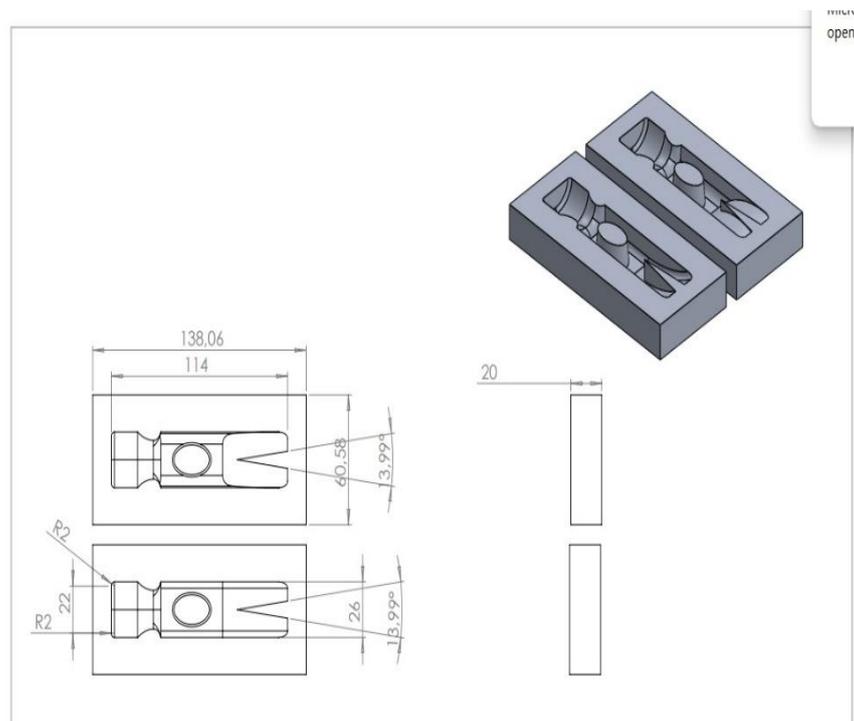


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain dan Simulasi Cetakan

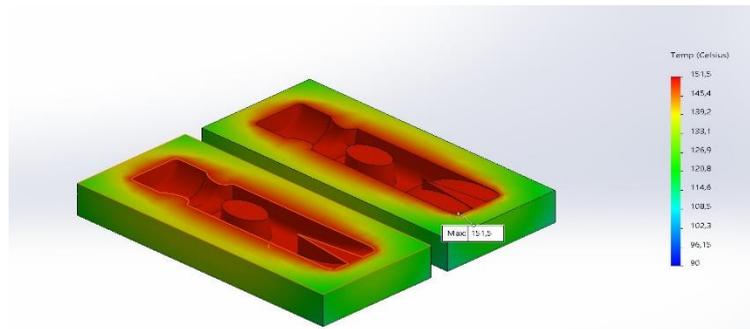
Sebelum melakukan proses permesinan untuk pembuatan cetakan dilakukan desain dan simulasi cetakan menggunakan *software solidworks* dengan dimensi Panjang 138,06 mm x Lebar 60,58 mm x Tinggi 16,33 mm. Berikut ini adalah desain cetakan kepala palu pada gambar 4.1.



