakkan bahan mentah (biji plastik) sebelum diproses. *Hopper* memiliki konveyor atau pengumpan untuk mengirimkan bahan mentah ke mesin injeksi *molding*.



Gambar 3.4 Hopper

4. Timbangan

Pada penelitian ini timbangan digunakan untuk mengukur berat limbah plastik sebelum dilakukannya proses pemanasan pada mesin *injection molding*.



Gambar 3.5 Timbangan

5. Gerinda Tangan Kecil

Pada penelitian alat ini digunakan untuk mengikid sisa-sisa plastik hasil pelehan dari cetakan dan juga *finishing* untuk baghian yang tidak perlu pada pengujian specimen.



Gambar 3.6 Gerinda Tangan Kecil

6. Jangka Sorong

Pada penelitian ini jangka sorong digunakan untuk mengukur hasil produk berdasarkan geometri dari produk berupa dimensi dan tebal apakah sesuai dengan hasil desain yang dibuat.



Gambar 3.7 Jangka Sorong

7. Termokopel Jenis K

Alat ini digunakan untuk menguji ketahanan temperatur pada cetakan menggunakan dua jenis termokopel jenis K yang dihubungkan keempat sisi cetakan dan di *monitoring* selama proses pengisian cetakan.



Gambar 3.8 Termokopel Jenis K

3.2.2 Bahan

Berikut alat yang digunakan selama proses penelitian berlangsung sebagai berikut:

1. Limbah Plastik PETE

Limbah PETE adalah salah satu jenis plastik termoplastik yang memiliki sifat tahan terhadap kimia. Limbah plastik ini yang digunakan seperti botol-botol bekas.



Gambar 3.9 Jenis Plastik PETE

2. Limbah Plastik PP

Limbah plastik PP (*Polypropylene*) adalah limbah plastik yang terbuat dari jenis plastik PP. Pada penelitian ini digunakan berupa limbah gelas plastik dan tutup botol.



Gambar 3.10 Jenis Plastik PP

3. Minyak sayur

Minyak sayur ini digunakan untuk melapisi cetakan sebelum dilakukan pengisian pada cetakan supaya mudah melepas hasil pengisian dari cetakan.



Gambar 3.11 Minyak Sayur

3.3 Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan metode eksperimen dimana metode ini dilakukan untuk mengamati hasil produk dari cetakan injeksi *molding* dengan temperatur yang berbeda-beda pada *heater barrel*, yakni 150°C, 200°C dan 250°C. Untuk pengisian produk cetakan dengan lelehan plastik jenis PETE dan PP, pengujian ini terbagi dua variable penelitian, yakni variable bebas

dan juga variable terikat. Berikut adalah variable pengujian yang akan dilakukan sebagai berikut.

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini ialah temperatur suhu yang digunakan untuk melelehkan plastik, yakni 150°C, 200°C dan 250°C.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini ialah material cetakan yang digunakan, yakni *Aluminium 6061* dan jenis plastik yang digunakan adalah PETE dan PP

3.4 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini terdapat empat prosedut penelitian, dimana prosedur tersebut terkait proses permesinan cetakan, proses kalibrasi termokopel dan proses pengujian terhadap cetakan berupa geometri bahan dan ketahanan temperatu pada cetakan. Berikut adalah prosedut penelitian yang akan dilakukan.

3.4.1 Prosedur Permesinan Cetakan

Pada proses pembuatan cetakan ini dibuat menggunakan mesin CNC 3 AXIS. Berikut dibawah ini adalah prosedur permesinan pembuatan cetakan.

1. Merancang desain untuk cetakan menggunakan *solidworks* dan juga memilih material yang digunakan, yakni *aluminium 6061* serta melakukan simulasi *thermal* pada *solidworks* untuk mengetahui ketahanan *stress* temperatur dan juga berapa lama pengisian bila diberi suhu yang ditentukan.
2. Mengkonversi desain dari *solidworks* ke *Autodesk fusion 360* untuk dilakukan simulasi proses permesinan CNC 3 AXIS dimana ditentukan *toolpath*, kedalaman pemakanan dan kecepatan pemakanan untuk simulasi sebelum dilakukannya proses permesinan. Dimana mengubah CAD menjadi CAM dan dari *Autodesk fusion 360* ini sendiri akan membacakan gambar CAD dan

mengubah nya menjadi program untuk pembuatan cetakan sesuai desain yang dibuat.

3. Mengkonversi hasil *NC Program* dari *Autodesk fusion 360* ke *Mach 3 CNC* untuk proses permesinan cetakannya.
4. Mensetup pada *Mach 3 CNC*, yakni *toolpath* pahat pemakanan menggunakan pahat *endmill* 6 mm, *depth of cut* nya 0,25 mm dan mengatur kecepatan *spindle* sebesar 600 rpm
5. Menjepit benda kerja pada cekam mesin CNC 3 Axis
6. Melakukan kalibrasi manual menggunakan *Mach 3 CNC* dengan menempelkan kertas pada ketiga sumbu.
7. Menjalankan program yang sudah dibuat dengan menekan tombol *cycle start (alt-R)* dan mesin akan berjalan melakukan penyayatan.
8. Memeriksa hasil permesinan cetakan apakah sudah sesuai dengan desain yang diinginkan
9. Melakukan *finishing* pada cetakan menggunakan *ballnose* diameter 2 mm untuk menghilangkan *countur* kasar pada cetakan

3.4.2 Prosedur Kalibrasi Termokopel

Kalibrasi ini dilakukan guna verifikasi bahwasanya alat ukur termokopel ini memiliki akurasi yang akurat, untuk termokopel yang digunakan ini jenis termokopel digital K dimana jenis ini mampu membaca suhu (0 s.d 500) °C. Kalibrasi ini dilakukan dengan membandingkan dua jenis alat mendeteksi suhu yang berbeda-beda, yakni termometer air raksa dan termokopel digital jenis K. Acuan untuk prosedur kalibrasi menggunakan standar SNI 19-2500-2018 berikut ini adalah langkah-langkah proses kalibrasi termokopel.

1. Menyiapkan alat dan bahan untuk melakukan kalibrasi seperti ember, *heater*, air dan es batu
2. Memasukkan air dan es batu pada ember pastikan air dan es tercampur sempurna dan suhunya mencapai 0 °C
3. Memasukkan termometer air raksa dan ternokopel jenis K dan tunggu hingga pembacaan kedua alat ukur stabil dan terlihat pada

saat bersamaan kedua alat pendeteksi suhu ini dimasukkan ke ember yang berisi air es menunjukkan nilai 0 °C

4. Memasukkan *heater* untuk memanaskan air dan *range* untuk perubahan titik beku dan titik didih air *range* nya (0 s.d 100) °C
5. Melakukan *monitoring* pencacatan setiap 5 menit sekali dan lihat perubahan temperatur nya dan bandingkan antara termokopel jenis K dengan termometer air raksa untuk melihat hasil keakuratan dari kalibrasi yang dilakukan

3.4.3 Prosedur Pengujian Ketahanan Tempereatur Cetakan Kepala Palu

Terdapat prosedur untuk pengujian temperatur terhadap cetakan kepala palu. Berikut adalah tahap-tahapnya.

1. Menyiapkan alat dan bahan
2. Melakukan kalibrasi pada alat ukur suhu termokopel jenis K terhadap termometer air raksa
3. Mengontrol temperatur *barrel* pada panel sesuai *set point* suhu yang diinginkan
4. Memasang dua buah termokopel jenis K pada dinding cetakan dibagi menjadi empat titik.
5. Meletakkan cetakan kepala palu dibawah lubang *nozzle* dan menunggu lelehan plastik terdorong hingga lubang *nozzle*.
6. Memasukkan limbah plastik jenis PP dan PETE pada *hopper* ketika suhu *barrel* sudah mencapai *set point* yang diinginkan.
7. Mencatat hasil suhu pada cetakan yang sudah ditempelkan termokopel lalu mencatat setiap 2 menit hingga proses selesai
8. Melepaskan cetakan dari lubang *nozzle* ketika cetakan sudah terisi penuh
9. Mengulangi proses 2-8 pada pengujian berikutnya.
10. Menganalisa Data

3.4.4 Prosedur Pengujian Geometri Cetakan Kepala Palu

Terdapat prosedur pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini terkait pengujian karakteristik geometri dari hasil produk. Berikut ini adalah tahap-tahapnya.

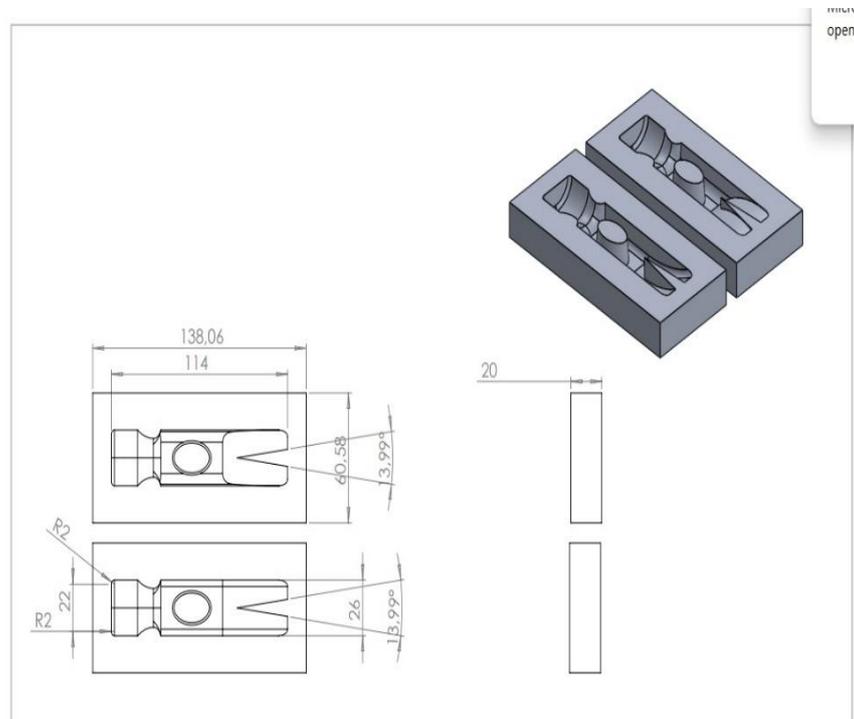
1. Mempersiapkan produk hasil lelehan plastik injeksi *molding* cetakan kepala palu.
2. Mengkalibrasi alat ukur jangka sorong digital.
3. Melakukan pengukuran dimensi panjang, lebar dan tebal pada hasil produk lelehan plastik cetakan kepala palu menggunakan jangka sorong digital.
4. Mencatat hasil pengukuran dimensi dan ukuran produk cetakan kepala palu
5. Analisa data

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain dan Simulasi Cetakan

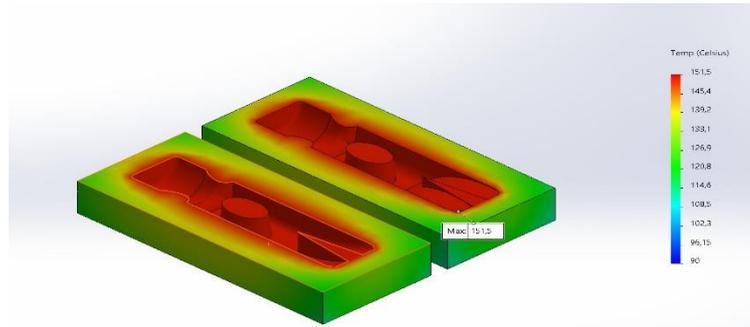
Sebelum melakukan proses permesinan untuk pembuatan cetakan dilakukan desain dan simulasi cetakan menggunakan *software solidworks* dengan dimensi Panjang 138,06 mm x Lebar 60,58 mm x Tinggi 16,33 mm. Berikut ini adalah desain cetakan kepala palu pada gambar 4.1.



