

**TUGAS AKHIR - TM234802**

# **RANCANGAN CETAKAN SUNGKUP HELM KESELAMATAN UNTUK PERKEBUNAN KELAPA SAWIT**

**ROBERTUS WISNU GALANG SAMUDRA**

**NRP 5007201104**

Dosen Pembimbing

**Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, ME, IPU, AEng**

**NIP 195811061986011001**

**Program Studi Sarjana Teknik Mesin**

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



TUGAS AKHIR - TM234802

## **RANCANGAN CETAKAN SUNGKUP HELM KESELAMATAN UNTUK PERKEBUNAN KELAPA SAWIT**

**ROBERTUS WISNU GALANG SAMUDRA**

NRP 5007201104

Dosen Pembimbing

**Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, ME, IPU, AEng**

NIP 195811061986011001

**Program Studi Sarjana Teknik Mesin**

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



FINAL PROJECT - TM234802

# DESIGN OF SAFETY HELMET SHELL INJECTION MOLD FOR OIL PALM PLANTATIONS

**ROBERTUS WISNU GALANG SAMUDRA**

NRP 5007201104

Advisor

**Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, ME, IPU, AEng**

NIP 195811061986011001

**Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering**

Departement of Mechanical Engineering

Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2025

# **LEMBAR PENGESAHAN**

## **RANCANGAN CETAKAN SUNGKUP HELM KESELAMATAN UNTUK PERKEBUNAN KELAPA SAWIT**

### **TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Teknik Mesin  
Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **ROBERTUS WISNU GALANG SAMUDRA**

NRP. 5007201104

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- |   |            |
|---|------------|
| 1. Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, ME, IPU, AEng<br>195811061986011001      | Pembimbing |
| 2. Arif Wahjudi, ST, MT, Ph.D, IPM, AEng<br>197303222001121001                      | Penguji    |
| 3. Ir. Mohammad Khoirul Effendi, ST, MSc.Eng, Ph.D, IPM, AEng<br>198204142010121001 | Penguji    |
| 4. Ir. Sampurno, MT<br>196504041989031002   | Penguji    |

**SURABAYA**  
**Februari, 2025**

# **APPROVAL SHEET**

## **DESIGN OF SAFETY HELMET SHELL INJECTION MOLD FOR OIL PALM PLANTATIONS**

### **FINAL PROJECT**

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree Bachelor of Engineering at  
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering  
Departement of Mechanical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology

By: **ROBERTUS WISNU GALANG SAMUDRA**

NRP. 5007201104

Approved by Final Project Examiner Team:

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, ME, IPU, AEng<br>195811061986011001      | Advisor  |
| 2. Arif Wahjudi, ST, MT, Ph.D, IPM, AEng<br>197303222001121001                      | Examiner |
| 3. Ir. Mohammad Khoirul Effendi, ST, MSc.Eng, Ph.D, IPM, AEng<br>198204142010121001 | Examiner |
| 4. Ir. Sampurno, MT<br>196504041989031002   | Examiner |

**SURABAYA  
February, 2025**

## **PERNYATAAN ORISINALITAS**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Robertus Wisnu Galang Samudra / 5007201104  
Departemen : Teknik Mesin  
Dosen Pembimbing / NIP : Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, ME, IPU, AEng /  
195811061986011001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “RANCANGAN CETAKAN SINGKUP HELM KESELAMATAN UNTUK PERKEBUNAN KELAPA SAWIT” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 3 Februari 2025

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

Mahasiswa

Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, ME, IPU, AEng  
NIP. 195811061986011001

Robertus Wisnu Galang Samudra  
NRP. 5007201104

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Robertus Wisnu Galang Samudra / 5007201104  
Department : Mechanical Engineering  
Advisor / NIP : Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, ME, IPU, AEng /  
195811061986011001

hereby declare that the Final Project with the title of “DESIGN OF SAFETY HELMET SHELL INJECTION MOLD FOR OIL PALM PLANTATIONS” is the result of my own work, is original, viindi s written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 3 February 2025

Acknowledged  
Advisor

Student

Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, ME, IPU, AEng  
NIP. 195811061986011001

Robertus Wisnu Galang Samudra  
NRP. 5007201104

## ABSTRAK

### RANCANGAN CETAKAN SUNGKUP HELM KESELAMATAN UNTUK PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

Nama Mahasiswa / NRP : Robertus Wisnu Galang Samudra / 5007201104  
Departemen : Teknik Mesin FTIRS - ITS  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, ME, IPU, AEng

#### Abstrak

Indonesia merupakan produsen kelapa sawit terbesar di dunia dengan luas areal perkebunan mencapai 15,93 juta hektar, dengan luasnya perkebunan maka memerlukan banyak pekerja, saat proses panen kelapa sawit terdapat risiko keselamatan bagi pekerja karena letak tandan buah segar kelapa sawit yang berada di ketinggian yang mencapai lebih dari 2 meter, bagian tubuh yang rentan terhadap cedera adalah kepala dimana pelindung kepala yang digunakan untuk mengurangi risiko cedera adalah helm keselamatan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ammar Adnan dkk. terhadap pekerja kelapa sawit di Malaka, Malaysia dengan 87,2% pekerjanya berasal dari Indonesia, 62 pekerja dari 178 pekerja mengaku tidak memakai helm saat beraktivitas karena alasan lingkungan kerja yang panas, penelitian lain oleh Shamsul Bahri dkk. menyatakan pekerja di perkebunan kelapa sawit di Malaysia mengeluhkan helm yang digunakan memiliki bobot yang berat, menyebabkan gerah sehingga tidak nyaman digunakan, memiliki ukuran yang tidak pas, dan menyebabkan rasa pegal di leher karena brim yang terlalu panjang, untuk itu penelitian ini bertujuan merancang helm keselamatan yang lebih diperuntukkan kepada pekerja di perkebunan sawit. Penelitian ini berfokus pada perancangan sungkup helm menggunakan material biokomposit serat sisal dan *polypropylene* dan perancangan cetakan sungkup helm untuk digunakan pada mesin *injection molding* serta mengetahui hasil cetakan menggunakan proses *injection molding*. Desain sungkup helm dan cetakan sungkup helm dibuat menggunakan SOLIDWORKS dan simulasi proses injeksi dijalankan menggunakan Autodesk Moldflow Adviser. Desain helm dikembangkan dengan menggunakan diagram morfologi untuk mendapatkan konsep pilihan, konsep pilihan memiliki bentuk *full brim* dengan profil huruf M pada bagian atas, konsep pilihan berbentuk kubah elips dengan dimensi 279×247×135 mm, hasil simulasi proses injeksi dengan *volumetric shrinkage* terkecil dan *high quality prediction* diperoleh pada parameter injeksi *melt temperature* 190°C, hasil simulasi menghasilkan hasil cetakan dengan berat 318 gram, *high confidence of fill* dengan hasil 100% dari rongga cetakan, *high quality prediction* dengan hasil 100% dari rongga cetakan, *cooling quality* tinggi sebesar 99,7% dari rongga cetakan, dan *volumetric shrinkage* maksimal sebesar 4,72%. Rancangan cetakan telah disesuaikan dengan *volumetric shrinkage* sehingga cetakan memiliki dimensi keseluruhan 550×450×440 mm dengan rongga cetakan berbentuk kubah elips dengan dimensi 285,59×252,86×138,00 mm. Cetakan menggunakan referensi jenis cetakan 4545 yang terdiri dari *top plate*, *cavity plate*, *core plate*, *support plate*, *spacer block*, *ejector plate*, *ejector retainer plate*, dan *bottom plate*, dengan komponen *locating ring*, *sprue bushing*, *hex socket head screw*, *guide pin with oil grooves*, *guide bushing*, *support pin*, *return pin*, dan *ejector pin*.

Kata kunci: Helm keselamatan, *injection molding*, *mold base*, sungkup helm



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## ABSTRACT

### DESIGN OF SAFETY HELMET SHELL INJECTION MOLD FOR OIL PALM PLANTATIONS

Student Name / NRP : Robertus Wisnu Galang Samudra / 5007201104  
Department : Mechanical Engineering INDSYS - ITS  
Advisor : Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, ME, IPU, AEng

#### Abstract

Indonesia is the largest palm oil producer in the world with a plantation area of 15.93 million hectares, with such an extent of plantations it requires a large number of workers, during the oil palm harvesting process there are safety risks for workers due to the position of oil palm fresh fruit bunches at a height that reaches more than 2 meters, the part of the body that is vulnerable to injury is the head where the head protection used to reduce the risk of injury is a safety helmet. In a research conducted by Ammar Adnan et al. on oil palm workers in Malacca, Malaysia with 87.2% of workers from Indonesia, 62 workers out of 178 workers admitted that they did not wear helmets during the work activities for the reasons of hot working environment, another research by Shamsul Bahri et al. stated that workers in oil palm plantations in Malaysia complained that the helmets used are heavy, sultry and uncomfortable to use, have an unfitting size, and causing neck soreness because the brim is too long, therefore this research aims to design safety helmets that are more designated for workers in oil palm plantations. This research focuses on designing a helmet shell made using sisal fiber and polypropylene biocomposite material and designing a helmet shell mold to be used on an injection molding machine and knowing the results of the injection molding process. The helmet shell design and helmet shell mold were designed using SOLIDWORKS and the injection process simulation was run using Autodesk Moldflow Adviser. The helmet design was developed using morphological diagrams to obtain the concept of choice, the concept of choice has a full brim form with profile of letter M at the top, concept of choice in the shape of an elliptical dome with dimensions of 279×247×135 mm, the results of the injection simulation with the smallest volumetric shrinkage and high quality prediction are obtained at the injection parameter of melt temperature 190°C, the simulation results produce mold results with a weight of 318 grams, high confidence of fill with a result of 100% of the cavity, high quality prediction with a result of 100% of the cavity, high cooling quality of 99.7% of the cavity, and maximum volumetric shrinkage of 4.72%. The mold design has been adjusted to volumetric shrinkage resulting in an overall dimension of 550×450×440 mm with an elliptical dome-shaped mold cavity with dimensions of 285,59×252,86×138,00 mm. The mold uses a 4545 mold as reference consisting of top plate, cavity plate, core plate, support plate, spacer block, ejector plate, ejector retainer plate, and bottom plate, with components of locating ring, sprue bushing, hex socket head screw, guide pin with oil grooves, guide bushing, support pin, return pin, and ejector pin.

**Keywords:** Helmet shell, injection molding, mold base, safety helmet

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, Maha Pengasih dan Maha Penyayang, atas limpahan berkat, rahmat, dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Rancangan Cetakan Sungkup Helm Keselamatan untuk Perkebunan Kelapa Sawit”. Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga penulis khususnya kedua orang tua dan kakak-kakak penulis yang senantiasa memberi dukungan, semangat, doa dan nasihat untuk penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, ME, IPU, AEng, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ide, saran, pembelajaran, dan pengetahuan kepada penulis sampai dengan penulisan tugas akhir ini.
3. Bapak Arif Wahjudi, ST, MT, Ph.D, IPM, AEng, Bapak Ir. Mohammad Khoirul Effendi, ST, MSc.Eng, PhD, IPM, AEng, dan Bapak Ir. Sampurno, MT, selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan komentar dan saran agar tugas akhir penulis menjadi lebih baik.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Prabowo, MEng, IPU, AEng, selaku dosen wali yang telah memberikan saran, semangat, dan bimbingan selama masa perkuliahan.
5. Teman-teman Laboratorium Rekayasa Produksi yang senantiasa menemani dan membantu penulis dalam penulisan tugas akhir.
6. Teman-teman M63 yang telah menemani penulis selama masa perkuliahan.

Demikian laporan tugas akhir yang ditulis oleh penulis, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat selain bagi penulis sendiri juga bagi yang membaca laporan tugas akhir ini. Terima kasih.

Surabaya, Februari 2025

Penulis

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
APPROVAL SHEET .....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	v
STATEMENT OF ORIGINALITY .....	vii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Manfaat .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.1 Penelitian Terdahulu .....	3
2.2 Helm Keselamatan ( <i>Safety Helmet</i> ) .....	6
2.3 Material Plastik .....	8
2.4 Serat Sisal .....	8
2.5 Biokomposit .....	9
2.6 Perancangan dan Pengembangan Produk .....	10
2.6.1 <i>Concept Development</i> .....	10
2.6.2 <i>System-level Design</i> .....	11
2.6.3 <i>Detail Design</i> .....	11
2.7 <i>Injection Molding</i> .....	11
2.7.1 Gambaran Umum .....	11
2.7.2 Cetakan atau <i>Mold Base</i> .....	12
2.8 Perancangan Rongga Cetakan .....	14
2.8.1 <i>Volume Cavity</i> .....	14
2.8.2 <i>Number of Cavity</i> .....	14
2.8.3 <i>Clamping Force</i> .....	14
2.8.4 Waktu Siklus .....	15
2.9 Autodesk Moldflow Adviser .....	18
2.10 Proses Pemesinan .....	18
2.10.1 <i>Milling</i> .....	18
2.10.2 <i>Drilling</i> .....	19
2.11 Toleransi .....	19
2.11.1 Toleransi Linear .....	19
2.11.2 Toleransi Geometri .....	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	21
3.2 Tahapan Penelitian.....	22
3.3 Pengembangan Konsep Sungkup Helm Keselamatan .....	22
3.4 Diagram Alir Simulasi Proses Injeksi.....	23
3.5 Langkah Simulasi Proses Injeksi .....	24
BAB IV RANCANGAN SUNGKUP HELM DAN PERENCANAAN PROSES INJEKSI MOLD	31
4.1 Pengembangan Konsep Sungkup Helm Keselamatan .....	31
4.2 Perencanaan Simulasi Sungkup Helm .....	33
4.2.1 Spesifikasi Mesin.....	34
4.2.2 <i>Volume Cavity</i> .....	34
4.2.3 <i>Number of Cavity</i> .....	34
4.2.4 <i>Clamping Force</i> .....	35
4.2.5 Waktu Siklus .....	35
4.3 Simulasi Injeksi Sungkup Helm.....	37
4.3.1 <i>Gate Location</i> .....	37
4.3.2 <i>Molding Window</i> .....	38
4.3.3 <i>Confidence of Fill</i> .....	39
4.3.4 <i>Quality Prediction</i> .....	39
4.3.5 <i>Injection Pressure</i> .....	40
4.3.6 <i>Volumetric Shrinkage at Ejection</i> .....	40
4.3.7 Parameter untuk Perancangan Rongga Cetakan.....	41
4.4 Perancangan Rongga Cetakan.....	42
4.4.1 <i>Cooling Quality</i> .....	45
4.4.2 <i>Air Traps</i> .....	45
4.5 Perbandingan dengan Produk Referensi .....	46
BAB V RANCANGAN CETAKAN SUNGKUP HELM.....	47
5.1 Rancangan Cetakan.....	47
5.2 Proses Pemesinan Cetakan.....	50
5.2.1 Top Plate.....	51
5.2.2 Cavity Plate .....	51
5.2.3 <i>Core Plate</i> .....	52
5.2.4 Support Plate .....	52
5.2.5 Ejector Retainer Plate .....	53
5.3 Aksesoris Cetakan.....	53
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
6.1 Kesimpulan .....	55
6.2 Saran .....	55
DAFTAR PUSTAKA .....	57
LAMPIRAN.....	59
BIODATA PENULIS .....	101