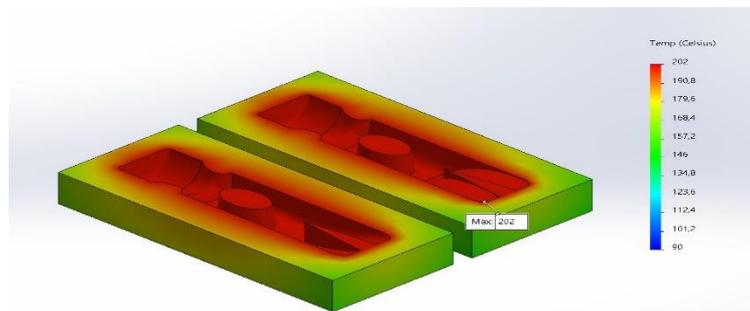
Gambar 4.1 Desain Cetakan

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

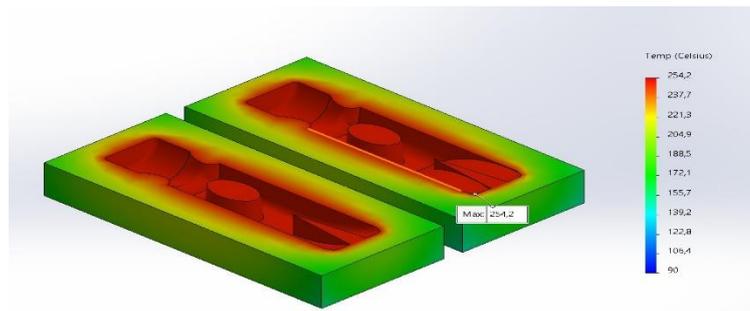
adalah hasil simulasi dari cetakan yang diberi termal ketiga suhu yang berbeda pada gambar 4.2, gambar 4.3 dan gambar 4.4.



Gambar 4.2 Simulasi Termal 150°C



Gambar 4.3 Simulasi Termal 200°C



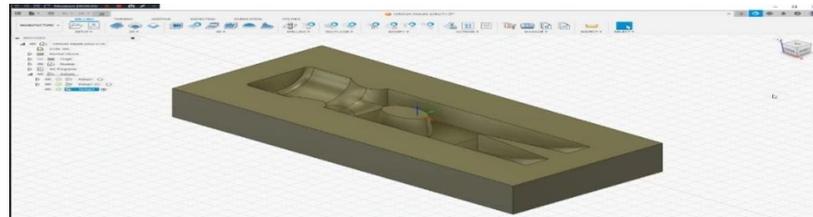
Gambar 4.4 Simulasi Termal 250°C

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

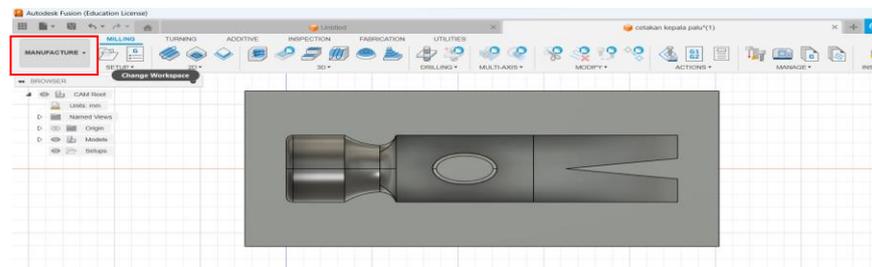
pemrograman (*NC code*) dari gambar CAD melalui *solidworks* dan dikonversi ke *CAM Autodesk Fusion*. Berikut adalah proses konversi dari CAD menjadi CAM.

1. Membuka file hasil desain CAD di *solidworks* yang sudah di simpan dalam format *.STEP* dan membuka file menggunakan *Autodesk Fusion 360*



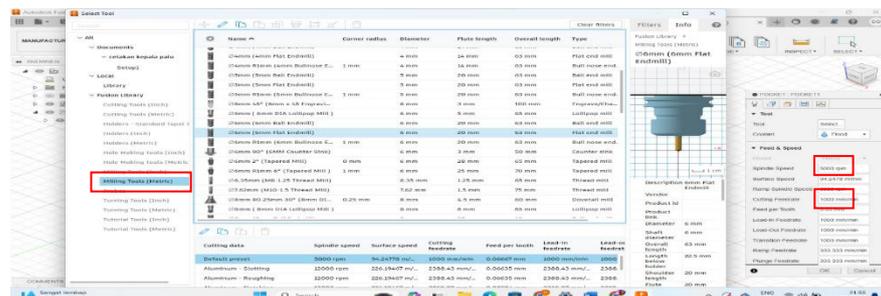
Gambar 4.5 Tampilan Desain Hasil Transfer Data