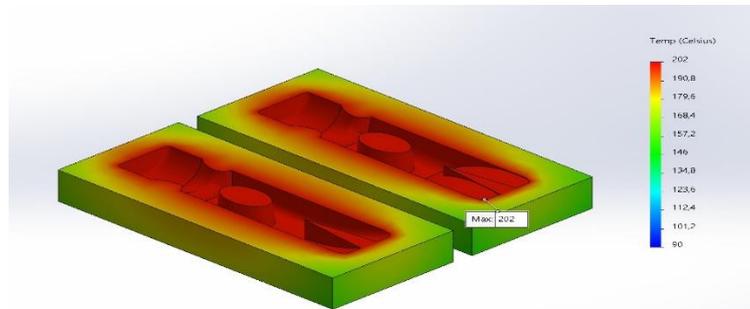
Gambar 4.1 Desain Cetakan

Pada desain cetakan ini diperoleh volume sebesar 13657,8 cm³ dan massanya 383 gram diperoleh dari *mass properties* dari *software solidworks*. Material yang akan digunakan pada desain gambar 4.1 ialah aluminium 6061. Selain proses perancangan dilakukan juga proses simulasi dari cetakannya guna mengetahui kemampuan *stress* dan ketahanan termal dari cetakan tersebut. Temperatur yang akan digunakan dalam proses *injection molding* menggunakan tiga suhu yang berbeda, yakni 150°C, 200°C dan 250°C. Berikut

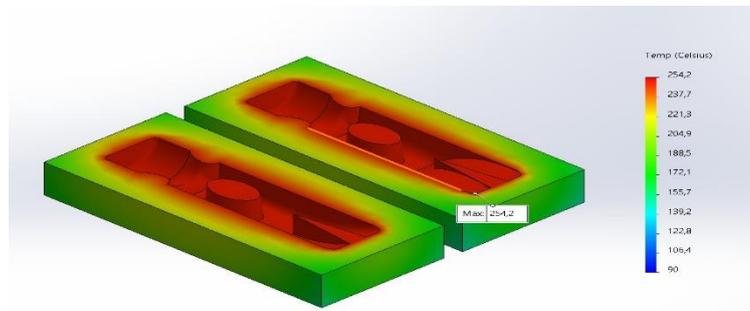
adalah hasil simulasi dari cetakan yang diberi termal ketiga suhu yang berbeda pada gambar 4.2, gambar 4.3 dan gambar 4.4.



Gambar 4.2 Simulasi Termal 150°C



Gambar 4.3 Simulasi Termal 200°C

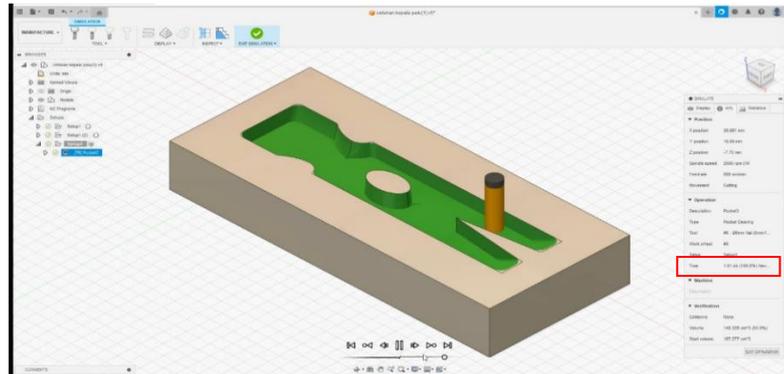


Gambar 4.4 Simulasi Termal 250°C

4.2 Proses CAM Cetakan Dari *Solidworks* to *Autodesk Fusion*

Computer Aided Design (CAM) ini merupakan sistem manufaktur yang menggunakan komputer guna menerjemahkan gambar desain dari CAD menjadi sebuah instruksi kerja dari mesin produksi, secara garis besar CAM ini berupa desain terkait proses pemakanan, *toolpath* yang digunakan dan hal-hal yang lain. Desain dari CAD ini akan dikonversi menjadi bahas

4. Kemudian, di tahap selanjutnya proses simulasi sebelum dilakukannya proses permesinan supaya hasil dari desain yang diinginkan sesuai dan tidak mengalami kecacatan. Untuk simulasi nya pilih *tools inspection* > *Actions* > *Simulate* dan pada gambar 4.7 dibawah ini terdapat hasil dari simulasi terdapat hasil simulasi nya dan estimasi waktu pemakanannya sekitar 1 jam.



Gambar 4.8 Simulasi Pemakanan

5. Setelah proses simulasi proses pemakanan dilakukan proses konversi dari desain CAD ke CAM menggunakan *software Autodesk fusion 360*, dengan cara pilih setup > NC Program dan kode untuk proses permesinan akan tersedia. Berikut adalah kode CNC untuk proses permesinan cetakan kepala palu. Kode CNC Proses Permesinan

Roughing

(PROFILING)

(T1 D = 6. CR = 0. - Z MIN= -12.9 - FLAT END MILL)

G90 G94 G91.1 G40 G49 G17

G21

(POCKET1)

M5

T1 M6

S2500 M3

G54

M8

G0 X12.881 Y-0.617
G43 Z15. H1
Z1.25
G1 Z0.862 F200.
X12.872 Y-0.629 Z0.73
X12.844 Y-0.662 Z0.604
X12.801 Y-0.718 Z0.491
X12.745 Y-0.793 Z0.396
X12.682 Y-0.885 Z0.324
X12.616 Y-0.992 Z0.279
X12.551 Y-1.107 Z0.262
G3 X17.581 Y-3.789 Z0.137 I2.515 J-1.341
X12.551 Y-1.107 Z0.012 I-2.515 J1.341
X17.581 Y-3.789 Z-0.113 I2.515 J-1.341
X12.551 Y-1.107 Z-0.237 I-2.515 J1.341
X12.26 Y-1.95 Z-0.25 I2.515 J-1.341
G2 X12.065 Y-2.839 I-11.213 J1.991 F600.
G3 X12.883 Y-3.898 I0.818 J-0.214
G1 X15.034
G3 X15.776 Y-2.877 I0. J0.78
G2 X15.314 Y-0.719 I10.185 J3.311
X15.389 Y1.487 I7.748 J0.839
X15.554 Y2.18 I6.062 J-1.08
X15.773 Y2.858 I17.178 J-5.165
G3 X15.032 Y3.898 I-0.742 J0.256
G1 X12.888
G3 X12.065 Y2.823 I0. J-0.852
G2 X12.435 Y-0.008 I-10.299 J-2.785
X12.26 Y-1.95 I-11.389 J0.049
X9.952 Y-4.119 I-2.609 J0.463
M9
M30.

4.3 Proses Permesinan Cetak

Sebelum melakukan proses permesinan pada cetakan hal yang perlu dilakukan adalah melakukan pengaturan atau mensetup terlebih dahulu dikarenakan proses permesinannya menggunakan mesin CNC 3-AXIS maka dari itu yang harus diperhatikan, yakni penentuan kalibrasi titik nol pada benda kerja, pemilihan mesin, *setting toolpath* yang digunakan dan lainnya. Berikut dibawah ini mesin yang akan digunakan untuk proses permesinan jenis *CNC Router 3040 Mini PCB*.



Gambar 4.9 Mesin *CNC Router 3040*

Mesin CNC ini berfungsi untuk membuat benda kerja datar yang ingin dibuat Dimana prinsip kerjanya kurang lebih sama dengan mesin CNC lainnya, yakni benda kerja dicekam pada ragum dan benda kerja akan diam pisau akan menghampiri dan menyayat benda kerja sesuai program yang diperintahkan. Berikut dibawah ini ialah spesifikasi dari mesin CNC pada gambar 4.9 akan disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Spesifikasi Mesin CNC

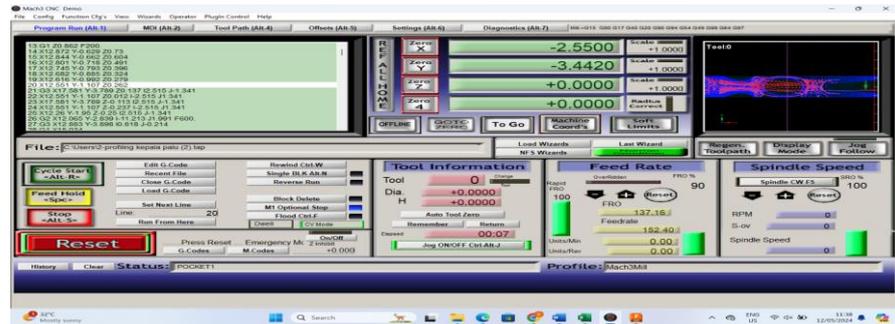
SPEKIFIKASI	DETAIL
<i>Type</i>	<i>CNC Router 3040</i>
Motor Utama (kW)	1.5 kW
Dimensi (cm)	(10 x 10 x 10) cm
<i>Spindle Speed</i> (rpm/min)	2500 rpm/min
<i>Max Feeding Height</i> (mm)	70 mm

Pada tabel 4.1 diatas spesifikasi mesin CNC yang akan digunakan setelah desain dan program sudah dibuat dari proses sebelumnya. Proses permesinan CNC pembuatan cetakan ini menggunakan *software Mach 3 CNC* yang akan

membaca program yang sudah dibuat dari *software Autodesk fusion 360* dan berikut dibawah ini adalah tahapan dalam pembuatan cetaknya,

1. Memasukan hasil program yang sudah dibuat ke *software Mach 3 CNC*

Program yang dibuat dari hasil desain akan terbaca oleh *mach 3 cnc* dan sesuaikan dengan *toolpath* dan kecepatan pemakanan sesuai perintah ketika simulasi percobaan. Berikut dibawah ini tampilan pada *mach 3 cnc* setelah menginput program.