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Assembly</i> Cetakan Spesimen Shrinkage ASTM D955 (Gumilar, 2018) .....	3
Gambar 2.2 Desain Sungkup Helm SNI 1811-2007 (Taqiyyudin, 2023) .....	4
Gambar 2.3 Desain Cetakan Sungkup Helm (Taqiyyudin, 2023).....	4
Gambar 2.4 Desain Helm Arung Jeram (Alhuda, 2015) .....	5
Gambar 2.5 Tabel Proses Pemesinan Cetakan Helm Arung Jeram (Alhuda, 2015) .....	5
Gambar 2.6 Rancangan Cetakan Mika Lampu Sein Depan Yamaha Jupiter Z (Laksmana, 2017) .....	6
Gambar 2.7 Helm Keselamatan (amazon.com).....	7
Gambar 2.8 Komponen Helm Keselamatan (Jachowicz, 2020).....	7
Gambar 2.9 Ilustrasi Biokomposit (Sethi dan Ray, 2015).....	9
Gambar 2.10 Sifat Mekanik Campuran Polypropylene dengan Serat Alam (Sudhakara dkk., 2013).....	10
Gambar 2.11 Model Diagram Morfologi (I Made Londen Batan, 2012).....	11
Gambar 2.12 Tahapan Proses <i>Injection Molding</i> (Charles A. Harper, 2002) .....	12
Gambar 2.13 Mesin <i>Injection Molding</i> (Douglas M. Bryce, 1996) .....	12
Gambar 2.14 Jenis Cetakan <i>Two Plate</i> (John P. Beaumont, 2019).....	13
Gambar 2.15 Sistem Saluran <i>Injection Molding</i> (Charles A. Harper, 2002).....	13
Gambar 2.16 <i>Clamping Force</i> (zetarmold.com) .....	14
Gambar 2.17 Parameter Injeksi Material (Menges, dkk., 2001) .....	17
Gambar 2.18 Sifat Difusifitas Material Plastik (Tavman, 2015).....	17
Gambar 2.19 Bentuk Yang Dapat Diproduksi Proses <i>Milling</i> (Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, 2009).....	18
Gambar 2.20 Jenis-jenis Proses <i>Drilling</i> (Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, 2009).....	19
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	21
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Simulasi Proses Injeksi .....	23
Gambar 3.3 Tampilan Membuat <i>New Project</i> .....	24
Gambar 3.4 Tampilan untuk Memasukkan Model CAD .....	24
Gambar 3.5 Tampilan Tab Tools.....	24
Gambar 3.6 Tampilan Membuat New Database .....	25
Gambar 3.7 Tampilan Memasukkan Material Plastik .....	25
Gambar 3.8 Tampilan untuk Memilih Serat .....	25
Gambar 3.9 Pilihan Serat yang Tersedia .....	26
Gambar 3.10 Menu Pemilihan Material .....	26
Gambar 3.11 Tampilan <i>Analysis Sequence</i> untuk <i>Gate Location</i> .....	27
Gambar 3.12 Penentuan <i>Injection Locations</i> .....	27
Gambar 3.13 Tampilan <i>Analysis Sequence</i> untuk <i>Molding Window</i> .....	28
Gambar 3.14 Tampilan <i>Process Settings</i> .....	28
Gambar 3.15 Tampilan untuk Memulai Analisis .....	29
Gambar 4.1 Produk Referensi Asgard V-Guard Medium .....	31
Gambar 4.2 Konsep Sungkup Helm Pertama.....	33
Gambar 4.3 <i>Gate Suitability</i> .....	37
Gambar 4.4 Hasil Analisis <i>Molding Window</i> .....	38
Gambar 4.5 Rentang Parameter Optimum Proses Injeksi .....	38
Gambar 4.6 <i>Confidence of Fill</i> Sungkup Helm .....	41
Gambar 4.7 <i>Quality Prediction</i> Sungkup Helm .....	41
Gambar 4.8 <i>Volumetric Shrinkage</i> Sungkup Helm .....	42
Gambar 4.9 <i>Confidence of Fill</i> Rongga Cetakan.....	42



Gambar 4.10 <i>Quality Prediction</i> Rongga Cetakan .....	43
Gambar 4.11 <i>Volumetric Shrinkage</i> Rongga Cetakan .....	43
Gambar 4.12 Waktu Siklus Simulasi .....	44
Gambar 4.13 <i>Cooling Quality</i> .....	45
Gambar 4.14 <i>Air Traps</i> .....	45
Gambar 5.1 Jenis Cetakan <i>Three Plate</i> (tosanaji.co.id).....	47
Gambar 5.2 Dimensi Cetakan Tipe GAI 4545 (tosanaji.co.id).....	48
Gambar 5.3 Proses Pemesinan Cetakan (tosanaji.co.id).....	49
Gambar 5.4 Pemesinan <i>Top Plate</i> .....	51
Gambar 5.5 Pemesinan <i>Cavity Plate</i> .....	51
Gambar 5.6 Pemesinan <i>Core Plate</i> .....	52
Gambar 5.7 Pemesinan <i>Support Plate</i> .....	52
Gambar 5.8 Pemesinan <i>Ejector Retainer Plate</i> .....	53

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Material <i>Polypropylene</i> (Autodesk Moldflow, 2012).....	8
Tabel 2.2 Sifat Material Serat Sisal (Autodesk Moldflow, 2010).....	9
Tabel 2.3 Faktor Penyusutan Material (Siswoto) .....	14
Tabel 2.4 Faktor Tebal Dinding (Siswoto).....	15
Tabel 2.5 Kualitas Toleransi 01, 0, dan 1 (Taufiq Rochim, 2001).....	19
Tabel 2.6 Kualitas Toleransi 5-15 (Taufiq Rochim, 2001) .....	19
Tabel 2.7 Jenis Toleransi Bentuk dan Posisi dengan Simbolnya menurut ISO (Taufiq Rochim, 2001).....	20
Tabel 4.1 Daftar Kebutuhan Sungkup Helm Keselamatan.....	31
Tabel 4.2 Diagram Morfologi Konsep .....	32
Tabel 4.3 <i>Mass Properties</i> Sungkup Helm.....	33
Tabel 4.4 Spesifikasi Mesin Haitian HTF250W .....	34
Tabel 4.5 Tabel Perhitungan Waktu Pendinginan dan Waktu Siklus.....	37
Tabel 4.6 Hasil Simulasi <i>Confidence of Fill</i> .....	39
Tabel 4.7 Hasil Simulasi <i>Quality Prediction</i> .....	39
Tabel 4.8 Hasil Simulasi <i>Injection Pressure</i> .....	40
Tabel 4.9 Hasil Simulasi <i>Volumetric Shrinkage at Ejection</i> .....	40
Tabel 4.10 <i>Fill Summary</i> .....	44
Tabel 4.11 <i>Packing Summary</i> .....	44
Tabel 5.1 Daftar Komponen Cetakan .....	49
Tabel 5.2 Proses Pemesinan Cetakan .....	50
Tabel 5.3 Daftar Aksesoris Cetakan .....	53

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peran strategis terhadap perekonomian Indonesia, berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), sepanjang tahun 2023 Indonesia memproduksi total 47,08 juta ton kelapa sawit dengan luas areal perkebunan kelapa sawit mencapai 15,93 juta hektar, menjadi yang terbesar di dunia dengan menyumbang 59% produksi kelapa sawit dunia, besarnya angka produksi dan luasnya areal perkebunan tersebut tentu membutuhkan jumlah pekerja yang banyak, dengan letak tandan buah segar (TBS) kelapa sawit yang berada di ketinggian, keselamatan pekerja perkebunan kelapa sawit menjadi suatu hal yang perlu diperhatikan karena terdapat dapat menimbulkan kecelakaan karena TBS terjatuh dari pohon, untuk mengurangi risiko kecelakaan diperlukan penggunaan alat pelindung diri yang sesuai, berdasarkan Standar Operasional Prosedur Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang diterbitkan oleh Serikat Petani Kelapa Sawit Indonesia, Alat Perlindungan Diri (APD) untuk kegiatan panen kelapa sawit wajib menggunakan helm, kacamata, sarung tangan, sepatu AV, dan sarung egrek/dodos. Helm keselamatan yang digunakan di perkebunan kelapa sawit umumnya menggunakan helm keselamatan dengan standar internasional yang terbuat dari material *thermoplastic* seperti *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *High Density Polyethylene* (HDPE), ataupun *Polypropylene* (PP) dengan harga yang mahal atau bahkan menggunakan helm keselamatan dengan material plastik daur ulang tanpa standar yang jelas, hal ini menjadi kompromi bagi perusahaan perkebunan kelapa sawit antara mengeluarkan uang untuk menggunakan helm keselamatan berstandar atau membahayakan keselamatan pekerja. Selain itu meskipun terdapat perusahaan yang menggunakan helm keselamatan dengan standar yang jelas sekalipun, masih terdapat pekerja yang enggan menggunakan helm keselamatan saat bekerja seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Ammar Adnan dkk. terhadap pekerja kelapa sawit di Melaka, Malaysia, pada penelitian tersebut dari 178 pekerja, dengan 87,2% pekerja berasal dari Indonesia, 62 pekerja menyatakan bahwa mereka melepas helm keselamatan karena lingkungan kerja yang panas, penelitian serupa juga dilakukan oleh Shamsul Bahri dkk. dimana para pekerja di perkebunan kelapa sawit di Malaysia mengeluhkan helm keselamatan memiliki bobot yang berat, tidak nyaman karena kurangnya sirkulasi udara, ukuran yang tidak pas, dan rasa pegal di leher karena *brim* yang terlalu panjang.

Helm keselamatan yang menggunakan material *thermoplastic* juga akan menambah penggunaan plastik di dunia, untuk mengurangi penggunaan plastik tersebut dapat digunakan material biokomposit dimana material plastik dapat dicampur dengan bahan penguat yang berasal dari serat alam. Material *thermoplastic* khususnya *polypropylene* telah beberapa kali diteliti di Laboratorium Perancangan dan Pengembangan Produk Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember sebagai matriks biokomposit dengan campuran serat alam serat sisal.

Dari latar belakang yang telah diuraikan maka dirancang desain sungkup helm keselamatan untuk perkebunan kelapa sawit dengan menggunakan material campuran serat alam atau biokomposit dengan campuran serat sisal dan *polypropylene*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, didapatkan rumusan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana desain sungkup helm keselamatan untuk pekerja perkebunan kelapa sawit?
2. Bagaimana hasil simulasi proses injeksi sungkup helm keselamatan dengan material penyusun biokomposit?
3. Bagaimana rancangan cetakan sungkup helm keselamatan untuk pekerja perkebunan kelapa sawit yang meliputi perancangan cetakan dan aksesoris cetakan?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terfokus pada aspek yang relevan, penelitian ini dibatasi oleh hal-hal berikut.

1. Bagian helm yang dirancang adalah sungkup helm.
2. Material yang digunakan yaitu biokomposit dengan komposisi serat sisal dan *polypropylene*.
3. Rancangan sungkup helm dan cetakan menggunakan SOLIDWORKS.
4. Simulasi proses injeksi sungkup helm menggunakan Autodesk Moldflow Adviser.
5. *Mold temperature* diatur pada temperatur 30°C.

## 1.4 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah diuraikan, tujuan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang sungkup helm keselamatan untuk pekerja perkebunan kelapa sawit.
2. Menganalisis hasil simulasi proses injeksi sungkup helm keselamatan dengan material penyusun biokomposit.
3. Memperoleh rancangan cetakan sungkup helm keselamatan untuk pekerja perkebunan kelapa sawit yang meliputi perancangan cetakan dan aksesoris cetakan.

## 1.5 Manfaat

Melalui penelitian yang dilakukan, diharapkan manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan desain sungkup helm keselamatan yang lebih sesuai dengan kebutuhan pekerja di perkebunan kelapa sawit.
2. Memberikan informasi mengenai hasil simulasi proses injeksi dengan material penyusun biokomposit serat sisal dan *polypropylene* dalam bentuk sungkup helm keselamatan.
3. Sebagai referensi dan bahan kajian untuk penelitian lebih lanjut mengenai sungkup helm keselamatan dengan material biokomposit serat sisal dan *polypropylene*.

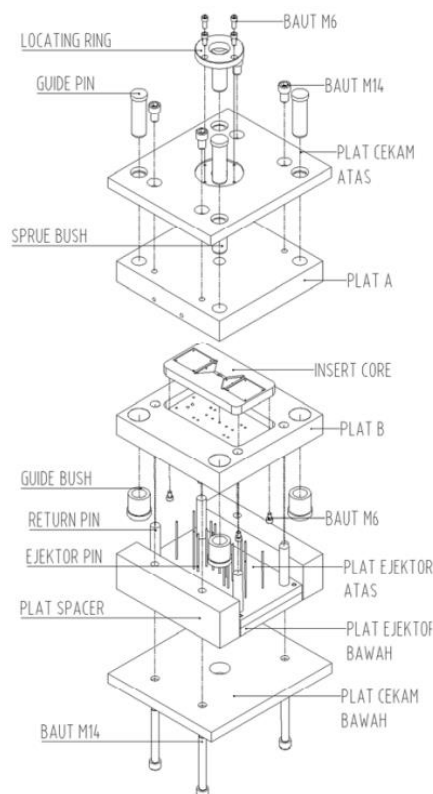
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

#### 1. Rancang Bangun Cetakan Spesimen Untuk Menganalisa *Shrinkage* Material Plastik Sesuai Standard ASTM D955

Dalam penelitian yang berjudul Rancang Bangun Cetakan Spesimen Untuk Menganalisa *Shrinkage* Material Plastik Sesuai Standard ASTM D955 ditulis oleh Deni Gumilar pada tahun 2018, penelitian tersebut bertujuan untuk merancang  *mold*  berbentuk spesimen uji  *shrinkage*  sesuai standar ASTM D955 untuk mesin injeksi Haitian MA 900/260e. Material yang digunakan adalah dua jenis material biokomposit, material pertama menggunakan campuran 85%  *polypropylene* , 5%  *Maleic Anhydride Polypropylene (MAPP)* , 10% serat sisal, sementara material kedua menggunakan 85%  *polypropylene* , 5%  *Maleic Anhydride Polypropylene (MAPP)* , 10% sekam padi.

Perancangan dimulai dengan memilih bentuk spesimen  *shrinkage*  lalu menentukan  *layout cavity*  sesuai dengan geometri yang digunakan, selanjutnya ditentukan saluran injeksi, pin ejektor,  *pressure drop* , dan  *clamping force* . Setelah menentukan parameter-parameter perancangan, dilakukan simulasi injeksi menggunakan  *software*  Autodesk Moldflow Adviser, kemudian rancangan digambarkan dalam gambar teknik secara detail sebagai panduan proses manufaktur dengan mesin CNC.



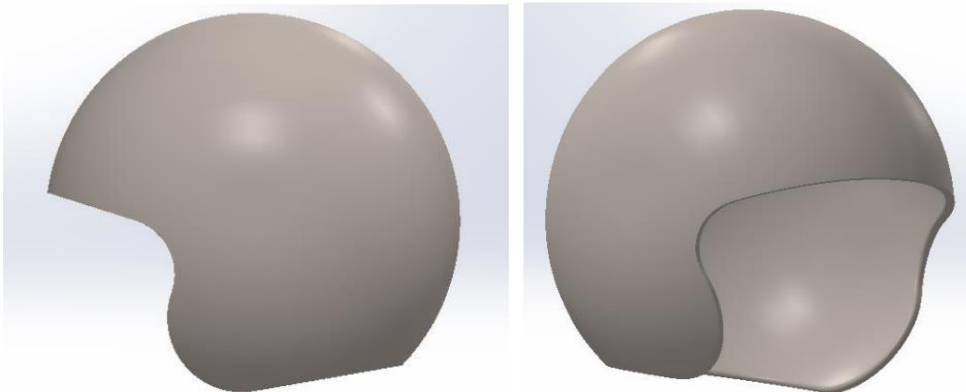
Gambar 2.1 *Assembly* Cetakan Spesimen Shrinkage ASTM D955 (Gumilar, 2018)

Dari hasil perancangan mesin injeksi HAITIAN MA900/260e dapat mencetak 2 spesimen dengan besar  *clamping force*  sebesar 7079.5 kg, tekanan injeksi 86.1 MPa dan waktu injeksi 0.35 s. Terdapat 9 komponen cetak yang perlu diproses manufaktur menggunakan mesin CNC YCM MV-106A. Setelah komponen dari cetakan dibuat dan dirakit seperti pada gambar 2.1, kemudian dilakukan percobaan cetak pada mesin injeksi menggunakan material  *polypropylene*  dan biokomposit.

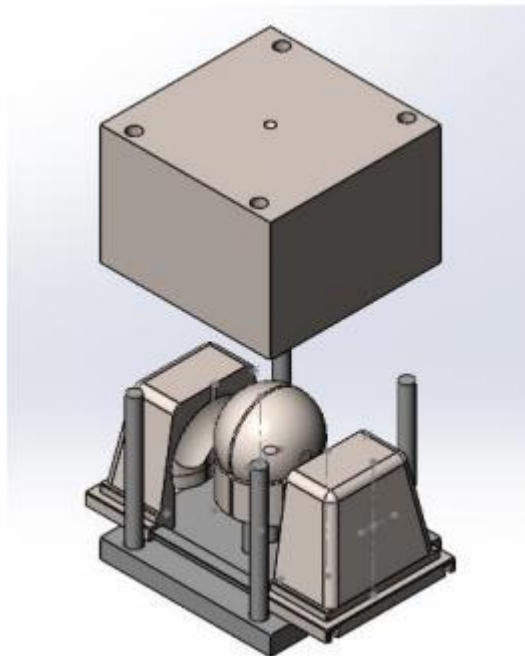
Hasil percobaan cetak tersebut didapatkan spesimen yang dapat dianalisis penyusutannya namun terdapat beberapa kekurangan pada sistem ejski produk sehingga *cycle time* tidak optimum dan diperlukan beberapa perbaikan dengan penambahan spring dan penghalusan pada area ejski.