2. Memilih *tools manufacture* menentukan diameter pahat pemakanan yang diinginkan dan kecepatan pemakanan untuk proses CAM



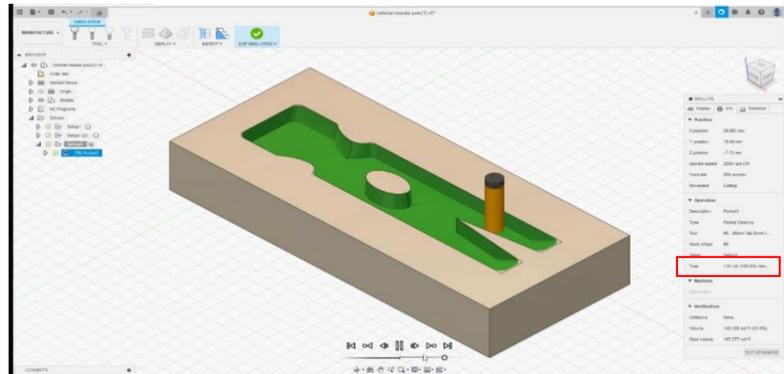
Gambar 4.6 Mengatur *Tools* untuk Simulasi CAM

3. Memilih *milling tools* dan menentukan *spindle speed* sesuai mesin dan kecepatan maksimum *feedrate* membuka *milling > 3D > Pocket Clearing > Select Tool > Milling Tools > Pilih Diameter Pahat 6 mm tipe flat endmill > Setting Spindle Speed di 2500 rpm dan Cutting Feedrate di maksimum 600 rpm.*



Gambar 4.7 Menentukan *Toolpath*

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

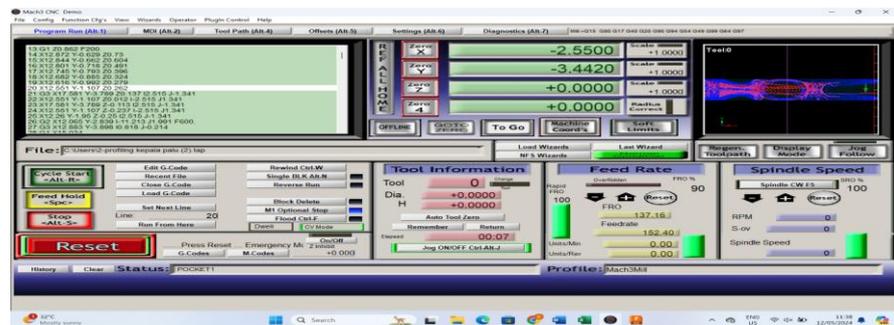
SPEKIFIKASI	DETAIL
<i>Type</i>	<i>CNC Router 3040</i>
Motor Utama (kW)	1.5 kW
Dimensi (cm)	(10 x 10 x 10) cm
<i>Spindle Speed</i> (rpm/min)	2500 rpm/min
<i>Max Feeding Height</i> (mm)	70 mm

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

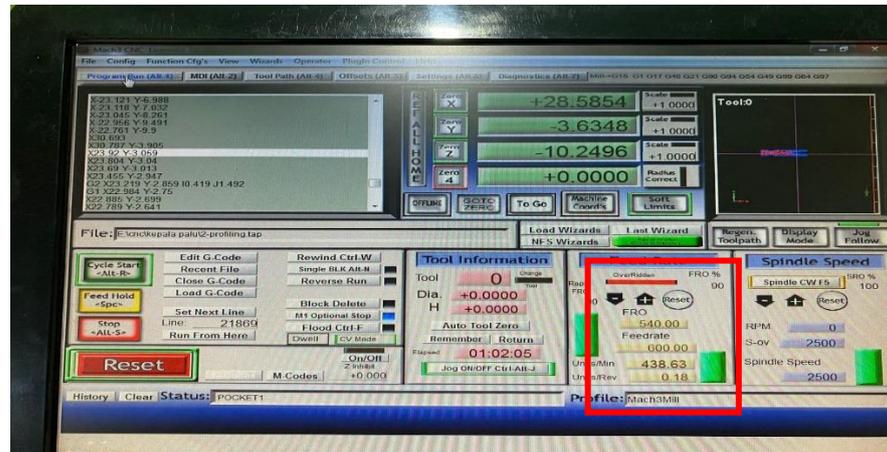
Setelah selesai kalibrasi pada ketiga sumbu langkah selanjutnya proses permesinan, berikut dibawah ini hasil kalibrasi.