Gambar 4.10 Mach 3 CNC

2. Proses selanjutnya, pada tahap kedua ialah melakukan kalibrasi

Pada tahap ini dilakukan kalibrasi terlebih dahulu guna mengatur titik nol pada benda kerja dan menjaga kualitas produk supaya hasil proses permesinan sesuai dengan yang diinginkan. Untuk proses kalibrasi ini menggunakan kertas untuk menjepit *endmill* dan benda kerja pada 3 sumbu dengan cara *open offset > current work offset >* mengatur ketiga sumbu hingga menepel benda kerja yang sudah ditempelkan kertas *> select*.



Gambar 4.11 Kalibrasi Mach 3 CNC

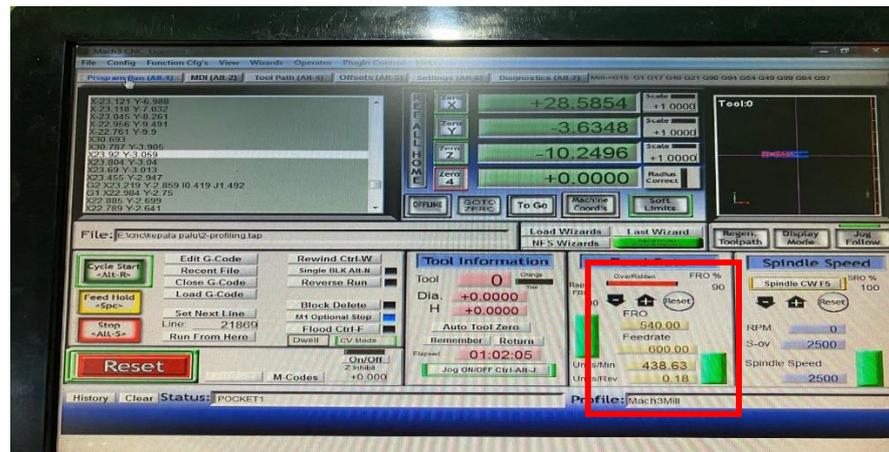
Setelah selesai kalibrasi pada ketiga sumbu langkah selanjutnya proses permesinan, berikut dibawah ini hasil kalibrasi.



Gambar 4.12 Kalibrasi Pada Mesin CNC

3. Proses selanjutnya setelah kalibrasi mengatur *federate* dan *depth cut*

Sebelum proses permesinan terlebih dahulu mengatur *federate* nya 600 mm/menit dengan bukaan frekuensi nya 90% lalu mengatur kedalaman makan nya 0,25 mm.



Gambar 4.13 Mengatur *feedrate* dan *depth cut*

4. Proses selanjutnya proses permesinan

Proses permesinan dilakukan dengan *start* pada *program run* dan proses permesinan dimulai, menggunakan pahat *endmill HSS* diameter 6 mm dan estimasi waktu yang terdapat pada simulasi sekitar 90 menit dan aktualnya sekitar 110 menit, sehingga harus selalu diberi *coolant* dalam proses pemakanan supaya pahat tidak mudah aus. Berikut dibawah ini adalah proses pemakanan



Gambar 4.14 Proses Pemakanan

5. Selanjutnya proses terakhir adalah proses *finishing*

Proses *finishing* ini mengubah pahat dari *endmill* menjadi *ballnose* diameter 2 mm dengan menyetting kedalaman makan nya sebesar 0,1 mm untuk menghilangkan *countur* kasar nya dan kecepatanya diubah menjadi 50 mm/menit. Berikut dibawah ini adalah hasil dari proses *finishing*.



Gambar 4.15 Proses *Finishing*

6. Menentukan Parameter Proses Permesinan

Sebelum dilakukannya proses permesinan cetakan dilakukan terlebih dahulu perencanaan terhadap parameter dari proses permesinan. Berikut adalah perencana parameter nya.

a) Jenis Pahat yang Digunakan

Untuk jenis pahat yang digunakan adalah pahat HSS dikarenakan pahat ini cocok untuk digunakan untuk penyayatan benda kerja karena memiliki sifat kekerasan, tahanan gesekan, ulet,

tahan panas, dan biaya yang relatif lebih rendah. Maka dari itu jenis pahat ini cocok untuk menyayat benda kerja berbahan aluminium, berikut dibawah ini tabel penggunaan pahat terhadap jenis material yang digunakan.

Tabel 4.2 Jenis Pahat Untuk Material Benda Kerja

<i>Type of Material</i>	<i>Brinell Hardness</i>	<i>Tool Material</i>
Aluminium	40	HSS
<i>Carbon Steel</i>	125	HSS
<i>Cast Steel</i>	160	HSS
<i>Stainlees Steel</i>	325	<i>Carbide</i>
<i>Nickel Alloys</i>	330	<i>Carbide</i>

(Sumber : Parjoko, 2019)

Pada tabel 4.2 ini adalah tabel untuk menentukan pahat yang digunakan untuk penyayatan benda kerja berbahan material aluminium cocoknya digunakan jenis pahat HSS, karena HSS digunakan untuk mengubah bentuk dan menghaluskan permukaan material logam. HSS cocok untuk pemrosesan material yang tidak terlalu keras seperti besi cor atau baja karbon. Maka dari itu pahat akan digunakan dalam permesinan cetakan kepala palu menggunakan jenis pahat HSS karena material benda kerja yang digunakan adalah aluminium 6061.

b) Menentukan Kecepatan Potong Permesinan

Menentukan kecepatan potong adalah langkah penting dalam mencapai proses permesinan yang efisien, dengan dilakukannya parameter ini membantu meningkatkan laju pemotongan sehingga waktu permesinan dapat dikurangi dan mengurangi biaya produksi keseluruhan. Kecepatan potomg terlalu tinggi dapat menyebabkan *overheating* pada pahat dan benda kerja yang akan memungkinkan terjadinya kerusakan alat dan deformasi material. Maka dari itu untuk benda kerja aluminium dan pahat yang digunakan HSS maka dapat ditentukan kecepatan potong nya berdasarkan tabel 4.3 ini ialah ketentuan kecepatan potong permesinan.

Tabel 4.3 Ketentuan Kecepatan Potong

Bahan	Pahat HSS (m/min)	Pahat HSS (Ft/min)	Pahat Karbida (m/min)	Pahat Karbida (Ft/min)
Baja lunak (Mild Steel)	18-21	60-70	30-250	100-800
Besi Tuang (Cast Iron)	14-17	45-55	40-150	150-500
Perunggu	21-24	70-80	90-200	300-700
Tembaga	45-90	150-300	150-450	500-1500
Kuningan	30-120	100-400	120-300	400-1000
Aluminium	60-150	300-500	90-180	600

(Sumber : Parjoko, 2019)

Pada tabel 4.3 menunjukkan ketentuan kecepatan potong, dengan memiliki data kecepatan potong menggunakan material aluminium dan pahat yang digunakan material HSS maka *range* kecepatan potongnya adalah 90-150 m/min, bila menggunakan kecepatan potongnya 100 m/min maka dapat menentukan nilai kecepatan *spindle* pada mesin, berikut sistematika perumusannya.

$$n = \frac{1000 \cdot Vc}{\pi \cdot d}$$

Dimana :

Vc = Kecepatan Potong (mm/min)

d = Diameter Pahat (mm)

n = Kecepatan Putar *Spindle* (putaran/min)

Maka,

Diketahui :

$Vc = 60$ m/min

$\pi = 3,14$

$d = 6$ mm

$$n = \frac{1000 \cdot 60}{3,14 \cdot 6} = 3184 \text{ rpm}$$

maka dari itu dengan data-data yang diperoleh untuk pahat jenis HSS dan berbahan aluminium cocok dengan kecepatan *spindle* maksimum 3184 rpm.

c) Menentukan Kedalaman Pemakanan (*depth of cut*)

Selanjutnya, menentukan parameter yang lainnya, yakni kedalaman pemakanan yang disarankan. Tujuan dari ini adalah meminimalisir keausan alat potong dan memperpanjang masa pakainya. Berikut dibawah ini tabel 4.4 ketentuan besar pemakanan.

Tabel 4.4 Ketentuan Besar Pemakanan

Material	<i>Roughing</i> (mm/min)	<i>Roughing</i> (Inch/min)	<i>Finising</i> (mm/min)	<i>Finising</i> (Inch/min)
Baja lunak	0,25-0,50	0,010-0,020	0,07-0,25	0,003-0,010
Baja perkakas	0,25-0,50	0,010-0,020	0,07-0,25	0,003-0,010
Besi tuang	0,40-0,65	0,015-0,025	0,13-0,30	0,005-0,012
Perunggu	0,40-0,65	0,015-0,025	0,07-0,25	0,003-0,010
Aluminium	0,40-0,75	0,015-0,030	0,13-0,25	0,005-0,010

(Sumber : Wardaya, 2020)

Pada Tabel 4.4, terlihat untuk pemakaian benda kerja aluminium ini untuk permesinan *roughing range* nya 0,40 – 0,75 mm/menit, sedangkan permesinan *finishing range* nya 0,13 – 0,25 mm/menit. Maka dari itu asumsi bila menggunakan kedalaman pemakanan 0,42 mm/menit untuk *roughing* dan 0,14 mm/menit untuk *finishing*, dari data yang diketahui dapat menentukan kecepatan *federate* nya berikut sistematika perumusannya.

1. Menentukan Kecepatan Pemakanan Proses *Roughing*

$$Vf = f . z . n$$

Dimana :

Vf = Kecepatan Pemakanan (mm/min)

f = Besar Pemakanan (mm/min)

z = Jumlah Mata Pahat Alat Potong

n = Putaran Mesin (Putaran/min)

Maka,

$$f = 0,42 \text{ (mm/min)}$$

$$z = 1$$

$$n = 3184 \text{ putaran/min}$$

$$Vf(\text{roughing}) = f \cdot z \cdot n = 0,42 \cdot 1 \cdot 3184 = 1337 \text{ (mm/min)}$$

maka dari itu dengan data-data yang diperoleh untuk benda kerja berbahan aluminium proses permesinan *roughing* cocok dengan kecepatan pemakanan maksimum 1337 rpm.