## 2. Rancangan Cetakan Sungkup Helm SNI 1811-2007 Berbahan Biokomposit *Banana Fiber* dan *Polypropylene*

Penelitian berjudul Rancangan Cetakan Sungkup Helm SNI 1811-2007 Berbahan Biokomposit *Banana Fiber* dan *Polypropylene* ditulis oleh Muhammad Jauharul Wafi Taqiyyudin pada tahun 2023, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan material biokomposit *banana fiber* dan *polypropylene* jika digunakan sebagai material penyusun helm dengan standar SNI 1811-2017 dan untuk mengetahui rancangan cetakan sungkup helm yang sesuai dengan desain yang sudah dibuat. Desain sungkup helm dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Desain Sungkup Helm SNI 1811-2007 (Taqiyyudin, 2023)

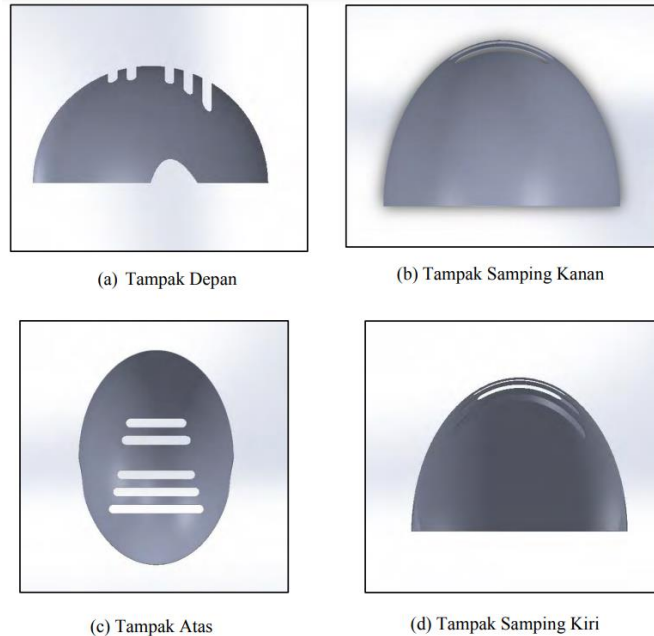


Gambar 2.3 Desain Cetakan Sungkup Helm (Taqiyyudin, 2023)

Cetakan yang dirancang dapat dilihat pada gambar 2.3, cetakan membutuhkan *clamping force* sebesar 1367,96 kN, dengan waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus adalah 129,38 detik. Hasil simulasi proses injeksi dengan Autodesk Moldflow didapatkan *filling time* 12,43 detik, dengan *confidence of fill* 100%, *injection pressure* mencapai 8,789 MPa, kemudian untuk *cooling time* 0,7668 detik.

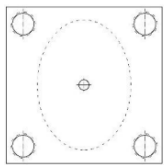
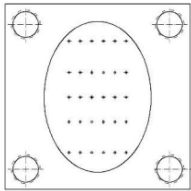
### 3. Perancangan Cetakan Helm Arung Jeram dengan Proses *Mold Injection*

Penelitian berjudul Perancangan Cetakan Helm Arung Jeram dengan Proses *Mold Injection* ditulis oleh Haris Fadillah Alhuda pada tahun 2015. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh desain cetakan helm arung jeram yang sesuai standar Federasi Arung Jeram Indonesia (FAJI) menggunakan material HDPE dengan hasil desain helm seperti gambar 2.4.



Gambar 2.4 Desain Helm Arung Jeram (Alhuda, 2015)

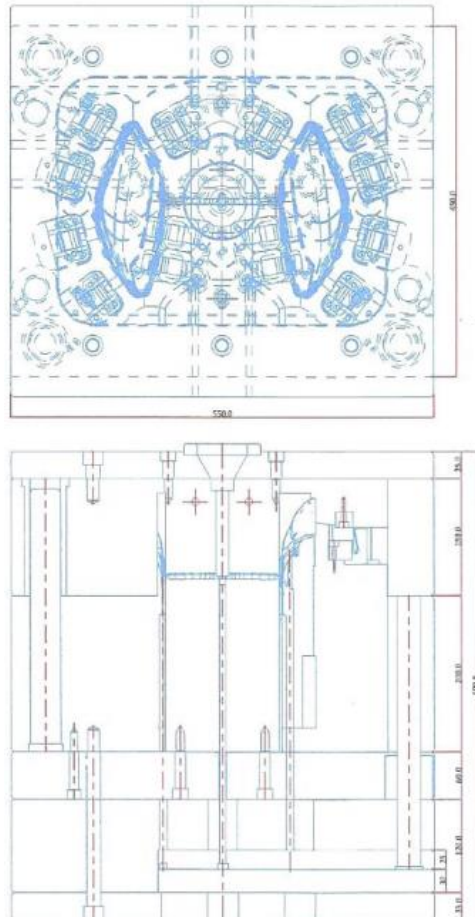
Cetakan yang dirancang memiliki jumlah *cavity* satu buah dengan perhitungan untuk *clamping force* diperoleh sebesar 26,226 kN. Proses injeksi dilakukan dengan simulasi menggunakan Autodesk Moldflow dengan parameter injeksi untuk *mold temperature* 43°C, *melt temperature* 246°C, *injection time* 0,8 detik, dan *maximum injection pressure* 180 MPa. Hasil simulasi proses injeksi diperoleh *fill time* 1,469 detik dan *injection pressure* 111,7 MPa. Untuk pembuatan cetakan menggunakan proses *milling* dan *boring* dengan mesin *Computerized Numerical Control (CNC)* dengan rincian proses pemesinan cetakan seperti pada gambar 2.5.

No	Nama Bagian	Proses Pengerjaan	Jumlah
1	<i>Cavity Plate A</i> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Milling:               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Pembuatan cavity helm dengan ukuran 250mm x 180mm x 130mm.</li> <li>b. Pembuatan saluran pendingin</li> </ol> </li> <li>2. Bor:               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Pembuatan lubang dengan <math>\phi 12\text{mm}</math> x 125mm untuk pemasangan sprue bush.</li> <li>b. Pembuatan lubang <math>\phi 42\text{mm}</math> x 125mm untuk pemasangan baut.</li> </ol> </li> <li>3. Ulir: Pembuatan ulir M8</li> </ol>	<p>1</p> <p>1</p> <p>4</p> <p>4</p>
2	<i>Cavity Plate B</i> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Milling:               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Pembuatan cavity helm dengan ukuran 250mm x 180mm x 130mm</li> </ol> </li> <li>2. Bor:               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Pembuatan lubang dengan <math>\phi 3\text{mm}</math> x 141,8mm untuk <i>ejector pin</i>.</li> </ol> </li> <li>3. Ulir: Pembuatan Ulir M8</li> </ol>	<p>1</p> <p>31</p> <p>4</p>

Gambar 2.5 Tabel Proses Pemesinan Cetakan Helm Arung Jeram (Alhuda, 2015)

#### 4. Perancangan Cetakan *Injection Molding* Untuk Mika Lampu Sein Depan Yamaha Jupiter Z 2010

Penelitian berjudul Perancangan Cetakan *Injection Molding* Untuk Mika Lampu Sein Depan Yamaha Jupiter Z 2010 ditulis oleh Yohanes Pandu Tian Laksmna pada tahun 2017, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh desain cetakan untuk mika lampu sein depan Yamaha Jupiter Z 2010.



Gambar 2.6 Rancangan Cetakan Mika Lampu Sein Depan Yamaha Jupiter Z (Laksmna, 2017)

Hasil yang didapat dari perencanaan cetakan ini adalah gambar 3D CAD *assembly* dan *explode* serta gambar 2D teknik produk seperti pada gambar 2.6 dengan dimensi sebesar 274,96×227,38×93,72 mm serta spesifikasi seluruh komponen utama *mold*. Jenis *mold base* yang digunakan menggunakan *two plate* dan jumlah *cavity* yang digunakan adalah 2 buah (*mirror part*). Parameter injeksi yang didapat dengan bantuan simulasi *molding window* adalah *Mold Temperature* sebesar 78,89°C, *Melt Temperature* sebesar 245°, *Injection Time* selama 2,405 detik, dan *Maximum Injection Pressure* sebesar 173,380 MPa.

#### 2.2 Helm Keselamatan (*Safety Helmet*)

Konsep perlindungan kepala berawal dari berabad-abad yang lalu, awalnya perlindungan kepala berupa helm digunakan untuk keperluan berperang, ketika terjadi perang dunia, helm militer perlu terbuat dari bahan yang kuat dan memiliki sistem dukungan yang membuat penggunaanya merasa nyaman dan terlindungi dari dampak, kemudian penggunaan helm mulai merambah ke sektor industri, lahirnya helm keselamatan dapat ditelusuri ke industri pertambangan, saat industrialisasi di abad ke-19, pekerja di industri yang berkembang seperti konstruksi, pertambangan, dan manufaktur menghadapi bahaya keselamatan setiap hari, untuk menanggapi bahaya tersebut, Edward W. Bullard di Amerika Serikat melakukan inovasi terkait

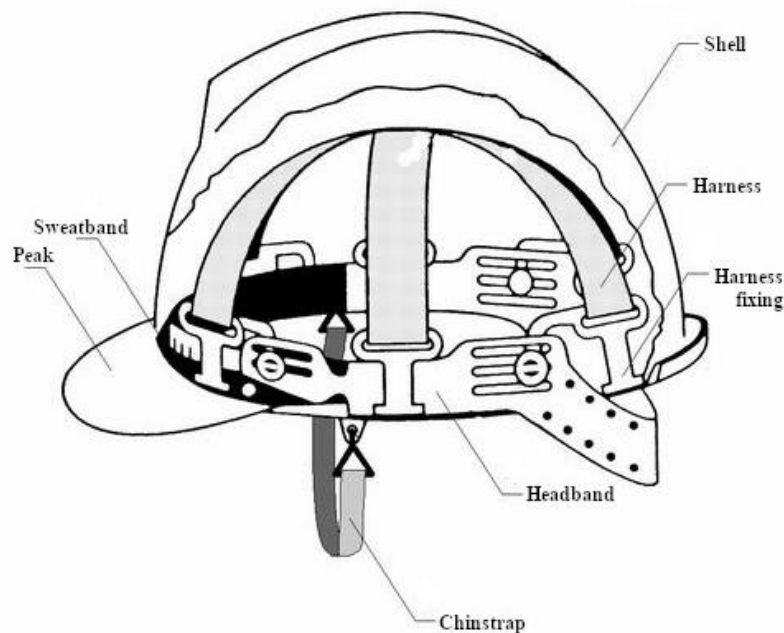


masalah keselamatan, pengenalan Bullard tentang "Hard Boiled Hat" pada tahun 1919 menandai langkah besar dalam perlindungan kepala dan menjadi awal baru keselamatan pekerja. Seiring berkembangnya teknologi, beberapa badan standarisasi di dunia menetapkan standar keselamatan untuk helm. Pada tahun 1970, The Snell Memorial Foundation menetapkan standar keselamatan pertama. (Wendy Blaxland, 2010). Kini beberapa badan yang menetapkan standar untuk helm keselamatan diantaranya adalah International Organization for Standardization (ISO), British Standard (BS), dan American National Standards Institute (ANSI).



Gambar 2.7 Helm Keselamatan (amazon.com)

American National Standards Institute menetapkan standar untuk helm keselamatan dengan penamaan ANSI Z89.1, standar ANSI Z89.1 diperbaharui terakhir kali pada tahun 2014, pada standar ini disebutkan bahwa helm adalah sebuah perangkat yang digunakan di kepala dengan tujuan untuk memberikan perlindungan terhadap dampak, benda yang jatuh/terbang, dan kejutan listrik. Jenis helm berdasarkan standar ini terbagi menjadi dua yaitu Type I dan Type II dimana yang membedakan dua jenis ini adalah pada pengujian kekuatan helm, standar Type I mewajibkan pengujian dampak pada bagian atas kepala untuk mengurangi dampak bahaya dari arah atas kepala sementara standar Type II mewajibkan pengujian dampak ke bagian samping helm untuk mengurangi bahaya dari dampak ke arah atas sekaligus dampak dari arah samping kepala.



Gambar 2.8 Komponen Helm Keselamatan (Jachowicz, 2020)

Sebuah helm keselamatan sesuai standar ANSI Z89.1 sendiri sekurang-kurangnya terdiri dari *shell*, *harness*, dan *headband*. *Shell* atau sungkup adalah bagian terluar dari sebuah helm, fungsi utamanya adalah untuk memberikan perlindungan bagi pengguna helm dengan mengurangi gaya dari benda yang mengenai kepala pengguna helm, bergantung pada produsennya, desain sungkup dapat ditambahkan dengan fitur tambahan seperti *peak*, *brim*, ventilasi, *chin strap*, maupun perangkat tambahan untuk perlindungan mata, wajah, atau telinga. *Harness* adalah bagian dalam dari helm yang dikencangkan ke bagian sungkup dan tersusun dalam suatu sistem tali yang terbuat dari material *woven bands* atau *polyethylene*, *harness* berfungsi untuk menyerap dampak dari sungkup dan disebar ke seluruh bagian kepala pengguna helm, hal ini akan meminimalisir dampak yang terjadi pada kepala pengguna helm. *Headband* adalah bagian yang melingkar pada sekeliling kepala dan bersama dengan *harness* akan membuat helm menjadi stabil ketika digunakan.

### 2.3 Material Plastik

Material plastik diklasifikasikan menjadi jenis plastik *thermosetting*, *thermoelast*, dan *thermoplastic*. *Thermosetting* atau duroplast merupakan jenis plastik dengan sifat keras, kuat, dan tidak mudah larut dalam cairan pelarut contohnya *phenolic resin*, *melanine resin*, *formadehyde resin*. *Thermoelast* atau elastomer merupakan jenis plastik yang memiliki sifat elastis seperti karet, sementara jenis *thermoplastic* atau plastomer merupakan jenis plastik yang apabila diberikan gaya dapat berubah bentuknya sesuai dengan arah gaya, pada temperatur kamar gaya lekat antar molekul relatif besar dan jika temperatur naik maka gaya lekat molekul akan merenggang dan menjadi elastis, contoh material *thermoplastic* adalah *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), dan *polyvinyl chloride* (PVC).

*Polypropylene* atau umum disebut PP merupakan salah satu material plastik dalam jenis *thermoplastic* yang sering digunakan di industri manufaktur. PP memiliki elastisitas yang baik dan ketangguhan tinggi, sehingga tidak mudah patah atau rusak. Dengan kepadatan yang rendah namun tetap kuat, PP menghemat biaya produksi dan distribusi. Material ini juga tidak mudah menyerap air, membuatnya tahan terhadap korosi, jamur, dan bakteri. Keunggulan lainnya adalah kemudahan dalam proses pembentukan, karena PP dapat dilelehkan dan dibentuk kembali tanpa banyak degradasi, menjadikannya ideal untuk berbagai proses manufaktur. Tabel 2.1 berikut merupakan sifat material *polypropylene* berdasarkan Autodesk Moldflow.

Tabel 2.1 Sifat Material *Polypropylene* (Autodesk Moldflow, 2012)

Properties	Value
Solid density (g/cm <sup>3</sup> )	0,89415
Melt density (g/cm <sup>3</sup> )	0,73754
Elastic modulus (MPa)	1574,77
Poissons ratio	0,44
Shear modulus (MPa)	523,9
Average elastic modulus (MPa)	1552,82
Average nominal shrinkage (%)	1,261

### 2.4 Serat Sisal

Berdasarkan artikel Direktorat Jenderal Perkebunan, Sisal atau Agave sisalana adalah tanaman penghasil serat alam yang sangat potensial. Seratnya kuat, tahan terhadap kadar garam tinggi, dapat diperbaharui, dan ramah lingkungan. Tanaman ini banyak ditemukan di kepulauan Nusa Tenggara seperti Sumbawa dan Lombok. Serat sisal diambil dari daun sisal. Sisal tumbuh sepanjang tahun dan dapat dipanen setelah 2,5 tahun sejak ditanam, tanaman sisal dapat dimanfaatkan dalam jangka waktu 4 sampai 6 tahun (Hutten, 2016). Serat sisal kini cukup banyak digunakan sebagai campuran pada material biokomposit untuk berbagai kebutuhan industri.