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 perencanaan 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)

$$z = 1$$

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

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

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.

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

$$L = l_n + l_w + l_v$$

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

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,

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

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

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

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

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

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,

$l_n = 200$ mm

$l_w = 600$ mm

$l_v = 600$ mm

$L = l_n + l_w + l_v = 200 + 600 + 600 = 728$ mm

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

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{(0-0,12)^2+(0-0,12)^2+(0,11-0,12)^2+(0,8-0,12)^2+(0,12-0,12)^2+(0,01-0,12)^2+(0-0,12)^2+(0,09-0,12)^2+(0,12-0,12)^2+(0,02-0,12)^2+(0-0,12)^2}{11}}$$

$$\sigma = 0.22$$

3. *Persentase Error*

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

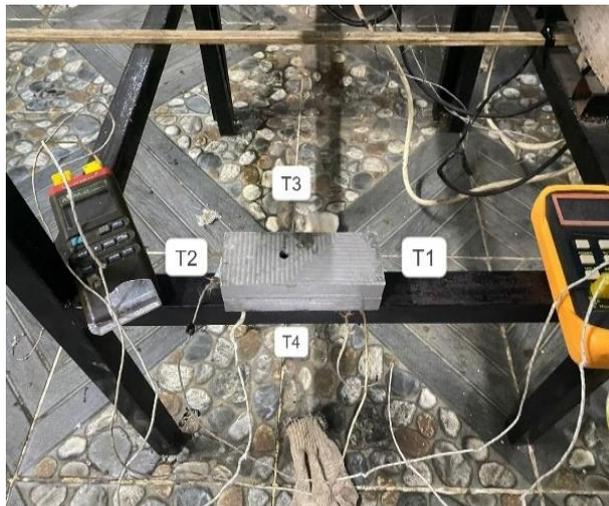
$$\% \text{ Error} = \frac{|50,09 - 50|}{50} \times 100$$

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

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.

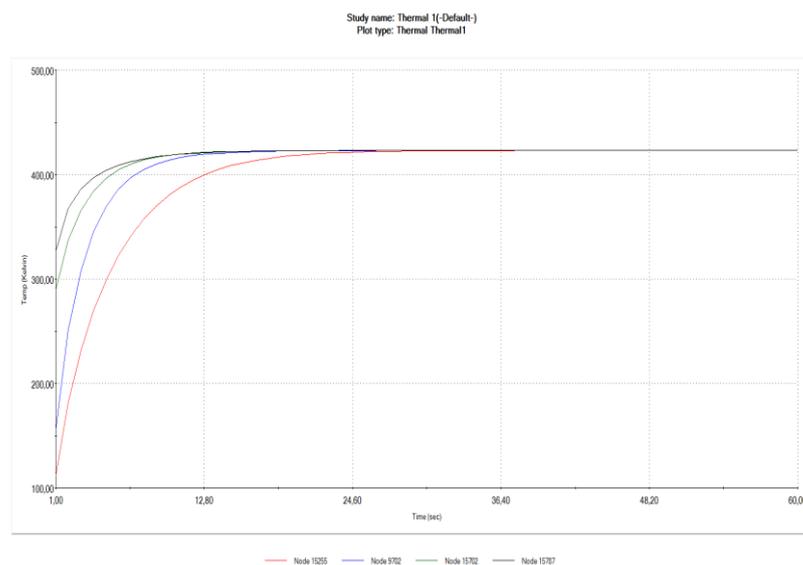


Gambar 4.16 Titik Penempatan Termometer pada Cetakan

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.