2. Menentukan Kecepatan Pemakanan Proses *Finishing*

$$Vf = f \cdot z \cdot n$$

Dimana :

Vf = Kecepatan Pemakanan (mm/min)

f = Besar Pemakanan (mm/min)

z = Jumlah Mata Pahat Alat Potong

n = Putaran Mesin (Putaran/min)

Maka,

$$f = 0,14 \text{ (mm/min)}$$

$$z = 1$$

$$n = 3184 \text{ putaran/min}$$

$$Vf(\text{roughing}) = f \cdot z \cdot n = 0,14 \cdot 1 \cdot 3184 = 445 \text{ (mm/min)}$$

Maka dari itu dengan data-data yang diperoleh untuk benda kerja berbahan aluminium proses permesinan *roughing* cocok dengan kecepatan pemakanan maksimum 445 rpm. Setelah melakukan perencanaan dalam ketentuan parameter proses permesinan maka data yang diperoleh dijadikan acuan untuk proses permesinan secara aktualnya.

7. Perhitungan Proses Pembuatan Cetakan Kepala Palu

Pada proses *milling* menggunakan pahat HSS *endmill* diameter 6 mm dan pahat untuk *finishing* menggunakan *ballnose* diameter 2 mm dan ketebalan benda kerja yang akan dibuat adalah 26 mm, data ketentuan ini diperoleh dari perencanaan parameter proses permesinan diatas, dengan metode itu dapat mengetahui kecepatan potong yang dibutuhkan, jenis pahat yang digunakan dan kedalaman pemakanannya. Berikut adalah perhitungan yang dapat ditentukan sebagai berikut.

1. Perhitungan Proses Permesinan *Roughing*

a) Kecepatan Potong (V_c)

Kecepatan potong (v_c) ini merupakan parameter penting dalam proses permesinan, jadi secara garis besar kecepatan potong ini adalah kecepatan benda kerja dipotong oleh pahat. Berikut dibawah ini sistematika perumusannya.

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

Dimana :

V_c = Kecepatan Potong (mm/min)

d = Diameter Pahat (mm)

n = Kecepatan Putar *Spindle* (putaran/min)

Maka,

$d = 6$ mm

$n = 600$ putaran/min

$$V_c = \frac{3,14 \cdot 6 \cdot 600}{1000} = 11,3 \text{ mm/min}$$

b) Kecepatan Pemakanan (V_f)

Kecepatan pemakanan ini mempertimbangkan beberapa faktor, yakni kedalaman penyayatan, bahan pahat potong dan lainnya. Secara garis besar kecepatan pemakanan ini ialah jarak tempuh gerak benda kerja dalam satuan mm/menit. Berikut adalah sistematika perumasan untuk menentukan kecepatan pemakanan.

$$V_f = f \cdot z \cdot n$$

Dimana :

V_f = Kecepatan Pemakanan (mm/min)

f = Besar Pemakanan (mm/min)

z = Jumlah Mata Pahat Alat Potong

n = Putaran Mesin (Putaran/min)

Maka,

$f = 0,25$ (mm/min)

$$z = 1$$

$$n = 600 \text{ putaran/min}$$

$$V_f = f \cdot z \cdot n = 0,25 \cdot 1 \cdot 600 = 150 \text{ mm/min}$$

c) Panjang Pemotongan dan Waktu Pemotongan

Panjang pemotongan dan waktu pemotongan dipengaruhi beberapa faktor, yakni jarak tempuh pengefraisan, kecepatan pemakanan dan mata pisau yang digunakan. Berikut dibawah ini adalah perhitungan panjang dan waktu pemotongan.

$$V_f = f \cdot z \cdot n = 0,25 \cdot 1 \cdot 600 = 150 \text{ mm/min}$$

$$L = l_n + l_w + l_v$$

$$t_c = \frac{L}{V_f}$$

Dimana :

t_c = Waktu Pemotongan (min)

L = Panjang Pemotongan (mm)

l_n = Jarak Tempuh Pemakanan Keseluruhan (mm)

l_w = Jarak Awal Penyayatan (mm)

l_v = Jarak Akhir Penyayatan (mm)

Maka,

$$l_n = 200 \text{ mm}$$

$$l_w = 600 \text{ mm}$$

$$l_v = 600 \text{ mm}$$

$$L = l_n + l_w + l_v = 200 + 600 + 600 = 728 \text{ mm}$$

$$t_c = \frac{L}{V_f} = \frac{728 \text{ mm}}{150 \text{ mm/min}} = 9,3 \text{ min}$$

2. Perhitungan Proses Permesinan *Roughing*

a) Kecepatan Potong (V_c)

Kecepatan potong (v_c) ini merupakan parameter penting dalam proses permesinan, jadi secara garis besar kecepatan potong ini adalah kecepatan benda kerja dipotong oleh pahat. Berikut dibawah ini sistematika perumusannya.

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

Dimana :

V_c = Kecepatan Potong (mm/min)

d = Diameter Pahat (mm)

n = Kecepatan Putar *Spindle* (putaran/min)

Maka,

$d = 6$ mm

$n = 50$ putaran/min

$$V_c = \frac{3,14 \cdot 6 \cdot 50}{1000} = 0,942 \text{ mm/min}$$

b) Kecepatan Pemakanan (V_f)

Kecepatan pemakanan ini mempertimbangkan beberapa faktor, yakni kedalaman penyayatan, bahan pahat potong dan lainnya. Secara garis besar kecepatan pemakanan ini ialah jarak tempuh gerak benda kerja dalam satuan mm/menit. Berikut adalah sistematika perumasan untuk menentukan kecepatan pemakanan.

$$V_f = f \cdot z \cdot n$$

Dimana :

V_f = Kecepatan Pemakanan (mm/min)

f = Besar Pemakanan (mm/min)

z = Jumlah Mata Pahat Alat Potong

n = Putaran Mesin (Putaran/min)

Maka,

$f = 0,1$ (mm/min)

$z = 1$

$n = 50$ putaran/min

$$V_f = f \cdot z \cdot n = 0,1 \cdot 1 \cdot 50 = 5 \text{ mm/min}$$

c) Panjang Pemotongan dan Waktu Pemotongan

Panjang pemotongan dan waktu pemotongan dipengaruhi beberapa faktor, yakni jarak tempuh pengefraisan, kecepatan

pemakanan dan mata pisau yang digunakan. Berikut dibawah ini adalah perhitungan panjang dan waktu pemotongan.

Dimana :

t_c = Waktu Pemotongan (min)

L = Panjang Pemotongan (mm)

l_n = Jarak Tempuh Pemakanan Keseluruhan (mm)

l_w = Jarak Awal Penyayatan (mm)

l_v = Jarak Akhir Penyayatan (mm)

Maka,

$l_n = 200 \text{ mm}$

$l_w = 600 \text{ mm}$

$l_v = 600 \text{ mm}$

$L = l_n + l_w + l_v = 200 + 600 + 600 = 728 \text{ mm}$

$t_c = \frac{L}{vf} = \frac{728 \text{ mm}}{5 \text{ mm/min}} = 145 \text{ min}$

4.4 Kalibrasi Alat Ukur Suhu

Kalibrasi ini adalah proses untuk menetapkan skala pada alat ukur dan juga untuk verifikasi bahwasannya alat ukur ini memiliki akurasi dengan rancangannya. Kalibrasi yang ingin dilakukan adalah alat ukur suhu termometer air raksa dan termokopel jenis K terdapat tiga jenis alat ukur yang ingin dibandingkan, yakni termometer air raksa standar, termokopel digital sudah terkalibrasi dan termokopel yang ingin dikalibrasi yang berada pada *barrel*. Dalam kalibrasi ini dilakukan untuk mencapai keakuratan dari alat ukur, berikut dibawah ini adalah hasil dari kalibrasi menggunakan suhu dari 0 °C s.d 100 °C.

Tabel 4.5 Kalibrasi Alat Ukur

KALIBRASI ALAT UKUR			
Suhu Referensi (°C)	Termometer air raksa (°C)	Termocouple barrel (°C)	Termocouple Digital (°C)
0	0	0	0
10	10	10	10
20	20	19	19,89
30	30	29	30,8
40	40	41	40,12
50	50	50	50,01
60	60	61	60
70	70	72	70,09
80	80	79	80,12
90	90	89	89,98
100	100	100	100

Pada tabel 4.4 ini hasil dari perbandingan kalibrasi alat ukur suhu antara termometer air raksa (standar), termokopel *barrel* dan termokopel digital. Dari data yang dihasilkan terdapat perbedaan berikut akan dijelaskan dibawah ini terkait perbandingan dari termometer air raksa (standar) terhadap termokopel *barrel* dan termokopel digital.

Tabel 4.6 Perbandingan Termometer Air Raksa dengan Temokopel Barrel

Suhu Nominal (°C)	Termometer air raksa (°C)	Termokopel barrel (°C)	Selisih
0	0	0	0
10	10	10	0
20	20	19	1
30	30	29	1
40	40	41	1
50	50	50	0
60	60	61	1
70	70	72	2
80	80	79	1
90	90	89	1
100	100	100	0

Dari data tabel 4.6 terdapat selisih dari hasil pembacaan alat, maka dari itu dapat diperoleh nilai selisih rata-rata, standar deviasi dari selisih dan *persentase error*.

1. Nilai Selisih Rata-Rata

$$\bar{X} = \frac{\text{Selisih Semua Data}}{\text{Banyaknya Data}} = \frac{0+0+1+1+1+0+1+2+1+1+0}{11} = 0.73$$

2. Standar Deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$\sqrt{\frac{(0-0,75)^2+(0-0,75)^2+(1-0,75)^2+(1-0,75)^2+(1-0,75)^2+(0-0,75)^2+(1-0,75)^2+(2-0,75)^2+(1-0,75)^2+(1-0,75)^2+(0-0,75)^2}{11}}$$

$$\sigma = 0.72$$

3. *Persentase Error*

$$\% \text{ Error} = \frac{|\text{Termokopel Barrel} - \text{Termometer Air Raksa}|}{\text{Termometer Air Raksa}} \times 100$$

$$\% \text{ Error} = \frac{|50 - 50|}{50} \times 100 = 0 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh nilai selisih rata-rata sebesar 0.73, standar deviasi 0.72 dan *% error* sebesar 0. Berikutnya dibawah ini hasil

perbandingan kalibrasi alat ukur suhu termometer air raksa (standar), termokopel digital untuk cetakan.