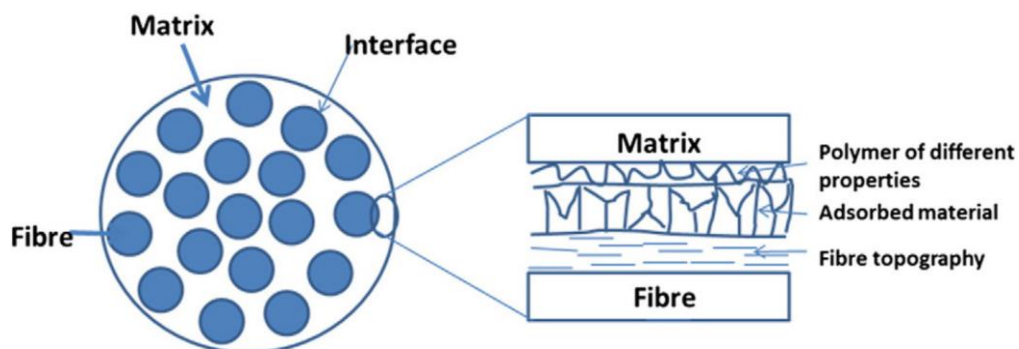
Berdasarkan data serat yang disediakan oleh Autodesk Moldflow Adviser dengan tahun pengujian pada tahun 2010, tabel 2.2 berikut ini merupakan sifat-sifat yang dimiliki oleh serat sisal.

Tabel 2.2 Sifat Material Serat Sisal (Autodesk Moldflow, 2010)

Density ( $\rho$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	1,25
Specific heat (Cp) (J/kg°C)	156
Thermal conductivity (k) (W/m°C)	0,065
<b>Mechanical properties data</b>	
Elastic modulus, 1st principal direction (E1) (MPa)	15000
Elastic modulus, 1st principal direction (E2) (MPa)	1850
Poissons ratio ( $\nu_{12}$ )	0,25
Poissons ratio ( $\nu_{23}$ )	0,353
Shear modulus (G12) (MPa)	126
<b>Coefficient of thermal expansion (CTE) data</b>	
Alpha1 (1/°C)	$1,68 \times 10^{-5}$
Alpha2 (1/°C)	$7,08 \times 10^{-5}$
<b>Tensile strength data</b>	
Parallel to major axis of fiber (MPa)	550
Perpendicular to major axis of fiber (MPa)	67,8
Aspect ratio (L/D)	100

## 2.5 Biokomposit

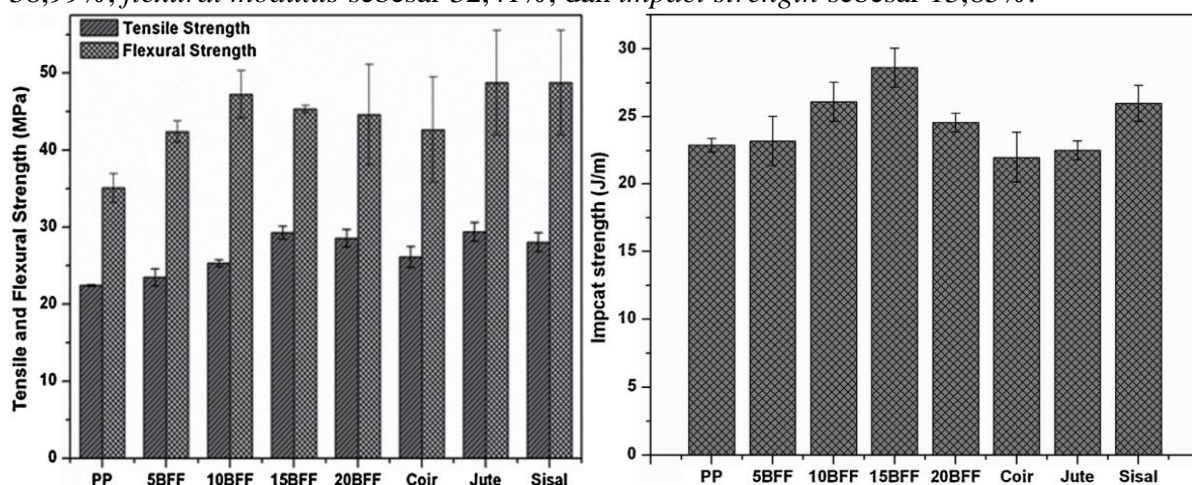
Biokomposit merupakan gabungan dari kata bio dan komposit, bio dalam biokomposit diartikan sebagai bahan serat yang berasal dari makhluk hidup baik itu tumbuhan, binatang, atau organisme lainnya, sementara komposit adalah bahan yang tersusun atas dua bahan atau lebih yang memiliki sifat yang berbeda dari bahan pembentuk/utamanya yang digabungkan menjadi satu oleh suatu matriks. Sehingga biokomposit dapat didefinisikan sebagai material komposit yang tersusun dari serat alami sebagai penguat dan polimer sebagai matriks dengan contoh seperti pada gambar 2.9. Pada penelitian tugas akhir ini serat alami yang digunakan adalah serat sisal sementara polimer yang digunakan adalah *polypropylene*.



Gambar 2.9 Ilustrasi Biokomposit (Sethi dan Ray, 2015)

Menurut penelitian Sudhakara dkk., sifat mekanik *polypropylene* dapat ditingkatkan dengan menambahkan serat sisal sebagai penguat, proses pembuatan material dilakukan dengan membersihkan serat terlebih dahulu dengan *distilled water*, kemudian dikeringkan selama 24 jam, setelah itu serat diberikan perlakuan dengan 4% NaOH selama 5 jam pada suhu ruang

untuk mempertahankan rasio *liquid* 1:20. Serat kemudian dicuci dengan air sulingan sampai serat tidak menunjukkan adanya sisa NaOH dan dikeringkan menggunakan *vacuum oven* dengan temperatur 70°C selama 24 jam, setelah itu serat dipotong dengan kisaran panjang 5-10mm. Serat alam, MAPP dan PP dicampur dengan mesin *corotating twin-screw extruder* (PRISM, TSE 16TC, Thermoelectron Corporation), dengan temperatur barel dari *hopper* ke *die* berturut-turut 180°C, 185°C, 190°C, dan 190°C dan kecepatan *screw* 120 rpm, setelah proses ekstruder campuran tersebut dijadikan pelet, pelet tersebut kemudian dikeringkan di oven dengan temperatur 80°C sedikitnya selama 24 jam. Proses penginjeksian menggunakan mesin *injection molding* (WOOJIN SELXR CO.LTD) menjadi bentuk spesimen standar untuk pengujian sifat mekanik uji tarik dan uji impak. Temperatur *injection molding* 200°C dan tekanan 60 MPa. Kemudian dilakukan pengujian SEM, uji tarik dan uji impak. Sudhakara dkk. menemukan bahwa *polypropylene* dengan tambahan *serat sisal* 15 wt% memiliki peningkatan *tensile strength* sebesar 24,94%, *tensile modulus* sebesar 111,2%, *flexural strength* sebesar 38,99%, *flexural modulus* sebesar 32,41%, dan *impact strength* sebesar 13,85%.



Gambar 2.10 Sifat Mekanik Campuran Polypropylene dengan Serat Alam (Sudhakara dkk., 2013)

## 2.6 Perancangan dan Pengembangan Produk

Menurut Karl T. Ulrich dkk. proses adalah rangkaian langkah yang mengubah sekumpulan *input* menjadi sekumpulan *output*, sehingga proses pengembangan produk adalah rangkaian langkah atau aktivitas yang digunakan untuk merumuskan, merancang, dan memasarkan sebuah produk. Secara garis besar terdapat enam fase dalam proses pengembangan produk, diantaranya adalah *planning*, *concept development*, *system-level design*, *detail design*, *testing and refinement*, dan *production ramp-up*. Penelitian ini berada pada fase *concept development*, *system-level design*, dan *detail design*.

### 2.6.1 Concept Development

Pengertian konsep sendiri adalah deskripsi bentuk, fungsi, dan fitur produk dan biasanya disertai dengan seperangkat spesifikasi, analisis produk pesaing, dan justifikasi ekonomi proyek. Dalam tahap pengembangan konsep, dilakukan identifikasi target pasar kemudian konsep produk alternatif dihasilkan dan dievaluasi (*concept generation*), selanjutnya satu atau beberapa konsep dipilih untuk pengembangan dan pengujian lebih lanjut (*concept selection*).

Proses *concept generation* atau pembuatan konsep dipengaruhi oleh faktor internal, faktor eksternal, dan daftar kebutuhan. Menurut I Made Londen Batan, faktor internal yang mempengaruhi pembuatan konsep adalah dokumen, keinginan, harapan, ide, cita-cita, tugas, maupun tim pengembangan, sementara faktor eksternal berasal dari konsumen, pasar, industri, ahli, paten, jurnal, referensi, publikasi, katalog, dan diskusi lain-lain. Konsep yang sudah terbuat kemudian dikembangkan, metode pengembangan konsep dapat menggunakan dua

metode, yaitu model kombinasi dan model diagram morfologi. Pada model kombinasi, setiap komponen dari proses desain dibuatkan alternatif solusi, dari masing-masing solusi dibuatkan kombinasi solusi akhir menjadi sebuah konsep produk baru. Sedangkan model diagram morfologi adalah model pengembangan dengan memberikan beberapa alternatif solusi untuk memenuhi fungsi sub-bagian. Solusi yang dimaksud adalah konsep yang disusun masing-masing bagian dari produk yang harus dikembangkan. Secara sistematis model pengembangan ini memakai matriks.

Sub-bagian dengan fungsi	Ops			
	1	2	....	m
Sub-f <sub>j</sub>	Sol-f <sub>j</sub> 1	Sol-f <sub>j</sub> 2		Sol-f <sub>j</sub> m
Sub-f <sub>(j+1)</sub>	Sol-f <sub>(j+1)</sub> 1	Sol-f <sub>(j+1)</sub> 2		Sol-f <sub>(j+1)</sub> m
.....				
Sub-f <sub>n</sub>	Sol-f <sub>n</sub> 1	Sol-f <sub>n</sub> 2	.....	Sol-f <sub>n</sub> m

Gambar 2.11 Model Diagram Morfologi (I Made Londen Batan, 2012)

Dimana sub-f<sub>j</sub> adalah sub-bagian dengan fungsi tertentu dan sol-f<sub>nm</sub> adalah solusi untuk memenuhi fungsi n pada opsi ke m.

Setelah melalui proses pembuatan konsep, dilakukan pemilihan konsep dimana pada proses ini terdapat proses evaluasi konsep-konsep sehubungan dengan kebutuhan pelanggan dan kriteria lainnya, pemilihan konsep dapat menggunakan metode kuantitatif dengan mengumpulkan data dari konsumen.

### 2.6.2 System-level Design

Menurut Karl T. Ulrich dkk., fase *system-level design* mencakup penetapan susunan produk, penguraian produk menjadi komponen, termasuk desain awal komponen utama. Keluaran dari fase ini biasanya mencakup tata letak geometris produk, penentuan fungsi dari masing-masing komponen produk, dan diagram alir untuk proses perakitan akhir.

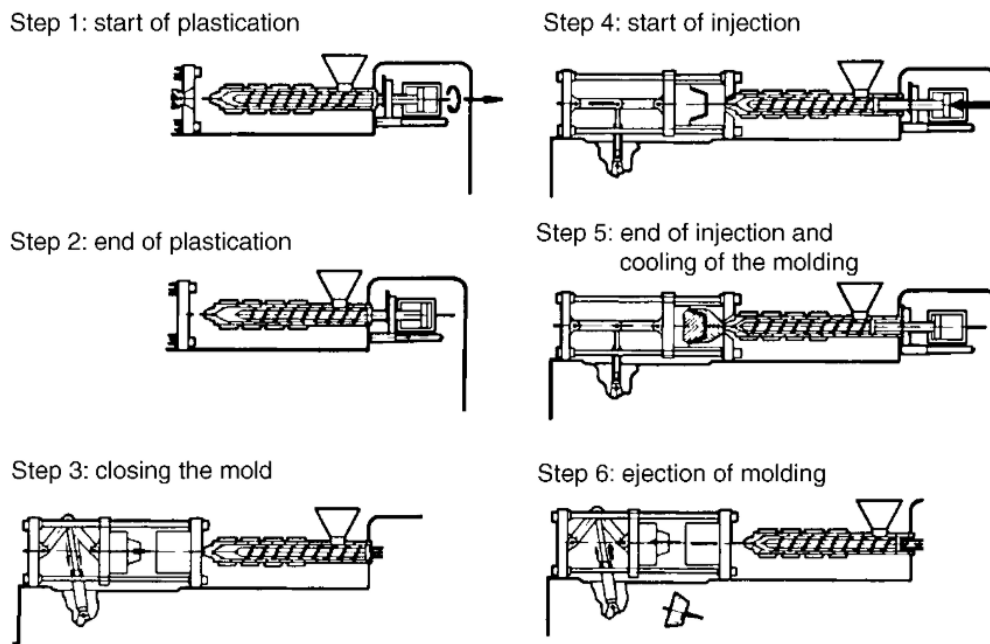
### 2.6.3 Detail Design

Menurut Karl T. Ulrich dkk., fase *detail design* mencakup pemberian spesifikasi geometri, bahan, dan toleransi dari semua komponen dalam produk serta pengidentifikasian semua komponen standar yang akan dibeli dari *supplier* serta pada fase ini rencana proses pemesinan dibuat dan direncanakan untuk setiap komponen yang akan dibuat dalam proses produksi. Keluaran dari fase ini adalah kontrol dokumen untuk gambar produk setiap komponen dan peralatan produksinya, spesifikasi komponen yang dibeli, dan rencana proses untuk pembuatan dan perakitan produk.

## 2.7 Injection Molding

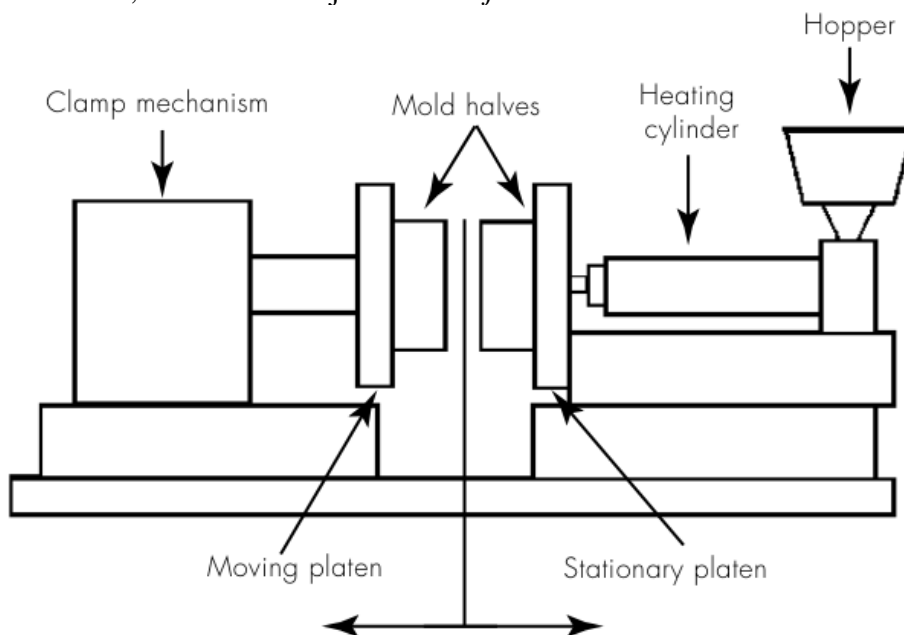
### 2.7.1 Gambaran Umum

Material plastik khususnya *thermoplastic* seperti *polyethylene* dan *polypropylene* dapat dibentuk dengan berbagai metode, salah satunya adalah dengan metode *injection molding*. Pada proses *injection molding*, material plastik dipanaskan hingga meleleh dalam silinder injeksi kemudian diinjeksikan ke dalam rongga cetakan dengan tekanan tinggi. Setelah diinjeksikan, plastik akan mengalami pendinginan di dalam cetakan sampai membeku dan membentuk sesuai dengan bentuk cetakan, kemudian produk dikeluarkan dari dalam cetakan.



Gambar 2.12 Tahapan Proses *Injection Molding* (Charles A. Harper, 2002)

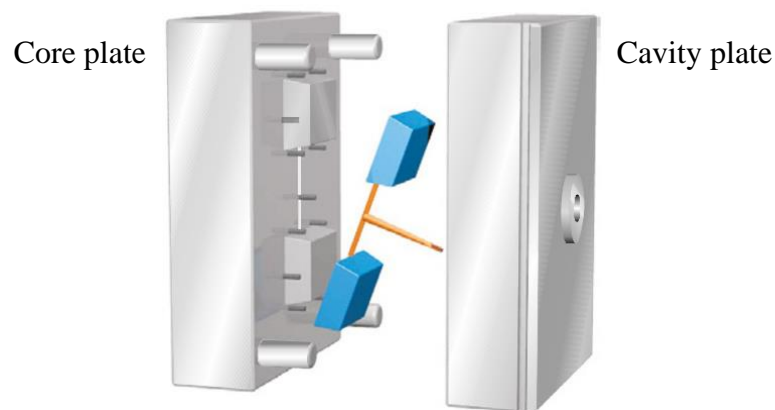
Secara garis besar mesin *injection molding* terdiri dari: material *hopper* atau pengisi material plastik; penampung, pemanas material plastik, dan pendorong material plastik leleh masuk ke cetakan yang menjadi satu pada silinder injeksi; *feeding system* atau sistem saluran material plastik leleh; dan cetakan injeksi atau *injection mold*.