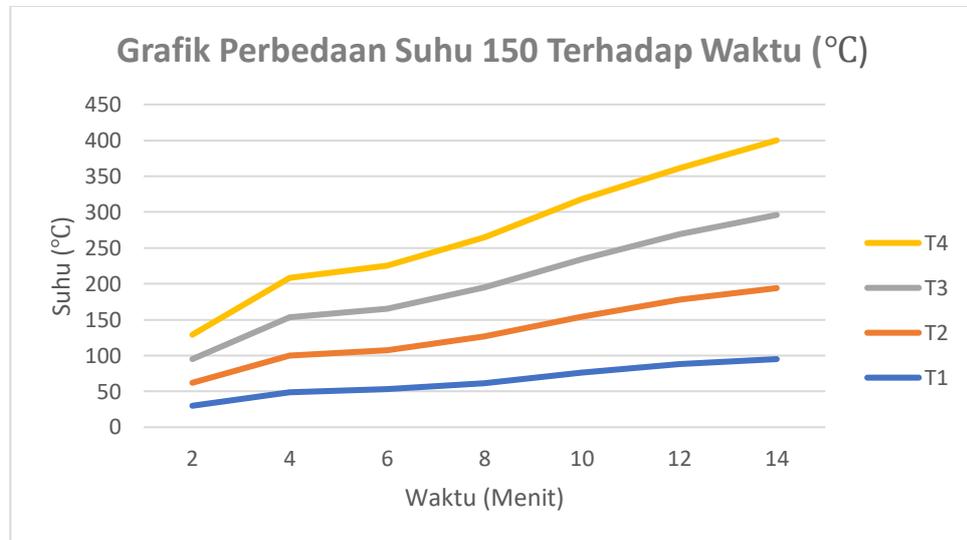
Gambar 4.17 Simulasi Waktu Injeksi Suhu 150 °C

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.