Tabel 4.7 Perbandingan Termometer Air Raksa dengan Temokopel Digital

Suhu Nominal (°C)	Termometer air raksa (°C)	Termocouple Digital (°C)	Selisih
0	0	0	0
10	10	10	0
20	20	19,89	0,11
30	30	30,8	0,8
40	40	40,12	0,12
50	50	50,01	0,01
60	60	60	0
70	70	70,09	0,09
80	80	80,12	0,12
90	90	89,98	0,02
100	100	100	0

Dari data tabel 4.7 terdapat selisih dari hasil pembacaan alat, maka dari itu dapat diperoleh nilai selisih rata-rata, standar deviasi dari selisih dan *persentase error*.

1. Nilai Selisih Rata-Rata

$$\bar{X} = \frac{\text{Selisih Semua Data}}{\text{Banyaknya Data}} = \frac{0+0+0,11+0,8+0,12+0,01+0+0,09+0,12+0,02+0}{11} = 0.12$$

2. Standar Deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$\sigma = 0.22$$

3. *Persentase Error*

$$\% \text{ Error} = \frac{|\overline{\text{Termokopel Digital}} - \overline{\text{Termometer Air Raksa}}|}{\overline{\text{Termometer Air Raksa}}} \times 100$$

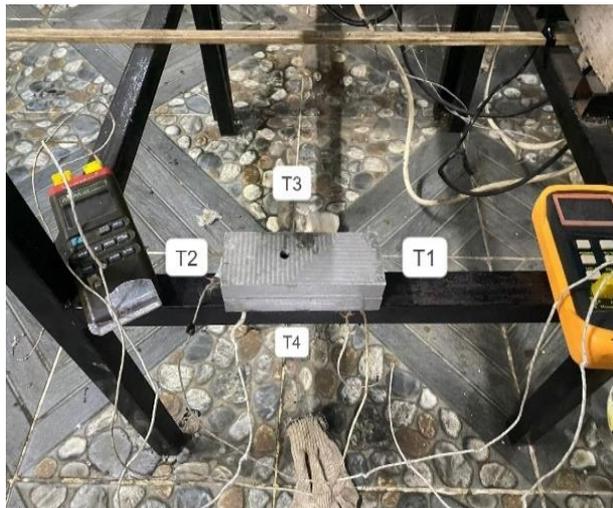
$$\% \text{ Error} = \frac{|50,09 - 50|}{50} \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 0,18 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh nilai selisih rata-rata sebesar 0.12, standar deviasi 0.22 dan *% error* sebesar 0,18 %

4.5 Uji Ketahanan Temperatur Cetakan

Pengujian ketahanan temperatur pada cetakan yang akan diisi dengan material yang dipanaskan pada mesin injeksi *molding* ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk dan mencegah terjadinya kegagalan produk saat dicetak, untuk proses pengujiannya temperatur nya menggunakan termokopel jenis K yang sudah dikalibrasi terdapat empat titik termokopel yang dipasang pada cetakan seperti gambar dibawah ini.

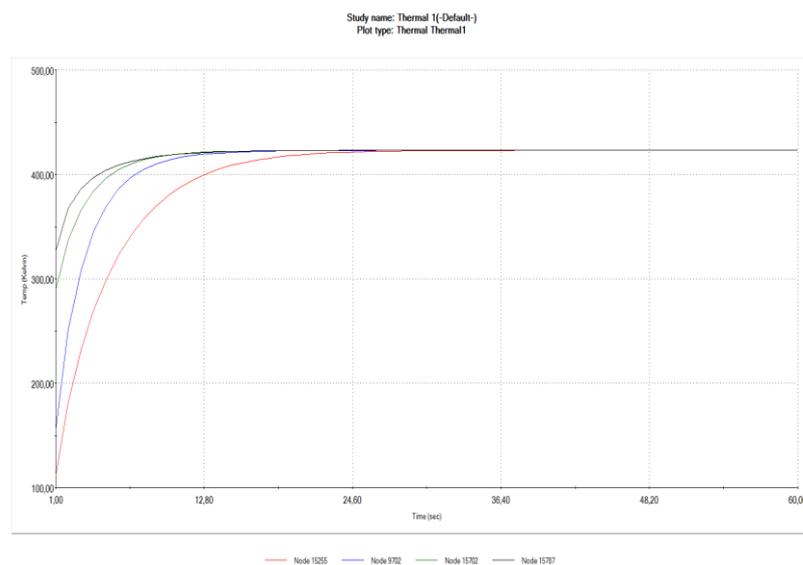


Gambar 4.16 Titik Penempatan Termometer pada Cetakan

Pada pengujian ini menggunakan cetakan material aluminium 6061 yang mana jenis material ini mampu menahan suhu injeksi *molding* sampai 450 °C dan pengujian ini menggunakan tiga suhu yang berbeda, yakni 150 °C, 200 °C dan 250 °C. Berikut dibawah ini adalah hasil dari pengujian yang dilakukan.

1. Pengujian Ketahanan Temperatur Cetakan Kepala Palu Suhu 150 °C

Pada pengujian ini menguji ketahanan temperatur pada cetakan kepala palu menggunakan suhu 150 °C ditempelkan *probe* dua buah termokopel jenis K yang sudah terkalibrasi. Suhu 150 °C dirujuk dari titik leleh plastik jenis PP dan PETE yang mana masing-masing titik leleh nya 130 °C dan 150 °C. Sebelum dilakukannya proses pengujian ketahanan temperatur dilakukannya simulasi terlebih dahulu untuk mengetahui berapa lama waktu injeksi untuk memenuhi cetakan berikut adalah gambar simulasinya.



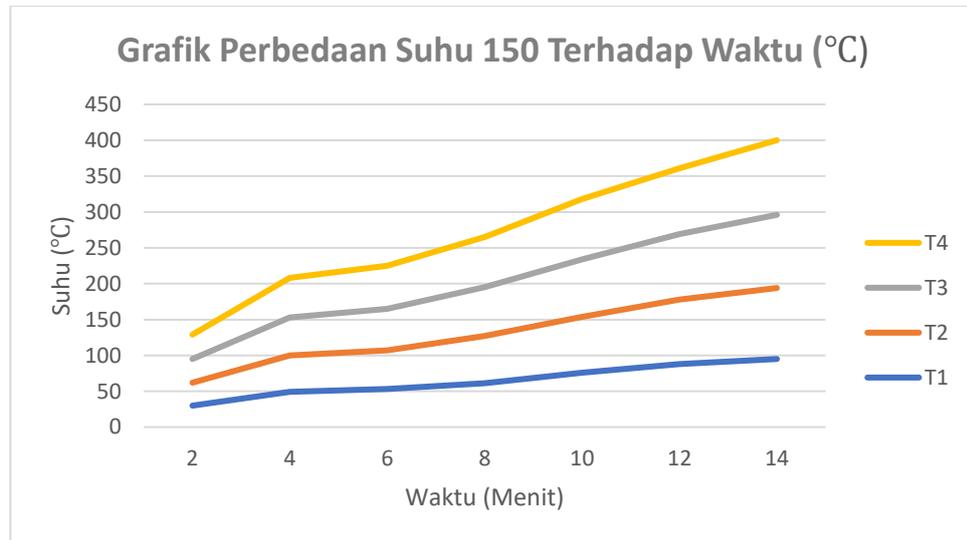
Gambar 4.17 Simulasi Waktu Injeksi Suhu 150 °C

Terlihat pada Gambar 4.17 grafik dari waktu injeksi terhadap suhu dimana pada grafik tersebut menunjukkan bahwasannya semakin lama waktu injeksi nya semakin meningkat suhu nya, dikarenakan menggunakan dua *mold* sehingga panas akan tertahan didalam cetakan dan ketika lelehan plastik tersebut bertambah maka otomatis suhu cetakan akan bertambah. Dimana dalam grafik tersebut dikonversi ke Kelvin (K) dalam simulasi ini diset dalam 60 detik (1 menit) untuk terisi penuh dalam simulasi ini memerlukan waktu sekitar 10 menit. Berikut adalah pengujian data aktualnya ketahanan temperatur pada 150 °C pada cetakan akan disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Perubahan Temperatur 150 °C Pada Cetakan

Temperatur 150 °C				
Perubahan Temperatur Pada Cetakan (ΔT)				Waktu (Menit)
T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	
30	32	33	34	2
49	51	53	55	4
53	54	58	60	6
61	66	68	70	8
76	78	80	84	10
88	90	91	92	12
95	99	102	104	14

Dari hasil Tabel 4.8, terlihat bahwasanya semakin lamanya waktu injeksi suhu yang diterima pada cetakan ini semakin besar, dikarenakan semakin lama waktu semakin terisi semua bahan ke cetakan. Pada suhu 150 °C ini cetakan terisi penuh selama 14 menit berikut hasil datanya akan disajikan dalam grafik dibawah ini.

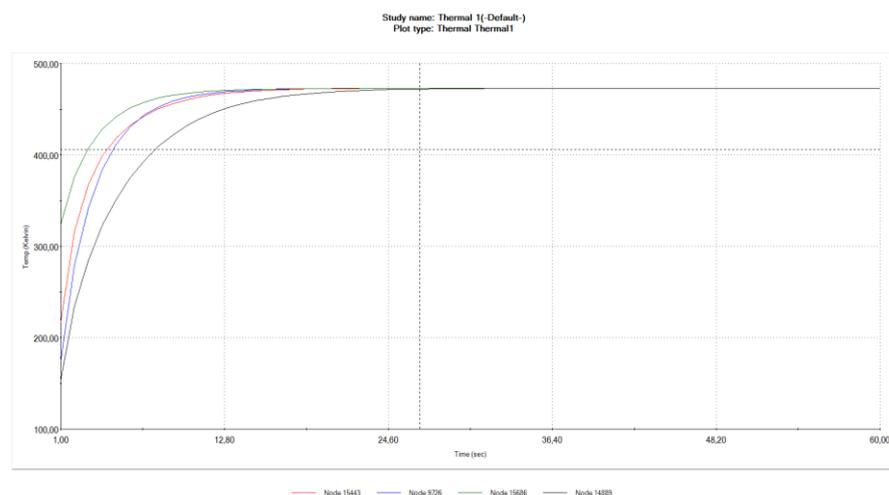


Gambar 4.18 Grafik Perbedaan Suhu 150 °C terhadap Waktu

Pada Gambar 4.18 terlihat semakin bertambahnya waktu suhu yang dihasilkan semakin bertambah dikarenakan kabel termokopel ditempelkan pada dinding atas cetakan, maka dari itu ketika cetakan sudah mulai terisi penuh suhu akan terus bertambah seiring bertambahnya waktu injeksi. Pada suhu 150 °C ini hasil lelehan yang keluar dari *nozzle* memiliki densitas atau tingkat kekentalan nya tinggi cairannya seperti pasta, sehingga pada saat pengisian cetakan menyebabkan cairan tidak mengisi penuh dikarenakan temperatur yang dihasilkan kurang panas. Perubahan suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan cairan tidak mengalir dengan sempurna ke dalam cetakan, menyebabkan cacat *short shot* pada produk. Selain itu, kurangnya pasokan bahan juga bisa menghasilkan produk yang tidak memenuhi standar. Cacat *short shot* terjadi ketika lelehan plastik yang disuntikkan ke dalam cetakan tidak mencapai volume yang diinginkan atau yang telah ditetapkan oleh mesin, sehingga plastik mengeras sebelum sempurna mengisi cetakan.