Gambar 2.13 Mesin *Injection Molding* (Douglas M. Bryce, 1996)

### 2.7.2 Cetakan atau *Mold Base*

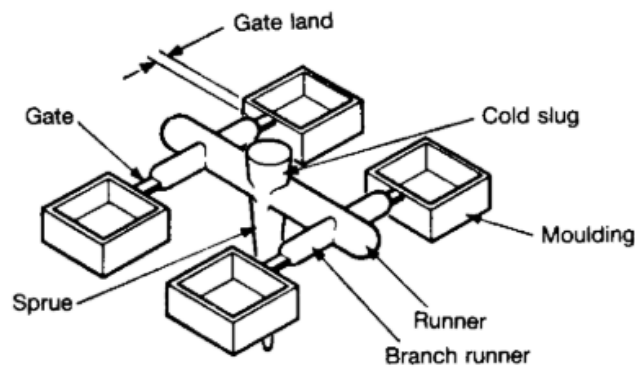
Supaya plastik dapat dibentuk menjadi bentuk yang diinginkan dengan metode *injection molding* dibutuhkan suatu cetakan atau *mold base*, *mold base* umumnya dibuat dari material besi seperti besi tuang atau besi paduan karena sifat ketahanan terhadap panas dan kemudahan dalam manufaktur. Terdapat aspek-aspek yang perlu diperhitungkan dalam merancang cetakan diantaranya adalah rancangan *cavity* atau rongga cetakan dan *feeding system* atau sistem saluran.



Gambar 2.14 Jenis Cetakan *Two Plate* (John P. Beaumont, 2019)

Jenis cetakan yang banyak digunakan di industri plastik adalah jenis *two plate mold*, disebut *two plate mold* karena cetakan terbagi menjadi dua bagian yaitu *core plate* dan *cavity plate*, pada *cavity plate* terdapat sistem saluran atau *feeding system*, sementara pada *core plate* terdapat *ejector pin* dimana *ejector pin* berfungsi untuk melepas produk yang sudah terbentuk.

Fungsi dari sistem saluran atau *feeding system* adalah agar material plastik dapat mengisi rongga cetakan dengan baik, oleh karena itu desain sistem saluran ini perlu diperhatikan. Yang termasuk dalam sistem saluran adalah *sprue*, *runner*, dan *gate*. *Sprue* merupakan tempat berpindahnya material plastik dari dalam silinder injeksi ke dalam cetakan, *runner* adalah penghubung antara *sprue* dengan *gate*, dan *gate* adalah saluran masuknya material plastik ke dalam *cavity*. Semua *mold base* atau cetakan akan menggunakan *sprue*, namun apabila cetakan didesain lebih dari 1 *cavity* maka sistem saluran dapat dirancang dengan menambahkan *runner* dan *gate*.



Gambar 2.15 Sistem Saluran *Injection Molding* (Charles A. Harper, 2002)

Desain *sprue* harus menyesuaikan dengan ukuran *nozzle* mesin agar tidak timbul kebocoran dan sisa material plastik (afal) pada *sprue* dapat lepas dengan mudah, agar afal dapat lepas dengan mudah maka lubang *sprue* dibuat dengan bentuk kerucut dengan minimal sudut  $1^\circ$ .

Rongga cetakan pada cetakan sebelum diinjeksi dengan plastik terisi dengan udara, udara harus keluar bersamaan dengan masuknya material plastik, karena itu cetakan harus diberikan saluran dengan desain tertentu untuk mengeluarkan udara yang disebut dengan *venting*. Menurut Siswoto, penempatan *venting* harus pada tempat yang merupakan akhir aliran material yang mengisi rongga cetakan atau pada pojok-pojok rongga cetakan yang memungkinkan udara terjebak, dimensi *venting* juga perlu dibuat tidak terlalu besar karena dapat menimbulkan cacat produk.

## 2.8 Perancangan Rongga Cetakan

### 2.8.1 Volume Cavity

Dalam merancang cetakan, perlu diperhatikan faktor penyusutan dari material plastik karena sifat plastik yang memuai ketika dipanaskan seperti pada tabel 2.3. Faktor penyusutan ini penting dalam merancang cetakan agar saat plastik mengisi rongga cetakan dan kemudian membeku, dimensi dari produk dapat menjadi sesuai dengan rancangan produk.

Tabel 2.3 Faktor Penyusutan Material (Siswoto)

Material	Faktor Penyusutan (%)	Density (gr/ml)
PVC	0,3 - 0,6	1,35
PS	0,45	1,05
PC	0,5 - 0,7	1,2
ABS	0,5	1,06 - 1,1
PE	1,5 - 2,5	0,95
PP	1,3 - 2,0	0,89 - 0,93

Dalam menentukan volume *cavity*, perlu diketahui volume produk dan faktor penyusutan dari material yang digunakan. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung volume *cavity*.

$$V_{cav} = V_p(1 + S\%) \quad (2.1)$$

Keterangan:

$V_{cav}$  : volume *cavity*

$V_p$  : volume produk

S% : faktor penyusutan

### 2.8.2 Number of Cavity

*Number of cavity* menentukan berapa banyak *cavity* yang dapat dirancang, salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan spesifikasi kapasitas injeksi mesin, berikut adalah persamaan untuk menentukan *number of cavity*.

$$NoC = \frac{Sv}{V_p + V_r} \quad (2.2)$$

Keterangan:

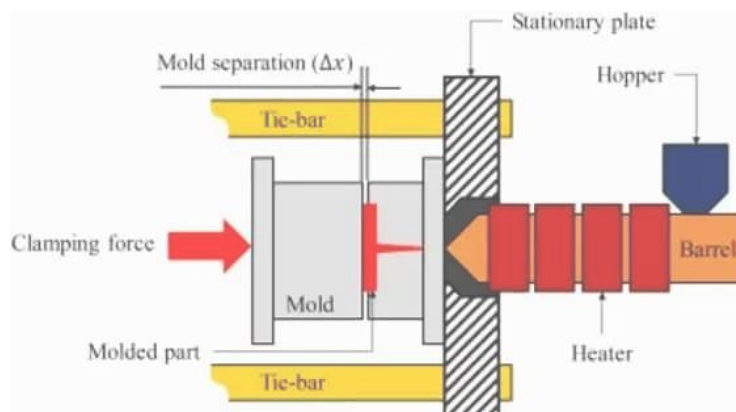
$Sv$  : kapasitas injeksi maksimal (cm<sup>3</sup>)

$V_p$  : volume produk (cm<sup>3</sup>)

$V_r$  : volume *runner* (cm<sup>3</sup>)

### 2.8.3 Clamping Force

Supaya material dapat masuk kedalam cetakan, material didorong oleh *screw* pada *barrel* dengan tekanan tertentu yang dihitung sebagai *injection pressure*, agar hasil cetakan sesuai dengan bentuk yang diinginkan maka cetakan perlu ditahan dengan gaya yang disebut *clamping force*.



Gambar 2.16 Clamping Force (zetarmold.com)



*Clamping force* atau  $F_{ac}$  diketahui setelah menentukan *clamping pressure* terlebih dahulu, berikut persamaan *clamping force* dan *clamping pressure*.

$$P_{ac} = f_s \times F_p \quad (2.3)$$

$$F_{ac} = P_{ac} \times A_p \times NoC \quad (2.4)$$

Keterangan:

$f_s$  : faktor tebal dinding ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )

$F_p$  : *flow path*, panjang saluran dari *gate* ke ujung terjauh *cavity* (cm)

$P_{ac}$  : *clamping pressure* (bar –  $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$F_{ac}$  : *clamping force* (kgf)

$A_p$  : luas proyeksi produk ( $\text{cm}^2$ )

NoC : jumlah rongga cetakan

S : tebal dinding produk (mm)

Tabel 2.4 Faktor Tebal Dinding (Siswoto)

Tebal Dinding S (mm)	Faktor Tebal Dinding $F_s$ ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )	Tebal Dinding S (mm)	Faktor Tebal Dinding $F_s$ ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )
0,5	100	1,3	18
0,6	70	1,4	15
0,7	57	1,5	13
0,8	45	1,6	11
0,9	35	1,7	10
1,0	30	1,8	9
1,1	26	1,9	8
1,2	21	2,0	7

#### 2.8.4 Waktu Siklus

Tahap selanjutnya adalah perhitungan waktu siklus, yang terdiri dari waktu gerak cetakan ( $t_b$ ), waktu injeksi ( $t_i$ ), waktu pengeluaran produk ( $t_E$ ), dan waktu pendinginan ( $t_{cool}$ ). Berikut ini perhitungan untuk waktu siklus.

$$t_{siklus} = t_b + t_i + t_E + t_{cool} \quad (2.5)$$

Waktu gerak cetakan ( $t_b$ ) terdiri dari waktu untuk membuka cetakan, mengeluarkan produk plastik dari cetakan, dan menutup kembali cetakan. Waktu gerak cetakan dihitung dari waktu gerak cetakan membuka ( $t_{bb}$ ) dan waktu gerak cetakan menutup ( $t_{bt}$ ) dengan persamaan berikut.

$$t_b = t_{bb} + t_{bt} \quad (2.6)$$

Dengan persamaan waktu gerak cetakan membuka ( $t_{bb}$ ) adalah:

$$t_{bb} = \frac{L}{V_{bb}} \quad (2.7)$$

Keterangan:

L : panjang gerak buka cetakan (mm)

$V_{bb}$  : kecepatan gerak buka cetakan (mm/s)

Sementara persamaan waktu gerak cetakan menutup ( $t_{bt}$ ) adalah:

$$t_{bt} = \frac{L}{V_{bt}} \quad (2.8)$$

Keterangan:

L : panjang gerak tutup cetakan (mm)

$V_{bt}$  : kecepatan gerak tutup cetakan (mm/s)

Waktu injeksi ( $t_i$ ) adalah waktu yang diperlukan dari posisi menutup sampai plastik cair mengisi penuh *cavity* dimana waktu injeksi ( $t_i$ ) adalah penjumlahan waktu injeksi aktual mesin ( $t_i^*$ ) dan waktu penahanan ( $t_h$ ) yang diasumsikan selama 3 detik. Berikut adalah persamaan waktu injeksi:

$$t_i = t_i^* + t_h \quad (2.9)$$

dimana:

$$t_i^* = \frac{Vp}{0,8Km_{mesin}} \quad (2.10)$$

Keterangan:

$Vp$  : volume produk ( $\text{cm}^3$ )

$Km_{mesin}$ : kapasitas injeksi mesin ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )

$$Km_{mesin} = \frac{Ps}{\rho} \quad (2.11)$$

Keterangan:

$Ps$  : *injection speed rate* ( $\text{g/s}$ )

$\rho$  : material density ( $\text{g/cm}^3$ )

Setelah material masuk dan mengisi *cavity* hingga membeku, produk dapat dikeluarkan dari cetakan, waktu yang diperlukan selama proses pengeluaran produk disebut waktu pengeluaran produk ( $t_E$ ). Waktu pengeluaran produk ( $t_E$ ) dibagi menjadi 3 bagian, yaitu: waktu mendorong produk ( $t_L$ ), waktu gerak *ejector* kembali ( $t_K$ ) dan waktu produk jatuh ( $t_j$ ) dengan persamaan berikut.

$$t_E = t_L + t_K + t_j \quad (2.12)$$

Untuk persamaan waktu mendorong produk ( $t_L$ ) adalah sebagai berikut.

$$t_L = \frac{L}{V_D} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$L$  : panjang jarak dorong produk (mm)

$V_D$  : kecepatan gerak dorong produk (mm/s)

Persamaan waktu gerak *ejector* kembali:

$$t_K = \frac{L}{V_K} \quad (2.14)$$

Keterangan:

$L$  : panjang jarak *ejector* kembali (mm)

$V_K$ : kecepatan gerak kembali *ejector* (mm/s)

Persamaan waktu produk jatuh:

$$t_j = \frac{h_j}{V} \quad (2.15)$$

dimana:

$$V = \sqrt{2gh_j} \quad (2.16)$$

Keterangan:

$V$ : kecepatan gerak jatuh produk (m/s)

$h_j$ : tinggi jatuh produk (m)

$g$  : percepatan gravitasi bumi ( $\text{m/s}^2$ )

Material	Melt temperature (°C)	Wall temperature (°C)	Demolding temperature (°C)
ABS	200–270	50–80	60–100
HDPE	200–300	40–60	60–110
LDPE	170–245	20–60	50–90
PA 6	235–275	60–95	70–110
PA 6.6	260–300	60–90	80–140
PBTP	230–270	30–90	80–140
PC	270–320	85–120	90–140
PMMA	180–260	10–80	70–110
POM	190–230	40–120	90–150
PP	200–300	20–100	60–100
PS	160–280	10–80	60–100
PVC rigid	150–210	20–70	60–100
PVC soft	120–190	20–55	60–100
SAN	200–270	40–80	60–110

Gambar 2.17 Parameter Injeksi Material (Menges, dkk., 2001)

Waktu pendinginan ( $t_{cool}$ ) adalah lama waktu untuk menurunkan suhu dinding produk dari suhu pemasukan plastik ke dalam rongga cetakan (*cavity*) ke suhu pengeluaran produk ideal, berikut adalah persamaan waktu pendinginan ( $t_{cool}$ ):

$$t_{cool} = \frac{S_{max}^2}{\pi^2 \lambda_p} \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_m - T_w}{T_e - T_w} \right) \quad (2.17)$$

Keterangan:

$S_{max}$ : tebal dinding maksimum produk (m)

$\lambda_p$ : difusivitas panas material plastik ( $m^2/detik$ )

$T_m$ : temperatur leleh material plastik (°C)

$T_w$ : temperatur dinding *cavity* (°C)

$T_e$ : temperatur pengeluaran produk (°C)

Material	Thermal Diffusivity ( $m^2/s$ )	Thermal Conductivity (W/m.K)	Electrical Conductivity (S/m)
PVC	$1.225 \times 10^{-7}$	0.16	$1 \times 10^{-14}$
PS	$1.18 \times 10^{-7}$	0.16	$2 \times 10^{-17}$
HDPE	$2.73 \times 10^{-7}$	0.53	$1 \times 10^{-16}$
LDPE	$1.70 \times 10^{-7}$	0.35	$1 \times 10^{-17}$
EVA	$1.74 \times 10^{-7}$	0.124	$1.99 \times 10^{-12}$
PMMA	$1.174 \times 10^{-7}$	0.19	$1 \times 10^{-14}$
PC	$1.599 \times 10^{-7}$	0.20	$5 \times 10^{-15}$
PA-11	$1.472 \times 10^{-7}$	0.30	$1.23 \times 10^{-12}$
Epoxy	$1.57 \times 10^{-7}$	0.195	$1 \times 10^{-15}$
PP	$0.96 \times 10^{-7}$	0.22	$1 \times 10^{-12}$

Gambar 2.18 Sifat Difusifitas Material Plastik (Tavman, 2015)

## 2.9 Autodesk Moldflow Adviser

Autodesk Moldflow Adviser bertujuan untuk melakukan simulasi rancangan  *mold*  dan parameter proses injeksi sebuah material. Selain itu Moldflow juga dapat digunakan untuk mengevaluasi perencanaan yang telah dilakukan dengan  *input*  data aktual yaitu jenis material yang digunakan dan spesifikasi mesin injeksi yang digunakan serta parameter-parameter proses untuk material  *thermoplastic*  tertentu. Moldflow dapat menampilkan berbagai macam analisis diantaranya sebagai berikut.

### 1. Gate Location

Analisis  *Gate Location*  pada Moldflow akan menganalisis bagian pada  *cavity*  untuk dijadikan lokasi  *gate*  masuknya material plastik, hasil analisis akan menunjukkan bagian yang paling baik hingga yang kurang baik untuk mengalirkan material plastik ke seluruh  *cavity* .

### 2. Molding Window

Moldflow menawarkan optimasi parameter proses injeksi dengan memasukkan perhitungan pada perancangan  *mold*  yaitu waktu injeksi, Moldflow secara otomatis akan menampilkan rentang parameter yang disarankan menurut Moldflow untuk melakukan proses injeksi.