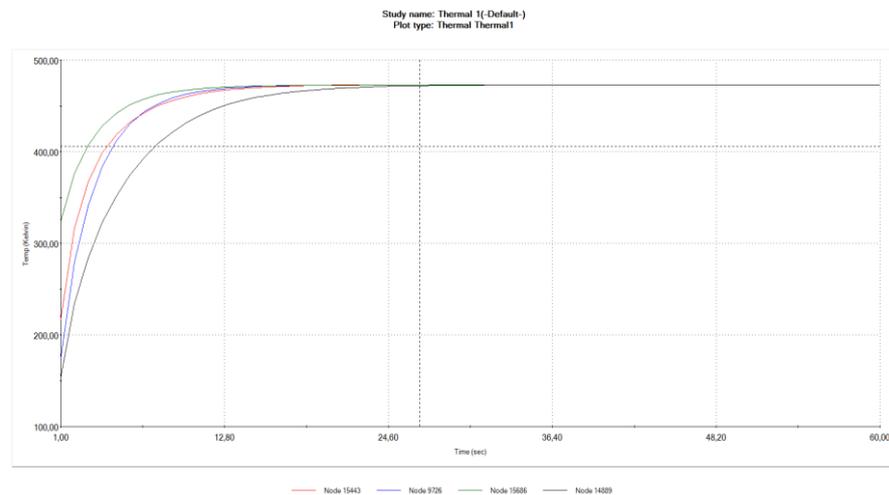


Gambar 4.18 Grafik Perbedaan Suhu 150 °C terhadap Waktu

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

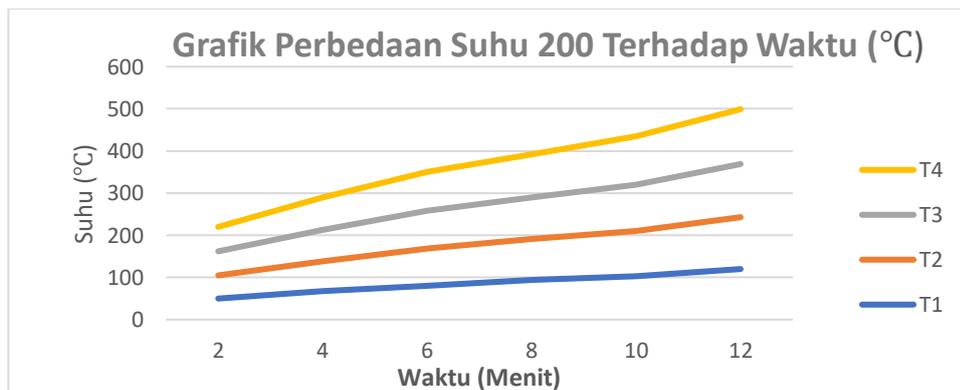
Terlihat pada Gambar 4.19 grafik dari waktu injeksi terhadap suhu dimana pada grafik tersebut menunjukkan bahwasannya semakin lama waktu injeksi nya semakin meningkat suhu nya, dikarenakan menggunakan dua *mold* sehingga panas akan tertahan didalam cetakan dan ketika lelehan plastik tersebut bertambah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

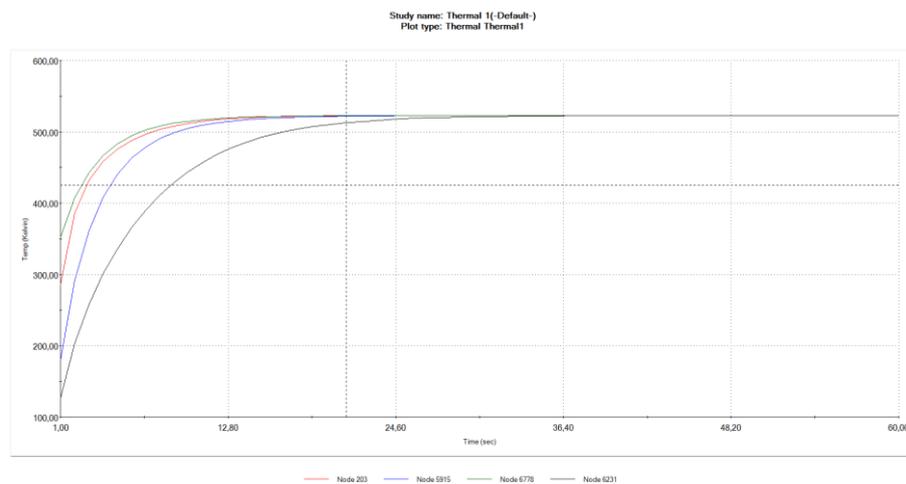


Gambar 4.20 Grafik Perbedaan Suhu 200 °C terhadap Waktu

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.



Gambar 4.21 Simulasi Waktu Injeksi Suhu 250 °C

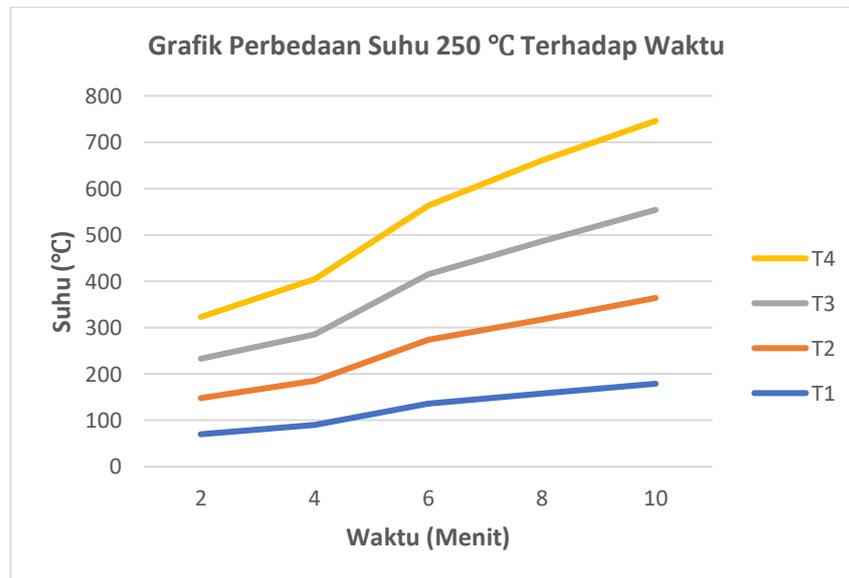
Terlihat pada Gambar 4.21 grafik dari waktu injeksi terhadap suhu dimana pada grafik tersebut menunjukkan bahwasannya semakin lama waktu injeksi nya semakin meningkat suhu nya, dikarenakan menggunakan dua *mold* sehingga panas akan tertahan didalam cetakan dan ketika lelehan plastik tersebut bertambah 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.