2. Pengujian Ketahanan Temperatur Cetakan Kepala Palu Suhu 200 °C

Selanjutnya, pengujian ketahanan temperatur pada cetakan kepala palu dengan mengontrol suhu pada panel sebesar 200 °C dengan variasi suhu ini acuan nya dari *range* titik leleh dari kedua jenis limbah plastik yang dipakai, yakni jenis PP dan PETE yang *range* titik leleh nya untuk jenis PP 130 °C s.d 220 °C dan PETE 150 °C s.d 250 °C maka pemakaian suhu 200 °C masih mendekati suhu optimum. Variasi suhu ini bertujuan untuk mendapatkan hasil produk yang baik dikarenakan semakin tinggi suhu injeksi mendekati suhu optimum hasil viskositas lelehan akan semakin menurun sehingga aliran nya akan lebih lancar dan mudah mengisi rongga cetakan juga memastikan seluruh rongga terisi. Sebelum dilakukannya proses pengujian ketahanan temperatur dilakukannya simulasi terlebih dahulu untuk mengetahui berapa lama waktu injeksi untuk memenuhi cetakan berikut adalah gambar simulasinya.



Gambar 4.19 Simulasi Waktu Injeksi Suhu 200 °C

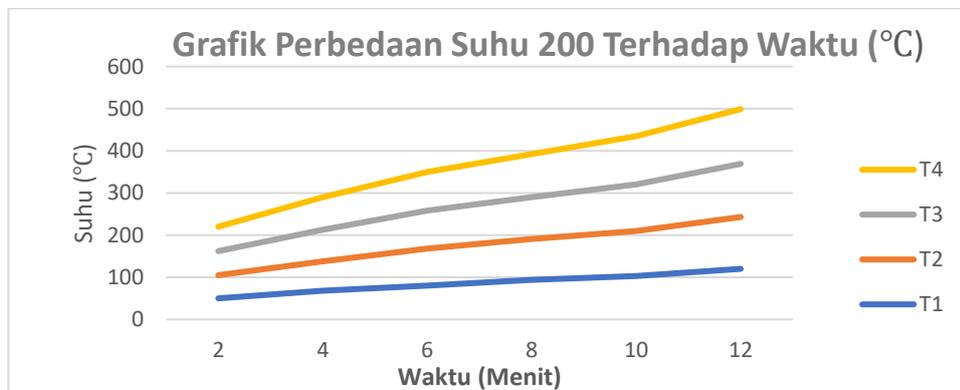
Terlihat pada Gambar 4.19 grafik dari waktu injeksi terhadap suhu dimana pada grafik tersebut menunjukkan bahwasannya semakin lama waktu injeksi nya semakin meningkat suhu nya, dikarenakan menggunakan dua *mold* sehingga panas akan tertahan didalam cetakan dan ketika lelehan plastik tersebut bertambah maka otomatis suhu cetakan akan bertambah.. Berikut adalah pengujian data aktualnya ketahanan

temperatur pada 200 °C pada cetakan akan disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Perubahan Temperatur 200 °C Pada Cetakan

Temperatur 200 °C				
Perubahan Temperatur Pada Cetakan (ΔT)				Waktu (Menit)
T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	
50	55	57	58	2
68	70	75	77	4
80	88	90	92	6
94	97	99	102	8
103	107	110	115	10
120	123	126	130	12

Dari hasil tabel 4.9, terlihat bahwasanya semakin lamanya waktu injeksi suhu yang diterima pada cetakan ini semakin besar, dikarenakan semakin lama waktu semakin terisi semua bahan ke cetakan. Pada suhu 200 °C ini cetakan terisi penuh selama 12 menit berikut hasil datanya akan disajikan dalam grafik dibawah ini.

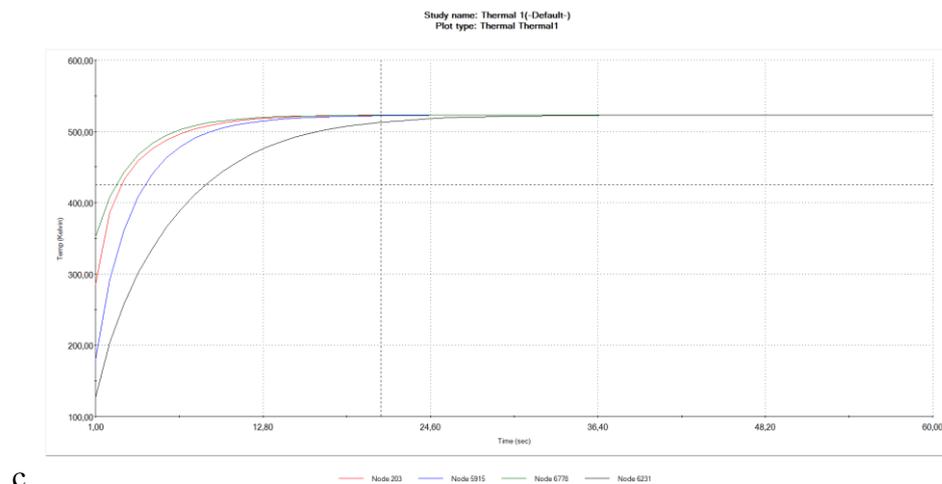


Gambar 4.20 Grafik Perbedaan Suhu 200 °C terhadap Waktu

Dilihat dari Gambar 4.20 Terlihat ketahanan cetakan pada 200 °C terlihat sama seperti suhu 150 °C semakin lama nya waktu ketika penginjeksian produk maka semakin besar pula suhu yang dihasilkan, namun dalam suhu 200 °C terlihat waktu penuh pengisian cetakan lebih cepat dari sebelumnya selama 12 menit.

3. Pengujian Ketahanan Temperatur Cetakan Kepala Palu Suhu 250 °C

Selanjutnya pada tahap terakhir adalah pengujian ketahanan temperatur dengan suhu 250 °C. dengan variasi suhu ini acuan nya dari *range* titik leleh dari kedua jenis limbah plastik yang dipakai, yakni jenis PP dan PETE yang *range* titik leleh nya untuk jenis PP 130 °C s.d 220 °C dan PETE 150 °C s.d 250 °C maka pemakaian suhu 200 °C masih mendekati suhu optimum. Variasi suhu ini bertujuan untuk mendapatkan hasil produk yang baik dikarenakan semakin tinggi suhu injeksi mendekati suhu optimum hasil viskositas lelehan akan semakin menurun sehingga aliran nya akan lebih lancar dan mudah mengisi rongga cetakan juga memastikan seluruh rongga terisi. Sebelum dilakukannya proses pengujian ketahanan temperatur dilakukannya simulasi terlebih dahulu untuk mengetahui berapa lama waktu injeksi untuk memenuhi cetakan berikut adalah gambar simulasinya.



C

Gambar 4.21 Simulasi Waktu Injeksi Suhu 250 °C

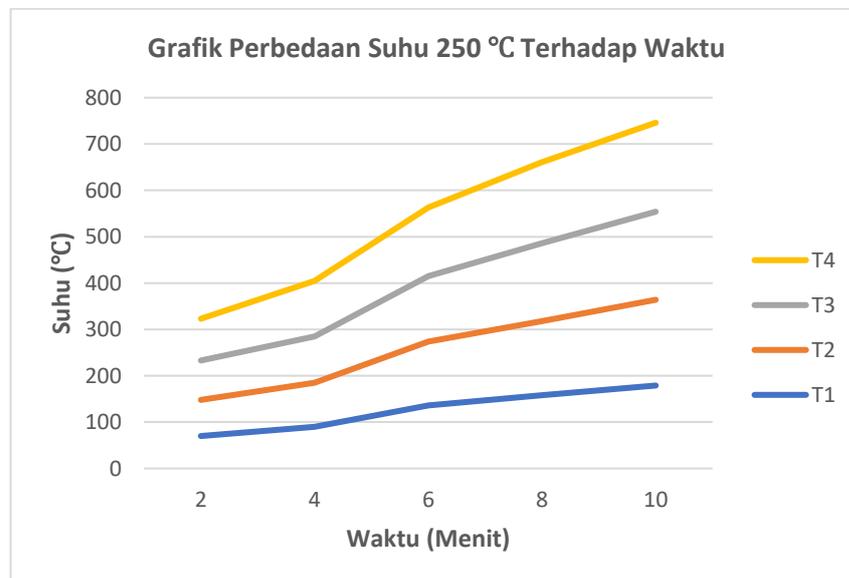
Terlihat pada Gambar 4.21 grafik dari waktu injeksi terhadap suhu dimana pada grafik tersebut menunjukkan bahwasannya semakin lama waktu injeksi nya semakin meningkat suhu nya, dikarenakan menggunakan dua *mold* sehingga panas akan tertahan didalam cetakan dan ketika lelehan plastik tersebut bertambah maka otomatis suhu cetakan akan bertambah. Dimana dalam grafik tersebut dikonversi ke Kelvin (K) dalam simulasi ini diset dalam 60 detik (1 menit) untuk terisi penuh dalam simulasi ini memerlukan waktu sekitar 6 menit. Berikut adalah pengujian

data aktualnya ketahanan temperatur pada 250 °C pada cetakan akan disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Perubahan Temperatur 250 °C Pada Cetakan

Temperatur 250 °C				
Perubahan Temperatur Pada Cetakan (ΔT)				Waktu (Menit)
T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	
70	78	85	90	2
90	95	100	120	4
136	138	141	148	6
158	160	168	175	8
179	185	190	192	10

Dari hasil Tabel 4.10, terlihat bahwasanya semakin lamanya waktu injeksi suhu yang diterima pada cetakan ini semakin besar, dikarenakan semakin lama waktu semakin terisi semua bahan ke cetakan. Pada suhu 250 °C ini cetakan terisi penuh selama 10 menit berikut hasil datanya akan disajikan dalam grafik dibawah ini.