### 3. Fill

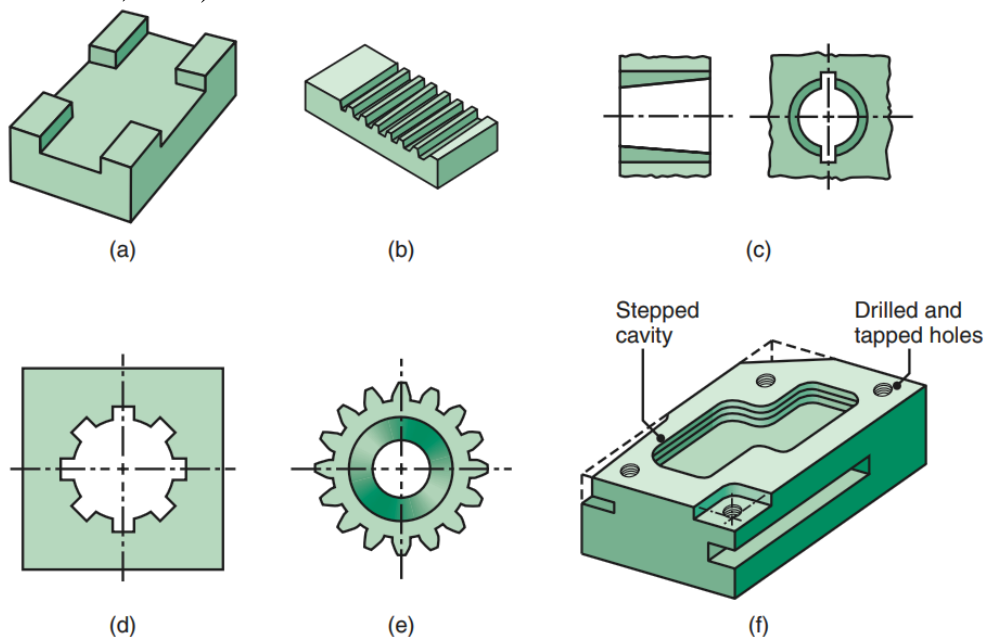
Dengan analisis  *Fill* , Moldflow akan menampilkan analisis apakah desain  *cavity*  dapat dicetak dengan kualitas yang dapat diterima, pada analisis ini ditampilkan hasil analisis seperti  *confidence of fill* ,  *quality prediction* ,  *fill time* ,  *injection pressure* ,  *sink marks* ,  *weld lines* .

## 2.10 Proses Pemesinan

Dalam pembuatan cetakan atau  *mold base*  diperlukan proses pemesinan dengan tujuan untuk membuat bentuk seperti lubang, ulir, maupun bentuk produk plastik yang akan dicetak, proses-proses yang umum digunakan seperti  *milling*  dan  *drilling* .

### 2.10.1 Milling

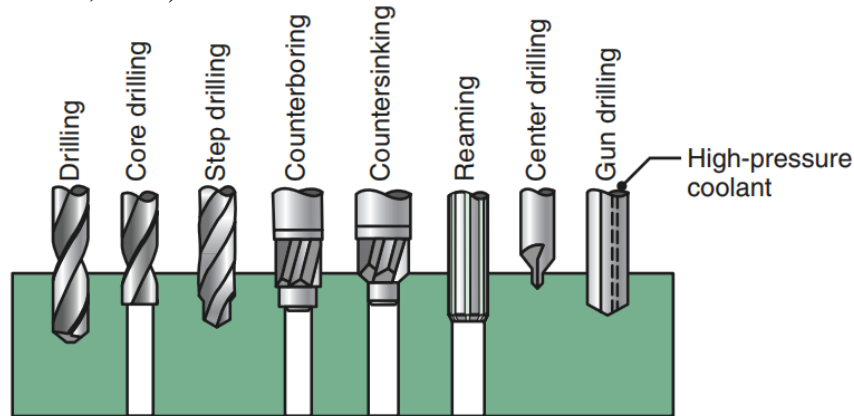
*Milling*  adalah salah satu proses pemesinan dimana  *cutter*  berputar dan benda kerja dicekam untuk membentuk geometri logam. Pada proses  *milling*  terdapat beberapa jenis  *cutter*  yang dapat digunakan sesuai dengan geometri yang akan dibentuk. (Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, 2009)



Gambar 2.19 Bentuk Yang Dapat Diproduksi Proses  *Milling*  (Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, 2009)

### 2.10.2 Drilling

*Drilling* adalah proses pemesinan untuk membuat lubang. Secara umum lubang yang dibuat mempunyai fungsi sebagai penghubung sehingga diperlukan suaian yang baik. Suaian tersebut dibuat dengan menggunakan beberapa jenis *cutter* sesuai dengan bentuk lubang yang akan dibentuk. Lubang selanjutnya dapat dibuat ulir dengan proses *tapping*. (Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, 2009)



Gambar 2.20 Jenis-jenis Proses *Drilling* (Serope Kalpakjian & Steven R. Schmid, 2009)

### 2.11 Toleransi

Toleransi dalam proses manufaktur adalah konsep penting yang memastikan setiap komponen diproduksi dengan tingkat presisi yang diperlukan untuk berfungsi dengan baik dalam sistem yang lebih besar. Toleransi dapat mengacu pada batasan dimensi maupun geometri. Dengan menetapkan toleransi yang tepat dapat mengurangi biaya produksi dan meningkatkan kualitas produk.

#### 2.11.1 Toleransi Linear

Suatu alat atau benda kerja sangat sulit untuk dibuat dengan ukuran yang tepat sesuai permintaan karena menyangkut ketelitian dalam proses pembuatannya. Hal ini menuntut kesadaran dari seorang perencana bahwa perlu diberikan dua batas penyimpangan ukuran yang diizinkan disebut toleransi.

Menurut Taufiq Rochim, ISO menetapkan 18 kualitas toleransi standar mulai dari IT 01, IT 0, IT 1 sampai dengan IT 16. Untuk kualitas 5 hingga 16 nilai toleransi standar dapat dihitung dengan satuan toleransi  $i$  yaitu:

$$i = 0,45D + 0,001D \quad (2.18)$$

dimana:

$i$  : dalam micrometer

$D$  : diameter nominal (mm)

Untuk menentukan kualitas toleransi standar IT 01, 0 dan 1 dapat digunakan persamaan pada tabel 2.5 dan kualitas toleransi 5-16 pada tabel 2.6.

Tabel 2.5 Kualitas Toleransi 01, 0, dan 1 (Taufiq Rochim, 2001)

	IT 01	IT 0	IT 1
Nilai dalam $\mu\text{m}$ untuk $D$ dalam mm	$0.3 + 0.008D$	$0.5 + 0.012D$	$0.8 + 0.020D$

Tabel 2.6 Kualitas Toleransi 5-15 (Taufiq Rochim, 2001)

Kualitas	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
Nilai	$7i$	$10i$	$16i$	$25i$	$40i$	$64i$	$100i$	$160i$	$250i$	$400i$	$640i$	$1000i$

### 2.11.2 Toleransi Geometri

Dalam proses pembuatan suatu produk (benda kerja) yang teliti, penyimpangan bentuk, posisi, lokasi dan penyimpangan putar terhadap suatu elemen geometri (titik, garis, permukaan, atau bidang tengah), harus secara jelas dibatasi dengan nilai toleransi tertentu. Toleransi yang membatasi penyimpangan bentuk, posisi, lokasi dan penyimpangan putar terhadap suatu elemen geometris disebut sebagai toleransi geometri.

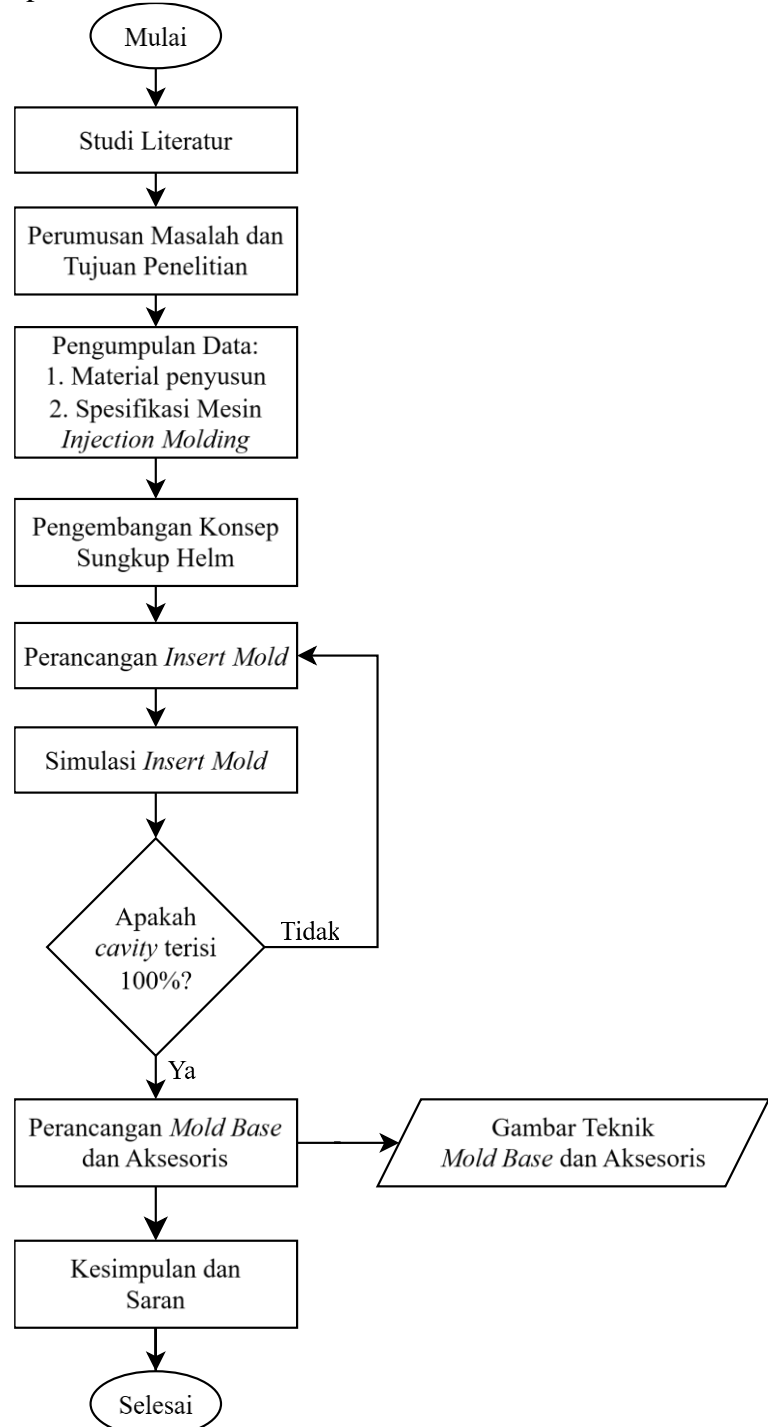
Tabel 2.7 Jenis Toleransi Bentuk dan Posisi dengan Simbolnya menurut ISO (Taufiq Rochim, 2001)

	Karakter yang dikontrol oleh toleransi	Simbol
Bentuk atau Elemen	Kelurusan ( <i>straightness</i> )	—
	Kerataan ( <i>flatness</i> )	▭
	Kebulatan ( <i>circularity/roundness</i> )	○
	Kesilindrisan ( <i>cylindricity</i> )	∅
	Ketelitian (kebenaran) bentuk garis ( <i>profile of any line</i> )	⤿
	Ketelitian (kebenaran) bentuk bidang ( <i>profil of any surface</i> )	⤿
Orientasi	Kesejajaran ( <i>parallelism</i> )	//
	Ketegaklurusan ( <i>perpendicularity</i> )	⊥
	Kesudutan/kemiringan ( <i>angularity</i> )	∠
Posisi	Posisi ( <i>position</i> )	⊕
	Konsentrisitas dan kesamaan-sumbu ( <i>concentricity &amp; coaxiality</i> )	⊙
	Kesimetrisan ( <i>symmetry</i> )	≡

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir dari proses pengembangan konsep sungkup helm sampai dengan perencanaan cetakan sungkup helm keselamatan.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

### 3.2 Tahapan Penelitian

Tahap-tahap yang dilaksanakan dalam perancangan cetakan sungkup helm untuk perkebunan kelapa sawit adalah sebagai berikut.

#### 1. Studi Literatur

Melakukan riset mengenai kesehatan dan keselamatan kerja pekerja perkebunan kelapa sawit, penggunaan helm keselamatan di lingkungan pekerja perkebunan kelapa sawit, pengembangan konsep desain helm keselamatan, material penyusun helm, proses *injection molding*, dan perancangan cetakan.

#### 2. Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Menentukan rumusan masalah dan tujuan penelitian berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan.

#### 3. Pengumpulan Data

Melakukan penelusuran terkait sifat material biokomposit serat sisal dan *polypropylene* serta spesifikasi mesin *injection molding*.

#### 4. Pengembangan Konsep Sungkup Helm

Melakukan pembuatan konsep menggunakan metode *concept development* yang melalui tahap *concept generation* dan *concept selection*.

#### 5. Perancangan Rongga Cetakan

Melakukan perancangan rongga cetakan meliputi pemilihan mesin, perhitungan jumlah *cavity*, perencanaan *layout* cetakan, dan waktu siklus berdasarkan data material penyusun dan spesifikasi mesin *injection molding*.

#### 6. Simulasi Rongga Cetakan

Melakukan simulasi proses injeksi pada Autodesk Moldflow Adviser untuk mengetahui hasil proses injeksi, tahap ini ditujukan untuk mengetahui keberhasilan proses injeksi, waktu siklus, *clamping force* yang dibutuhkan, dan menganalisis kebutuhan *venting*.

#### 7. Perancangan *Mold Base* dan Aksesoris

Hasil simulasi digunakan untuk merancang cetakan atau *mold base* yang sesuai dengan desain sungkup helm kemudian memilih aksesoris *mold base* lalu membuat gambar teknik *mold base* dan aksesoris.

#### 8. Kesimpulan dan Saran

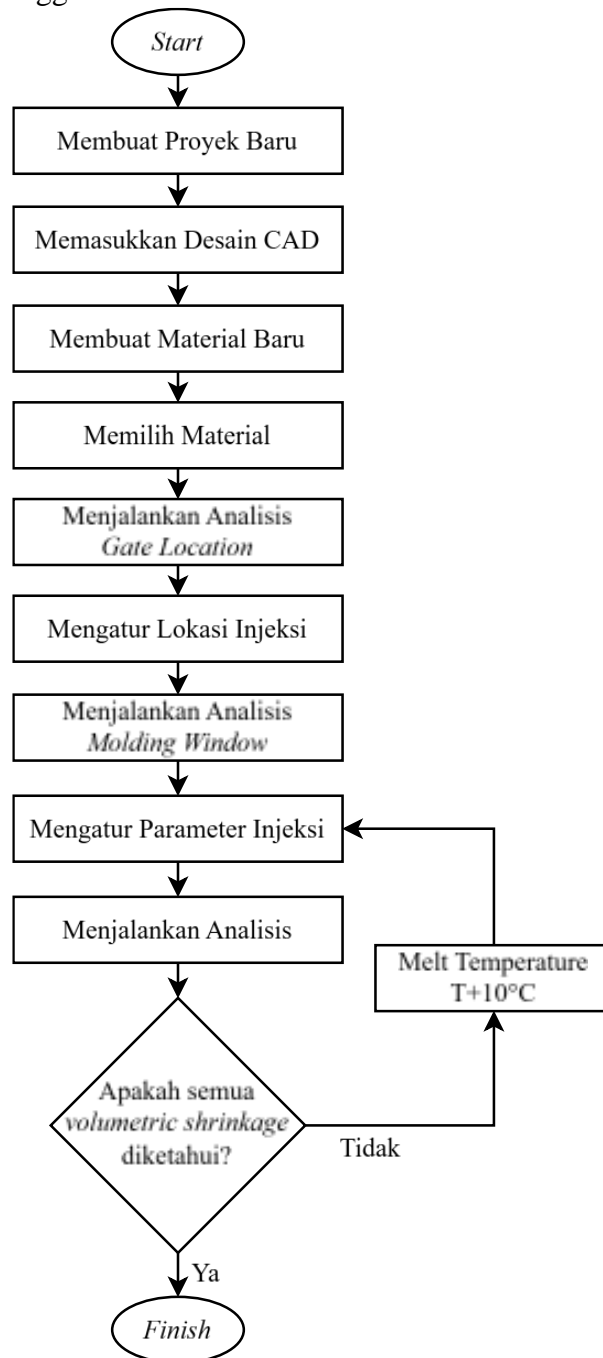
### 3.3 Pengembangan Konsep Sungkup Helm Keselamatan

Pada tahap pengembangan konsep sungkup helm keselamatan, dilakukan pengembangan dengan mengacu pada metode *concept development* menurut Karl T. Ulrich dkk. yang melalui proses *concept generation* dilanjutkan dengan proses *concept selection*. *Concept generation* menguraikan kebutuhan-kebutuhan pada produk yang dirancang sesuai dengan aspek-aspek yang diperlukan dalam bentuk tabel, sementara *concept selection* untuk memilih konsep yang paling baik dari antara opsi-opsi yang didapatkan pada proses *concept generation* dengan metode diagram morfologi.