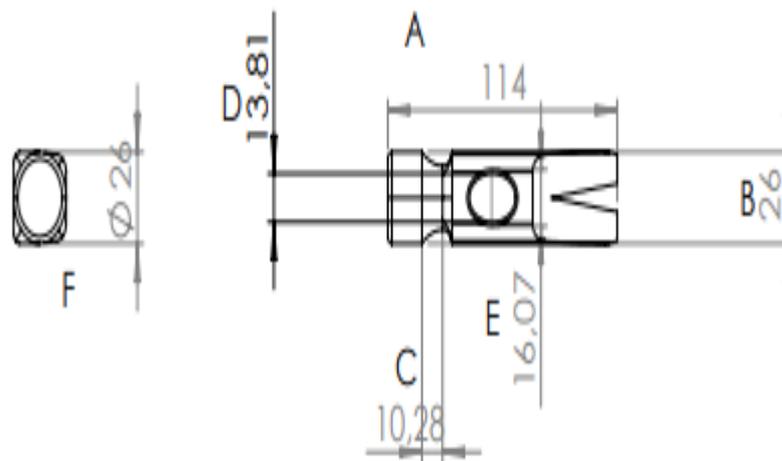
Gambar 4.22 Grafik Perbedaan Suhu 250 °C terhadap Waktu

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	

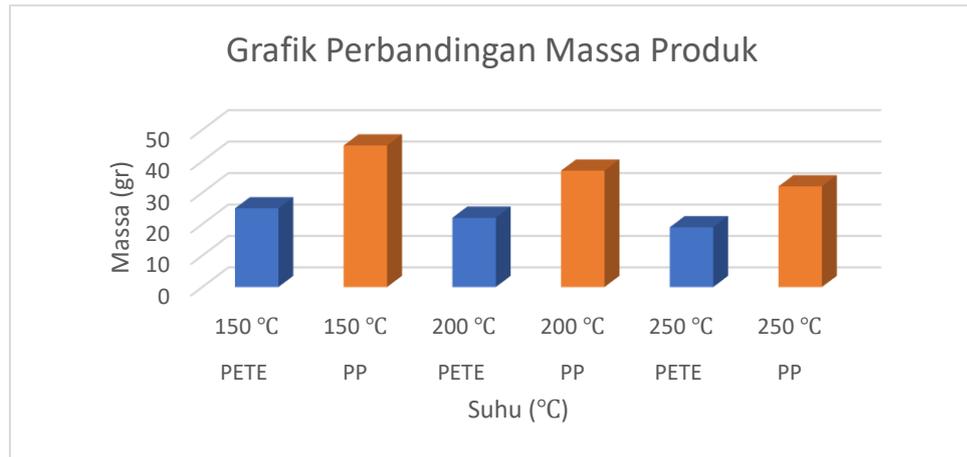
Dalam pengujian karakteristik geometri ini mengukur dimensi dari desain dengan hasil produk pengambilan data, untuk pengujian geometri ini difokuskan pada dimensi nya terlihat pada Tabel 4.8 Hasil dimensi pengujian menggunakan tiga suhu yang berbeda dan dua jenis plastik yang berbeda secara garis besar 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