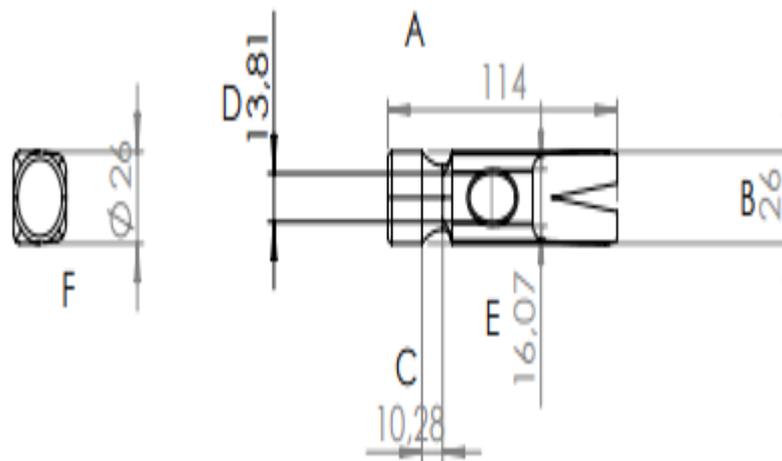
Gambar 4.22 Grafik Perbedaan Suhu 250 °C terhadap Waktu

Dilihat dari Gambar 4.22 Terlihat ketahanan cetakan pada 250 °C terlihat sama seperti suhu 150 °C dan 200 °C semakin lama nya waktu ketika penginjeksian produk maka semakin besar pula suhu yang dihasilkan, namun dalam suhu 250 °C terlihat lebih cepat dalam waktu pengisian cetakan

dibandingkan dalam suhu 150 °C dan 200 °C. Maka dari itu dapat ditarik kesimpulan dari pengujian ini ialah semakin tinggi suhu yang dikontrol pada saat penginjeksian semakin singkat waktu injeksi yang diperlukan untuk mengisi cetakan. Namun terlalu tinggi suhu juga tidak baik dikarenakan warna pada hasil lelehan sudah mulai menghitam dan juga keluar bau tidak sedap, maka dari itu juga sangat penting dalam menentukan suhu optimal dari tiap jenis plastik.

4.6 Hasil Cetakan Berdasarkan Karakteristik Geometri

Pengujian karakteristik geometri ini berguna untuk mengukur dan mengevaluasi dimensi. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa objek tersebut memenuhi spesifikasi desain dan persyaratan fungsional, metode pengujian nya untuk pengukuran dimensi dirujuk dari standar ISO 1102 mengenai geometri dimensi produk ini diukur menggunakan alat ukur seperti, mikrometer, jangka sorong dan *caliper*. Berikut adalah hasil detail dimensi dari cetakan yang dibuat.



Gambar 4.23 Dimensi Desain Cetakan

Pada percobaan pengisian produk bahan dari cetakan kepala palu ini membuat enam sampel yang terdiri dari dua jenis plastik yang berbeda dan

suhu pelelehannya yang berbeda pula. Berikut dibawah ini hasil dari produk lelehan plastik yang mengisi cetakan sebagai berikut.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Karakteristik Geometri Dimensi

Jenis Material	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	Hasil Produk
Plastik PETE 150	114	24	9,88	12,91	16,07	26	
Plastik PP 150	113	24	10,22	13,81	16,07	26	
Plastik PETE 200	114	26	10,28	13,81	15,88	26	
Plastik PP 200	114	26	10,28	13,81	16,07	26	
Plastik PETE 250	114	26	10,28	13,81	16,07	26	
Plastik PP 250	114	26	10,28	13,81	16,07	26	

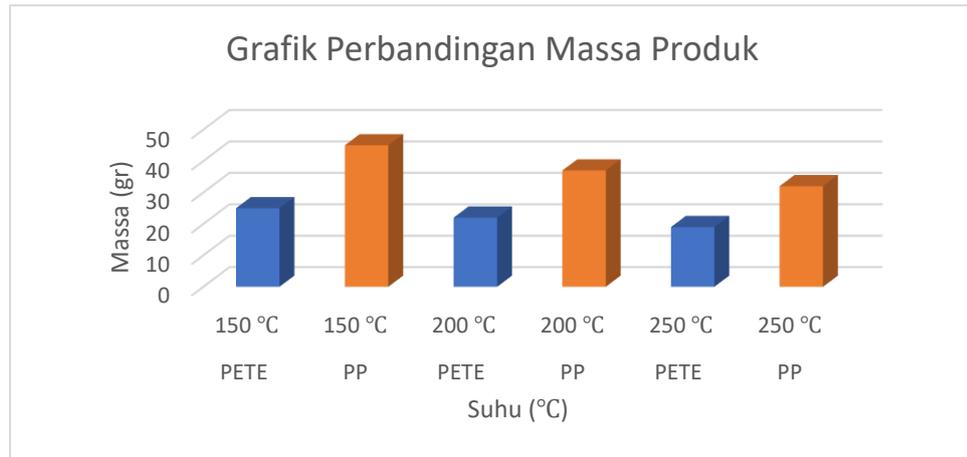
Dalam pengujian karakteristik geometri ini mengukur dimensi dari desain dengan hasil produk pengambilan data, untuk pengujian geometri ini difokuskan pada dimensi nya terlihat pada Tabel 4.8 Hasil dimensi pengujian menggunakan tiga suhu yang berbeda dan dua jenis plastik yang berbeda secara garis besar memiliki kegagalan tidak lebih dari 20% dimana hasil desain dan pengukuran juga hasilnya tidak melesat jauh hanya selisih kurang lebih dibawah satu mm. Selanjutnya untuk mengetahui karakteristik geometri juga dilakukan perbandingan massa pada hasil produk dari jenis plastik dan

variabel suhu yang berbeda-beda. Berikut adalah hasil perbandingan massa produk kepala palu akan disajikan dalam tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Karakteristik Geometri Massa

Jenis Plastik	Suhu	Massa	Hasil Produk
PETE	150 °C	25	
PP	150 °C	45	
PETE	200 °C	22	
PP	200 °C	37	
PETE	250 °C	19	
PP	250 °C	32	

Dari hasil tabel 4.12, dilakukan penimbangan massa menggunakan neraca digital dimana terdapat enam *sample* dengan jenis plastik yang berbeda juga dengan variable suhu yang berbeda juga, untuk menganalisa hasil data diatas akan disajikan dalam gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Massa Produk

Terlihat pada gambar 4.24, dari kedua jenis plastik PP dan PETE fenomena yang terjadi ketika penambahan suhu pada lelehan plastik maka semakin menurun massa pada produknya, hal ini disebabkan suhu yang lebih tinggi menyebabkan viskositas plastik menurun juga suhu yang lebih tinggi apat menyebabkan lebih banyak plastik menguap atau mengalir keluar dari cetakan sebelum membeku (Suratno, 2019).

Dari perbandingan grafik diatas hasil dari lelehan plastik jenis PP lebih berat disbandingkan lelehan plastik jenis PETE, hal ini disebabkan lelehan jenis PP memiliki struktur molekul yang lebih padat dan lebih kuat, yang menyebabkan massa lelehan yang lebih tinggi. Struktur molekul yang lebih padat pada PP menghasilkan lebih banyak massa dibandingkan lelehan PETE juga dari kepadatan yang lebih tinggi jenis lelehan plastik PP dibandingkan PETE, dimana kepadatan PP adalah antara 0,895 dan 0,92 g/cm³, sedangkan PETE memiliki kepadatan sekitar 1,33 g/cm³. Kepadatan yang lebih tinggi pada PP berarti setiap volume yang sama dari PP lebih berat dibandingkan PET (Nugroho, 2020).

4.7 Cacat dan Penyebabnya

Cacat atau kegagalan produk ini terjadi karena beberapa faktor, yakni *setting* parameter dari temperatur injeksi dan waktu pendinginan. Berikut dibawah ini adalah cacat yang terjadi pada hasil pengujian yang sudah dilakukan.

1. Cacat *Shortshot*

Cacat *shortshot* ini merupakan cacat *major defect* dimana jenis cacat ini tidak dapat diperbaiki. Cacat *short shot* terjadi ketika lelehan plastik yang akan disuntikkan ke dalam cetakan tidak mencapai volume yang diinginkan atau sesuai dengan pengaturan mesin, sehingga plastik mengeras sebelum sempurna mengisi cetakan. Akibatnya, lelehan plastik tidak terisi dengan sempurna pada cetakan. Pada Gambar 4.24 ditunjukkan cacat dari *shortshots*



Gambar 4.24 Cacat *Shortshots*

Pada gambar 4.24 terlihat seperti ada bagian yang tidak terisi dan cacat ini dinamakan *shortshot* dimana plastik lelehan tidak memenuhi kapasitas dari cetakan, terdapat beberapa penyebab dan solusi pada cacat *shortshot* ini sebagai berikut yang akan disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 4.12 Penyebab dan Solusi Cacat *Shortshot*

Penyebab Cacat	Solusi Mencegahnya
Suhu pemanasnya kurang	Meningkatkan suhu pada pemanas mencari suhu optimum karakter dari jenis plastik supaya aliran mudah untuk mengisi cetakan
Proses pendinginannya terlalu cepat atau terlalu lambat dapat memengaruhi pembekuan material	Mengatur waktu pendinginan secara optimal sesuai dengan jenis material dan ketebalan produk
Karakteristik dari viskositas pada lelehan plastik	Pemberian pada cetakan harus selalu <i>continue</i>

2. Cacat *Flashing*

Cacat *flashing* termasuk kategori cacat *minor defect* yang mana cacat ini masih dapat diperbaiki hanya perlu *finishing* pada produk nya. Cacat *flashing* ini secara garis besar terdapat material lebih yang membeku dibagian pinggir produk. Pada Gambar 4.25 ditunjukkan cacat *flashing*.



Gambar 4.25 Cacat *Flashing*

Pada Gambar 4.25 disisi pinggir terlihat terdapat kelebihan material pada produk hasil injeksi *molding* dimana itu adalah bagian dari cacat *flashing*, terdapat beberapa penyebab dan solusi pada cacat *shortshot* ini sebagai berikut yang akan disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 4.13 Penyebab dan Solusi Cacat *Flashing*

Penyebab Cacat	Solusi Mencegahnya
Kurangnya kerapatan pada cetakan saat penginjeksian	Mengklem dua buah cetakan pada saat proses penginjeksian supaya ketika lelehan plastik mengisi cetakan tidak meluber.
Kurangnya viskositas dari material produk cetakan	Menambahkan suhu injeksi karena viskositas akan menurun bilamana suhu untuk melelehkan plastik rendah

3. Cacat *Bubbles*

Cacat *bubbles* ini termasuk dalam kategori *defect major*, dimana cacat jenis ini tidak dapat diperbaiki. Cacat *bubbles* ini secara garis besar ditemukannya gelembung udara yang masuk kedalam produk ketika proses penginjeksian udara terperangkap pada material plastik selama proses penginjeksian. Pada Gambar 4.26 merupakan cacat produk *bubbles*.