### 3.4 Diagram Alir Simulasi Proses Injeksi

Berikut ini adalah penjabaran diagram alir dari simulasi proses injeksi helm keselamatan untuk perkebunan kelapa sawit menggunakan Autodesk Moldflow Adviser.



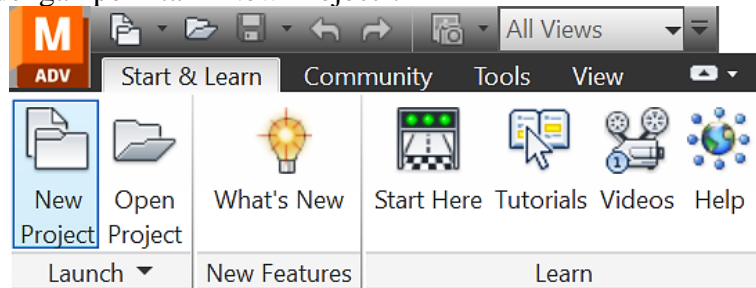
Gambar 3.2 Flowchart Simulasi Proses Injeksi

### 3.5 Langkah Simulasi Proses Injeksi

Langkah-langkah yang dilakukan untuk simulasi proses injeksi helm keselamatan adalah sebagai berikut.

1. Membuka *Software* Autodesk Moldflow Adviser
2. Membuat Project Baru

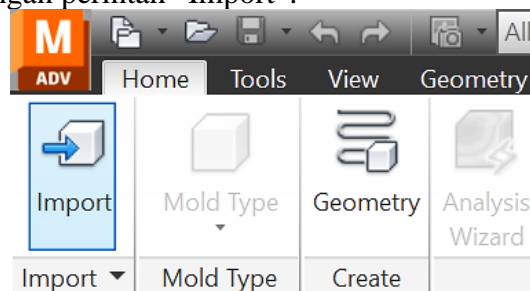
Untuk menjalankan simulasi baru pada Autodesk Moldflow Adviser, pertama membuat proyek baru dengan perintah “New Project”.



Gambar 3.3 Tampilan Membuat *New Project*

3. Memasukkan Desain CAD

Masukkan model yang sudah dirancang dengan SOLIDWORKS ke dalam Autodesk Moldflow Adviser dengan perintah “Import”.

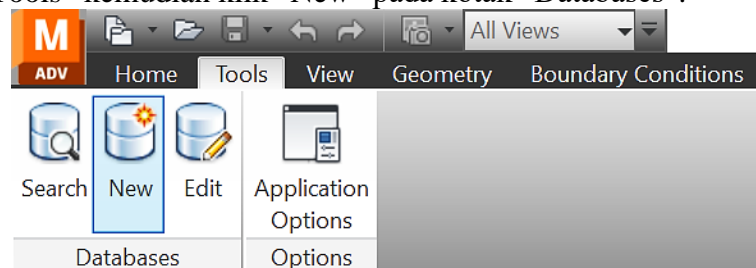


Gambar 3.4 Tampilan untuk Memasukkan Model CAD

4. Membuat Material Baru

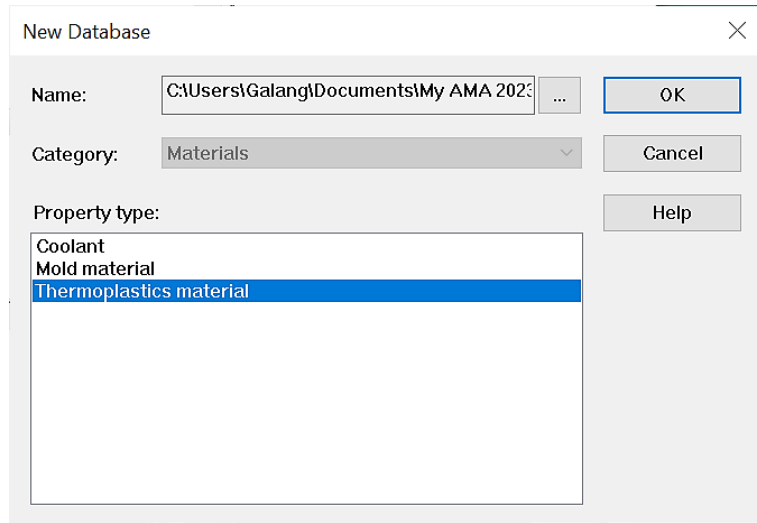
Untuk mendapatkan material dengan biokomposit pada Autodesk Moldflow Adviser, perlu dibuat *database* baru untuk menggabungkan data *polypropylene* dengan serat sisal. Tahapan membuat material baru sebagai berikut:

- a. Buka tab “Tools” kemudian klik “New” pada kotak “Databases”.



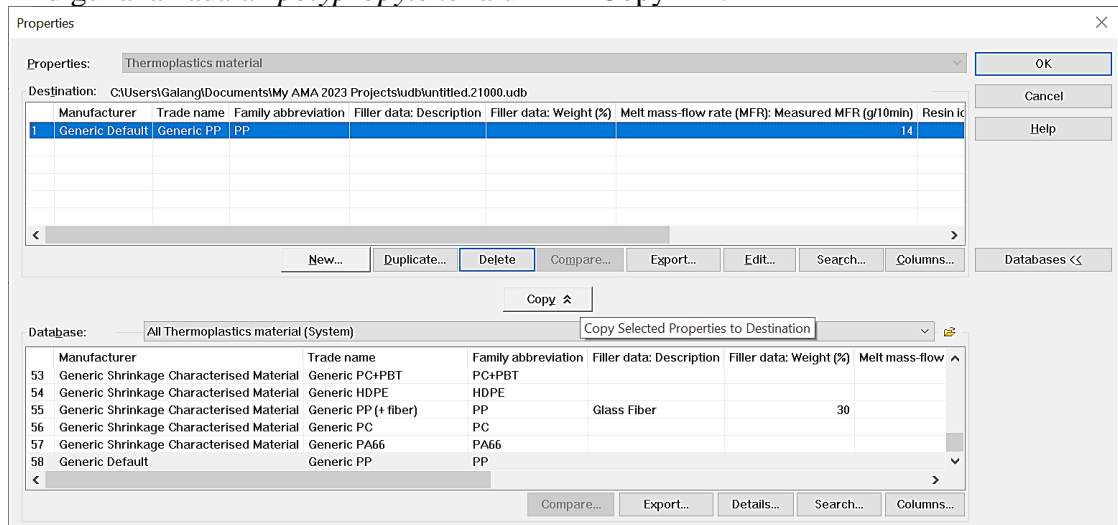
Gambar 3.5 Tampilan Tab Tools

- b. Pilih “Thermoplastic material” pada “Property type”, kemudian masukkan nama pada kolom “Name”.



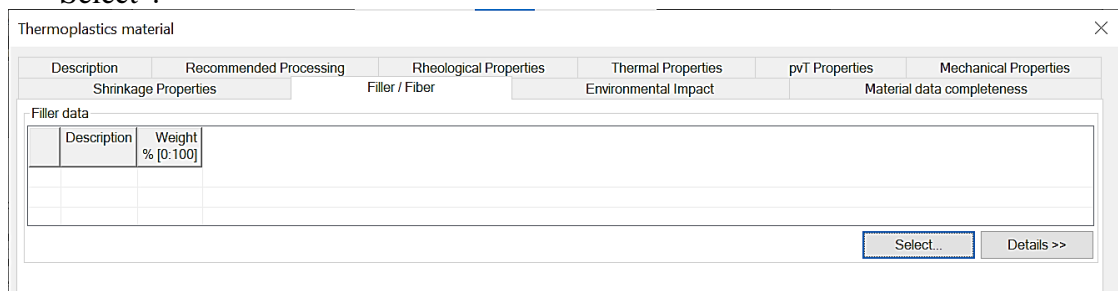
Gambar 3.6 Tampilan Membuat New Database

- c. Pada jendela “Properties” yang terbuka, klik “Database <<” untuk menampilkan seluruh data material yang tersedia, kemudian pilih Generic PP karena material yang digunakan adalah *polypropylene* lalu klik “Copy ^^”.



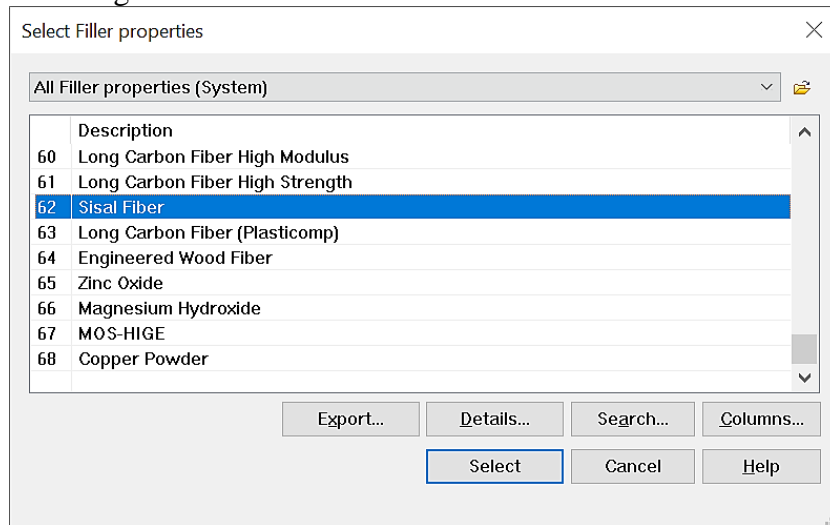
Gambar 3.7 Tampilan Memasukkan Material Plastik

- d. Setelah material Generic PP muncul pada kolom di bagian atas, selanjutnya klik “Edit”, pada jendela “Thermoplastics material” klik tab “Filler / Fiber” lalu klik “Select”.



Gambar 3.8 Tampilan untuk Memilih Serat

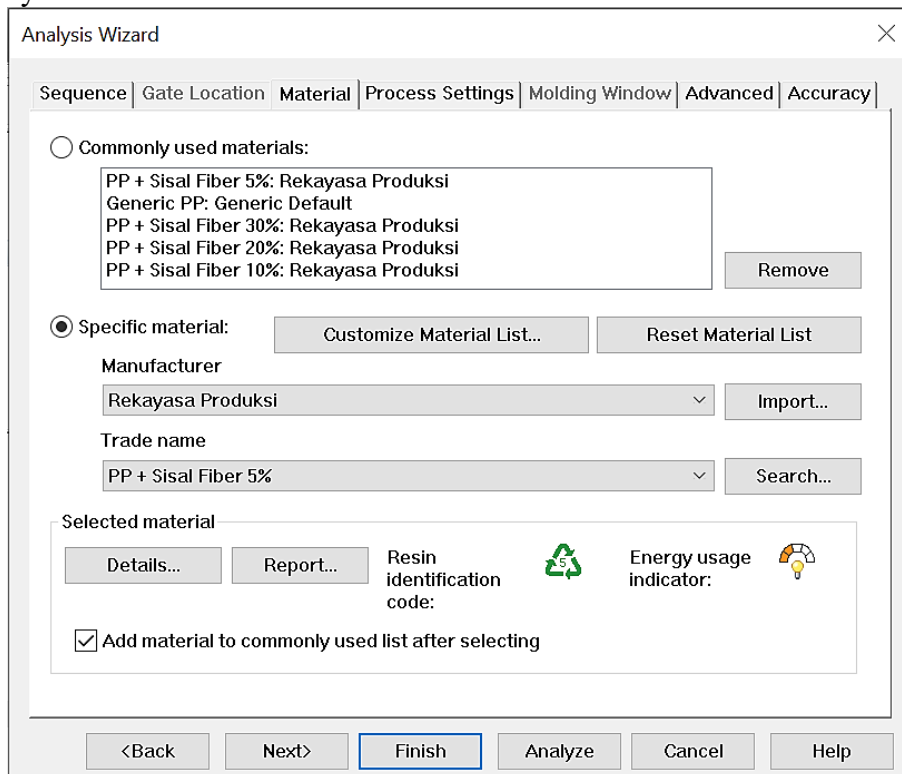
- e. Pada jendela “Select Filler properties”, material Sisal fiber dipilih, kemudian pada jendela “Thermoplastics material”, persentase serat yang digunakan dimasukkan pada kolom “Weight %”.



Gambar 3.9 Pilihan Serat yang Tersedia

#### 5. Memilih Material

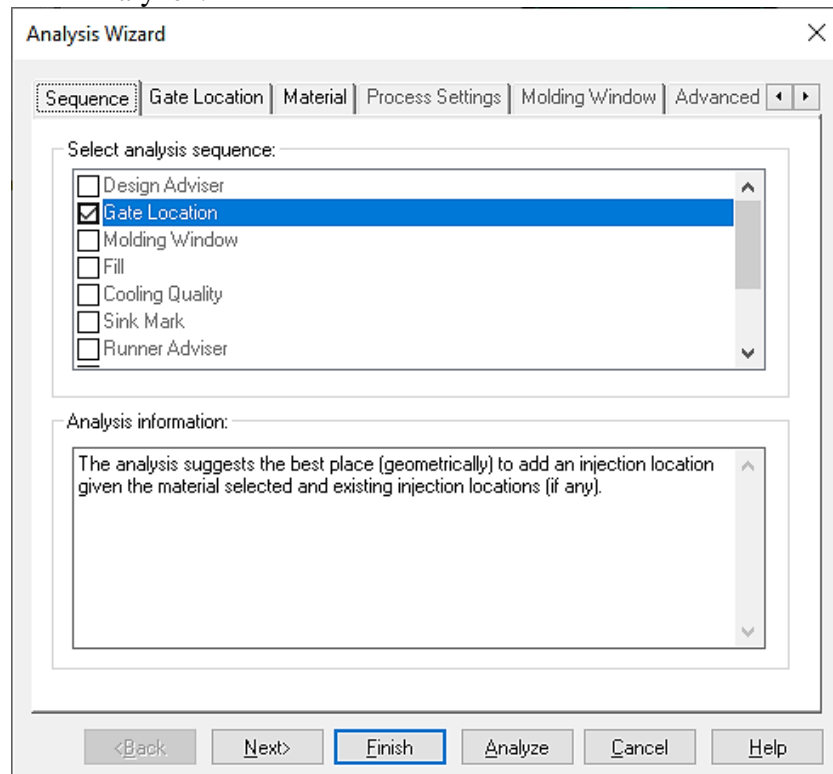
Material yang sudah dibuat pada *database* baru dapat dipilih pada tahap “Select Material” seperti pada gambar 3.5, pilih “Specific material:” kemudian material yang sudah dibuat dicari dengan membuka “Search”, setelah material ditemukan dan dipilih, selanjutnya klik “Finish”.



Gambar 3.10 Menu Pemilihan Material

## 6. Menjalankan Analisis *Gate Location*

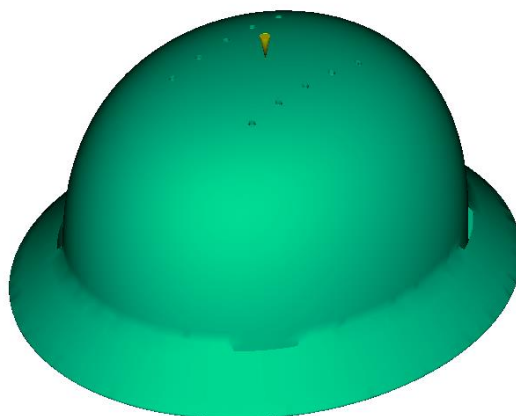
Analisis awal yang dipilih adalah “Gate Location” untuk mengetahui lokasi *gate* yang paling baik untuk bentuk  *mold*  yang dirancang pada kolom “Select analysis sequence”, kemudian klik “Analyze”.