Gambar 4.26 Cacat *Bubbles*

Pada Gambar 4.26 terlihat cacat *bubbles* dibagian tengah produk, terdapat udara yang tertangkap sehingga mengakibatkan gelembung pada produk. terdapat beberapa penyebab dan solusi pada cacat *bubbles* ini sebagai berikut yang akan disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 4.14 Penyebab dan Solusi Cacat *Bubbles*

Penyebab Cacat	Solusi Mencegahnya
Terperangkap nya udara pada <i> mold</i> cetakan	Membuat lubang atau <i>flow</i> pada cetakan untuk keluarnya udara
Pemberian minyak goreng (pelumas) sebelum penginjeksian terlalu banyak	Memastikan pelumasan cukup untuk mempermudah mengeluarkan produk jadi tidak harus banyak menggunakan pelumasan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukannya proses penelitian maka dapat ditarik kesimpulan, yakni sebagai berikut.

1. Dalam proses pembuatan cetakan kepala palu ini menggunakan mesin *CNC Milling 3 Axis*. Dimana pahat yang digunakan adalah jenis HSS *endmill* diameter 6 mm dengan *depth of cut* 0,25 mm untuk pemakanan dan menggunakan pahat *ballnose* diameter 2 mm dengan *depth of cut* 0,1 mm untuk *finishing* dan menghilangkan *countur*. Material cetakan yang digunakan adalah *aluminium 6061*. Proses permesinannya mengubah gambar CAD menjadi CAM menggunakan *software solidworks* dan juga *Autodesk fusion 360*. Berdasarkan dari hasil pembuatan cetakan kepala palu ini dilihat dari simulasi menggunakan *Autodesk fusion 360* memerlukan waktu sekitar 90 menit namun aktualnya dalam proses permesinannya selesai memakan waktu 120 menit sedangkan dari hasil perhitungan diperoleh kecepatan potong sebesar 47,1 mm/menit, kecepatan pemakanan 625 mm/menit dan waktu pemotongan 0,756 menit.
2. Dari hasil pengujian ketahanan material pada cetakan kepala palu dengan variasi suhu yang berbeda-beda, yakni 150 °C, 200 °C dan 250 °C. Suhu tersebut dari penelitian sebelumnya dan juga diambil dari suhu optimum antara *range* titik leleh dari jenis plastik PP dan PETE. Material cetakan yang digunakan *aluminium 6061* yang mana memiliki konduktivitas termal yang cukup baik sehingga mampu merambatkan panas dengan baik, material ini memiliki nilai konduktivitas termal 150 W/mK. Dari hasil pengujian ketiga suhu tersebut suhu 250 °C lah yang optimal karena menggunakan suhu ini mendapat produk yang baik dari pada variasi temperatur lainnya. Secara garis besar dalam hasil pengujian ketahanan temperatur ini semakin besar temperatur nya maka semakin cepat pula waktu injeksinya dalam pengujian hasilnya pada suhu 150 °C memakan

waktu 14 menit hingga cetakan terisi penuh, 200 °C memakan waktu 12 menit hingga cetakan terisi penuh dan suhu 250 °C memakan waktu 10 menit hingga cetakan terisi penuh.

3. Dari hasil pengujian bentuk dan dimensi geometri serta massa produk dirujuk menggunakan standar SNI ISO 1101, dimana standar ini membahas terkait dengan dimensi, bentuk dan toleransi. Dalam pengujian ini hasil produk dari lelehan plastik ini diukur dimensinya menggunakan jangka sorong digital. Terlihat pada pengujian terdapat hasil pengukuran yang berbeda dengan desain yang dibuat, hal ini salah satunya terjadi dikarenakan penyusutan akibatnya dapat berubahnya dimensi dan bentuk dari produk. Struktur molekul yang lebih padat pada PP menghasilkan lebih banyak massa dibandingkan lelehan PETE juga dari kepadatan yang lebih tinggi jenis lelehan plastik PP dibandingkan PETE, dimana kepadatan PP adalah antara 0,895 dan 0,92 g/cm³, sedangkan PETE memiliki kepadatan sekitar 1,33 g/cm³.

5.2 Saran

Setelah semua tahap dilakukan dalam proses pembuatan cetakan kepala palu ini, terdapat saran guna meningkatkan hasil pada pembuatan cetakan dan proses injeksi produk sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya, membandingkan cetakan kepala palu material aluminium 6061 dengan jenis cetakan material *mildsteel* bagaimana ketahanan temperatur dan hasil produknya.
2. Menyempurnakan mesin injeksi *molding* dengan menambahkan *pneumatic* untuk mendorong leleh plastik, dikarenakan mesin yang sekarang digunakan mengandalkan gaya gravitasi untuk keluarnya lelehan plastik pada *nozzle* sehingga terkadang terdapat material yang tidak ikut turun dikarenakan tidak terdorong oleh *screw*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, M., & Saraswati, R. (2022). Optimalisasi Parameter Mesin CNC Milling 3 Axis terhadap Waktu Produksi dengan Menggunakan Response Surface Methodology. *Formosa Journal of Applied Sciences*, 1(4), 293–304. <https://doi.org/10.55927/fjas.v1i4.1089>
- Rakhmad Arief Siregar. (2018). *Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi Making Soap Box Molds on Plastic Injection Molding Machines FT-UMSU Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU*. 1(1), 57–63.
- Eidelweis, F. &. (2021). Proses Pembuatan preform dengan material bahan polyethylene terephthalate menggunakan mesin injection molding. *Seminar Teknologi Majalengka (STIMA)*, 272–278.
- Fadhlorrohman, Umuran, K., Affandi, Nurdin, H., & Rudi, A. (2022). Pengaruh suhu cetakan terhadap produk plastik berbahan polypropylen (PP) pada injection molding. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 5(1), 39–45. <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME/article/view/10264>
- Gusniar, I. N. (2018). *Metode Pembuatan PAVING BLOCK SEGI ENAM BERBAHAN SAMPAH*. 3(2), 130–133.
- Kale, H. P., & Hambire, U. V. (2015). *Optimization of Injection Molding Process Parameter for Reducing Shrinkage by Using High Density Polyethylene (HDPE) Material*. 4(5), 2013–2016.
- Landi, T., Teknik, F., Diponegoro, U., Departemen, D., Mesin, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2017). *Perancangan dan Uji Alat Pengolah Sampah Plastik LDPE*. 5(1), 1–8.
- Masyurroh, A., & Rahmawati, I. (2021). *Pembuatan Recycle Plastik HDPE Sederhana*. 3(1), 53–63.
- Maulana, A., Yusup, I. M., Syafrizal, F., K, R. A., & Satria, D. (2017). *Ngoper Termals (Pengoptimalan Temperarur Terhadap Material Barrel dan Screw) Plasctic Processing Machineri As The Utilizatton Of Plastic Waste*. 1–8.
- Muharam, R. F., Pamungkas, A., Mesin, J. T., Bandung, P. N., & Kunci, K. (2021). *Perancangan Alat Cetak Interlocking Brick dengan Memanfaatkan Sampah*

Plastik HDPE sebagai Material Bata. 4–5.

Mulyana, I. S. (2020). Analisis Pengaruh Temperatur Pada Barell Terhadap Hasil Extrusi Dengan Material Daur Ulang Kulit Kabel Pvc. *UG Journal*, 14, 2013–2015.

<https://ejournal.gunadarma.ac.id/index.php/ugjournal/article/download/4991/2310>

Nasution, D. S., Harahap, M. R., & Edianto, E. (2021). Pengaruh Feeding Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Pembubutan Baja Aisi 1020 Dengan Menggunakan Mata Pahat Karbida Berlapis. *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU*, 6(1), 19–26.

Permana, H., & Anwar, S. (2021). Produksi Proses Komponen Plastik Flip Flop Dengan Mesin Injeksi Molding Type Hidrolik Production Process of Flip Flop Plastic Components with Hydraulic Type Injection Molding. *Jurnal Baut Dan Manufaktur*, 03(02), 2686–5351.

Mawardi, I. (2015). Analisis Kualitas Produk dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik Polypropylene (PP) Pada Proses Injection. 4(2), 30–35.

Putra, I. A., Umardani, Y., Suprihanto, A., Jurusan, M., Mesin, T., Teknik, F., Diponegoro, U., Jurusan, D., Mesin, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2023). Pembuatan cetakan injection molding untuk membuat bantalan ketiak tongkat kruk dari material polypropylene 1. 11(3), 374–385.

Putra, W. T., Munaji, M., & Malyadi, M. (2015). Analisa Kekuatan Maksimal bata plastik hasil pengepresan jenis Polyethelene Terephthalate. *Snttm Xiv*, 7–8. <http://eprints.umpo.ac.id/1826%0Ahttp://eprints.umpo.ac.id/1826/2/Material39.pdf>

Ratlalan, R. M. (2019). Variasi Kecepatan Putaran Dan Kedalaman Gaya Potong Mesin Bubut Gedee Weiler LZ 330 G Terhadap Permukaan Baja Karbon ST 37. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(3), 113–120.

Shieddieque, A. D., Nugraha, W. A., Mesin, S. T., Tinggi, S., & Wastukencana, T. (n.d.). Perancangan Mold Set Komponen Handle Pintu Mobil Dengan Material Alumunium 6061 *Mold Set Design of Car Door Handle Components Using Material Alumunium 6061*.

- Untoro Budi, S. (2018). Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Envirotek*, 9(2), 32–40.
- Widiyaningsih, S. T., & Irwanto. (2021). Proses Pengoperasian Mesin Running Saw Menggunakan Computer Numerical Control (Cnc) (Studi Kasus Di Pt. Sejin Lestari Furniture). *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering*, 3(1), 75–87.
<http://jti.aisyahuniversity.ac.id/index.php/AJIEE/article/view/COMPUTERNUMERICALCONTROL%28CNC%29%0Ahttps://jti.aisyahuniversity.ac.id/index.php/AJIEE/article/download/COMPUTERNUMERICALCONTROL%28CNC%29/48>
- Yos, J., Pabean, S., & Probolinggo, D. (2017). *Karakteristik Minyak Hasil Pirolisis Batch Sampah Plastik Polystyrene*. 7(1), 52–55.
- Yulianto, I., & Prassetiyo, H. (2014). *RANCANGAN DESAIN MOLD PRODUK KNOB REGULATOR KOMPOR GAS PADA PROSES INJECTION MOLDING* *. 02(03), 140–151.

LAMPIRAN