Gambar 3.11 Tampilan *Analysis Sequence* untuk *Gate Location*

## 7. Mengatur Lokasi Injeksi

Lokasi injeksi ditentukan dengan membuka tab *Boundary Conditions* lalu memilih “*Injection Locations*”, selanjutnya lokasi injeksi disesuaikan dengan hasil analisis “*Gate Location*” pada tahap sebelumnya, lokasi injeksi ditandai dengan kerucut kuning pada Gambar 3.12.

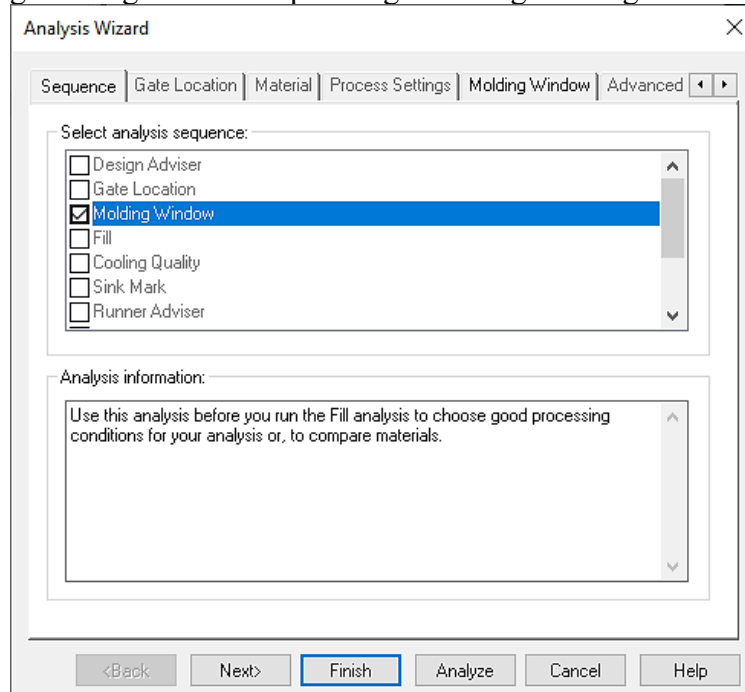


AUTODESK  
MOLDFLOW ADVISER

Gambar 3.12 Penentuan *Injection Locations*

## 8. Menjalankan Analisis *Molding Window*

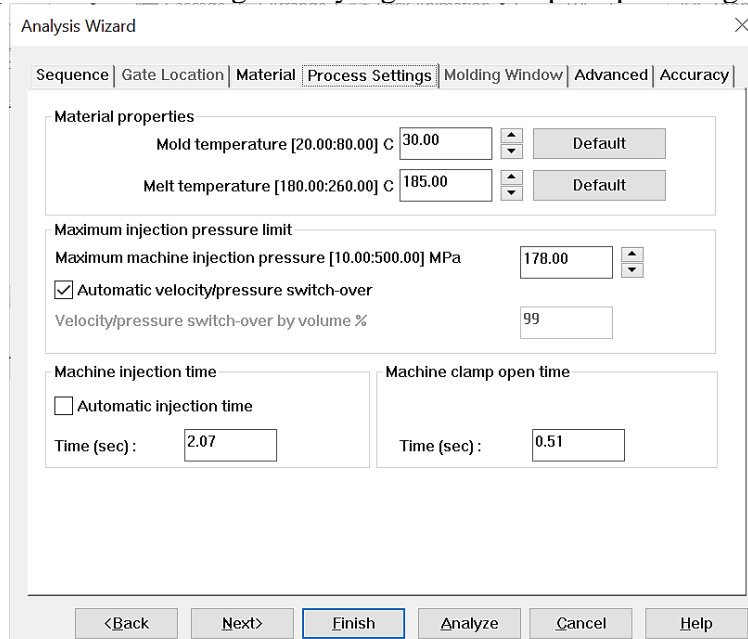
Menggunakan lokasi injeksi yang sudah ditetapkan, selanjutnya dijalankan analisis “Molding Window” untuk memperoleh parameter proses injeksi yang optimal menurut Autodesk Moldflow Adviser, kemudian dari hasil “Summary” ditampilkan rentang parameter yang baik digunakan sampai dengan kurang baik digunakan.



Gambar 3.13 Tampilan *Analysis Sequence* untuk *Molding Window*

## 9. Mengatur Parameter Injeksi

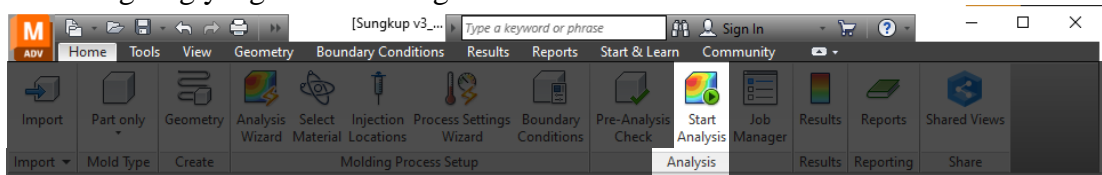
Parameter yang diperoleh dari spesifikasi mesin, perhitungan dan “Molding Window” dimasukkan pada menu “Process Settings”, parameter yang dimasukkan adalah “Mold temperature”, “Melt temperature”, “Maximum machine injection pressure”, “Machine injection time”, dan “Machine clamp open time”. Kemudian pada tab “Advanced” dimasukkan parameter “Cooling time” yang ditentukan pada perhitungan.



Gambar 3.14 Tampilan *Process Settings*

## 10. Menjalankan Analisis

Simulasi proses injeksi cetakan dijalankan sesuai dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan sebelumnya, hasil simulasi yang telah dijalankan akan ditampilkan secara langsung yang kemudian digunakan untuk analisis.



Gambar 3.15 Tampilan untuk Memulai Analisis

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB IV RANCANGAN SUNGKUP HELM DAN PERENCANAAN PROSES INJEKSI MOLD

### 4.1 Pengembangan Konsep Sungkup Helm Keselamatan

Salah satu sungkup helm keselamatan yang tersedia saat ini dan digunakan sebagai produk referensi adalah helm Asgard USA model V-Guard berukuran Medium dengan lingkaran dalam helm berukuran oval 660 mm, tebal 3 mm dan berat 276 gram. Produk referensi ini memiliki enam (6) buah lubang yang digunakan untuk memasang *harness* dan *chin strap* serta profil huruf V pada bagian atas.



Gambar 4.1 Produk Referensi Asgard V-Guard Medium

Secara fungsi, produk referensi sudah memenuhi fungsi yaitu untuk melindungi bagian atas tubuh khususnya kepala, namun bagian atas pada produk ini tertutup sepenuhnya sehingga menyebabkan gerah saat digunakan, selain itu *brim* pada produk memiliki bentuk yang kurang panjang di bagian samping dan belakang sehingga kurang dapat mengurangi risiko bagi pekerja apabila tertimpa kelapa sawit yang jatuh ke bagian samping maupun belakang kepala. Dari segi material, produk referensi sepenuhnya menggunakan material *high density polyethylene* (HDPE).

Kemudian dengan menggunakan produk referensi dapat dibuat suatu daftar kebutuhan untuk mendapatkan konsep produk, uraian daftar kebutuhan mempertimbangkan pemanfaatan material biokomposit untuk mengurangi penggunaan plastik dan memanfaatkan limbah serat alam yaitu serat sisal serta mengacu pada hasil penelitian menurut Ammar Adnan dkk, dan Shamsul Bahri dkk, yang menyatakan bahwa pekerja perkebunan kelapa sawit mengeluhkan helm keselamatan yang berat, gerah saat digunakan, dan ukuran yang tidak pas, kebutuhan lainnya disesuaikan dengan permintaan dari faktor-faktor eksternal yang dituliskan pada tabel 4.1 berikut.




Tabel 4.1 Daftar Kebutuhan Sungkup Helm Keselamatan


Teknik Mesin ITS	Daftar Kebutuhan Produk	
	Nama Produk: Sungkup Helm Keselamatan	
Perubahan	S/H	Uraian Kebutuhan
	S H	1. Fungsi: Melindungi kepala dari kelapa sawit yang terjatuh Tidak menyebabkan gerah

	H H	2. Ringan Berat sungkup helm kurang dari 300 gram Menggunakan material biokomposit
	S	3. Estetika Menarik untuk dilihat saat digunakan
	S	4. Manufaktur: Sungkup helm dapat diproduksi
	H	5. Perakitan Dapat dipasangkan dengan <i>harness</i> yang tersedia di pasaran
	S	6. Perawatan Mudah dibersihkan
	H	7. Biaya Harga terjangkau
Keterangan S : Syarat H : Harapan		

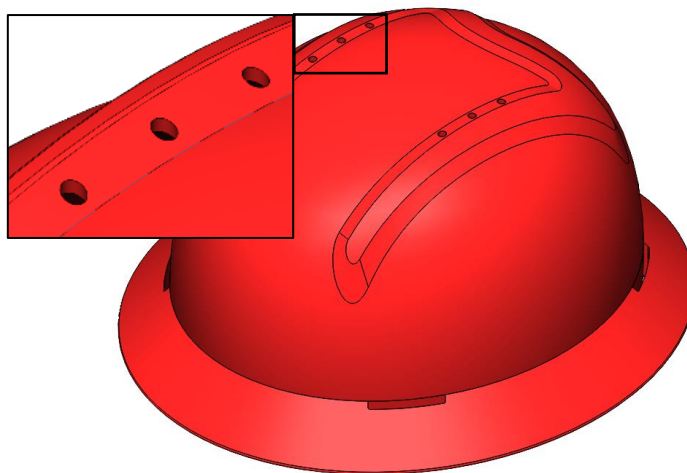
Selanjutnya berdasarkan daftar kebutuhan produk yang sudah dibuat, dilakukan pengembangan konsep dengan model morfologi yaitu sebuah model pengembangan dengan memberikan beberapa alternatif solusi untuk memenuhi fungsi sub-bagian.

Tabel 4.2 Diagram Morfologi Konsep

Sub-bagian dengan fungsi	Opsi 1	Opsi 2
Melindungi kepala bagian atas	 Terdapat profil atau <i>ribs</i> pada bagian atas	
Melindungi kepala bagian samping dan belakang	 Menggunakan jenis <i>half brim</i>	 Menggunakan jenis <i>full brim</i>

<p>Mengurangi gerah ketika digunakan</p>	 <p>Membuat lubang ventilasi udara</p>	
--	--	--

Berdasarkan produk referensi dan menggunakan diagram morfologi yang sudah disusun selanjutnya dapat dikembangkan berbagai konsep pilihan yang kemudian dikerucutkan menjadi satu konsep pilihan, konsep pilihan mengambil opsi pertama untuk fungsi melindungi kepala bagian atas yaitu dengan menggunakan profil pada bagian atas dan untuk fungsi melindungi kepala bagian samping dan belakang dipilih opsi kedua dengan menggunakan jenis *full brim* kemudian untuk fungsi mengurangi gerah saat digunakan dipilih opsi membuat lubang ventilasi udara. Konsep pilihan seperti pada gambar 4.2 menggunakan tipe *brim* yang mengelilingi sungkup atau disebut *full brim*, selain itu pada bagian atas diberikan profil menyerupai huruf M untuk melambangkan bahwa produk dirancang oleh Departemen Teknik Mesin dan diberikan enam (6) lubang ventilasi udara agar mengurangi gerah saat digunakan, selanjutnya pada bagian *brim* terdapat empat (4) buah lubang untuk memasang *harness* dan *chin strap*. Sungkup helm memiliki bentuk kubah elips dengan dimensi 279×247×135 mm dan ketebalan 3 mm, ketebalan 3 mm mengikuti produk referensi dengan ketebalan 3 mm.



Gambar 4.2 Konsep Sungkup Helm Pertama

#### 4.2 Perencanaan Simulasi Sungkup Helm

Konsep sungkup helm keselamatan yang telah dipilih kemudian dievaluasi dengan SOLIDWORKS untuk mengetahui massa produk dan volume produk. Fitur *Mass Properties* pada SOLIDWORKS digunakan untuk menampilkan massa produk dan volume produk. Berdasarkan data *Mass Properties*, diperoleh data pada tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 *Mass Properties* Sungkup Helm

Parameter	Nilai
Mass	312,29 gram
Volume	349,26 cm <sup>3</sup>
Surface Area	2.325,49 cm <sup>2</sup>

#### 4.2.1 Spesifikasi Mesin

Spesifikasi mesin mengambil dari referensi yang diperoleh yaitu mesin Haitian HTF250W dengan spesifikasi tertera pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Spesifikasi Mesin Haitian HTF250W

Parameter			A	B	C
Screw Diameter		mm	50	55	60
Calculated Injection Volume		cm <sup>3</sup>	471	570	679
Injection Capacity (PS)		g	429	519	618
Injection Velocity		g/s	205	248	295
Plasticization Capacity		g/s	24	29.6	33.7
Injection Pressure		MPa	215	178	149
Injection Stroke		mm	240		
Screw Speed		r/min	0-225		
Nozzle Diameter		mm	3		
Heating Input Power		KW	16.65		
Clamping Force		KN	2500		
Space Between Tie-Bars (H×V)		mm	580×580		
Die-Height Available (max.)		mm	580		
Die-Height Available (min.)		mm	220		
Mold Opening Stroke		mm	540		
Open Daylight		mm	1120		
Ejector Stroke		mm	150		
Ejector Force		KN	62		
Ejector Number		PC	9		
Pump Motor Power		KW	30		
Oil Tank Capacity		l	555		
Machine Dimension (L×W×H)		m	6.09×1.67×2.09		
Total Machine Weight (approx.)		t	8.3		
Minimal Mold Dimension (L×W)		mm	410×410		
Die parallelism	Die height	≥ 220-250mm	μm	60	
		> 250-400mm	μm	80	
		> 400-570mm	μm	100	

#### 4.2.2 Volume Cavity

Volume *cavity* ditentukan setelah mendapatkan persentase faktor penyusutan material, faktor penyusutan material Polypropylene bernilai 1,3%, kemudian dengan menggunakan persamaan (2.1) maka volume *cavity* dapat ditentukan.

$$\begin{aligned}
 V_{cav} &= 349,26 \text{ cm}^3 (1 + 1,3\%) \\
 &= 353,80 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

#### 4.2.3 Number of Cavity

Jumlah produk yang mampu dicetak menggunakan mesin injeksi ditentukan oleh kapasitas injeksi mesin dan *layout mold*, *number of cavity* ditentukan dengan persamaan (2.2) dengan volume *runner* 0,1% dari volume *cavity*. Selanjutnya dengan mempertimbangkan dimensi produk, *minimal mold dimension*, dan *space between tie bars* mesin, digunakan *layout mold* dengan dimensi penampang 450 × 450 mm.

$$NoC = \frac{570 \text{ cm}^3}{353,80 \text{ cm}^3 + 0,32 \text{ cm}^3} = 1,446 \approx 1$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh *number of cavity* sejumlah 1,446 *cavity* yang dibulatkan menjadi 1 *cavity*.

#### 4.2.4 Clamping Force

Untuk menentukan *clamping force* perlu ditentukan *clamping pressure* terlebih dahulu dengan persamaan (2.3), faktor tebal dinding atau *fs* ditentukan berdasarkan *nominal wall thickness* produk yaitu 3 mm, karena *nominal wall thickness* pada Tabel 2.2 tidak tersedia maka dilakukan ekstrapolasi, sementara *Fp* atau *flowpath* ditentukan dari geometri produk yaitu jarak terjauh aliran plastik dari *gate*.

$$\begin{aligned} P_{ac} &= 3,4 \text{ kg/cm}^3 \times 24 \text{ cm} \\ &= 82,56 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Setelah *clamping pressure* ditentukan, *clamping force* dapat ditentukan dengan persamaan (2.4) dengan *Ap* atau luas permukaan produk didapatkan dari Tabel 4.1.

$$\begin{aligned} F_{ac} &= 82,56 \text{ kg/cm}^2 \times 2.325,49 \text{ cm}^2 \times 1 \\ &= 188228 \text{ kgf} \\ &= 188 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai *clamping force* yang terhitung sekitar 25% lebih kecil dari *clamping force* mesin yaitu 2500 kN, artinya dengan rancangan yang dibuat, *clamping force* mesin dapat memenuhi kebutuhan *clamping force* untuk proses injeksi.

#### 4.2.5 Waktu Siklus

Waktu siklus seperti pada persamaan (2.5), terdiri dari waktu gerak cetakan (*tb*), waktu injeksi (*ti*), waktu pengeluaran produk (*tE*), dan waktu pendinginan (*tcool*). Waktu gerak cetakan ditentukan menggunakan persamaan (2.6) dengan waktu cetakan membuka (*t<sub>bb</sub>*) sesuai persamaan (2.7) dan waktu cetakan menutup (*t<sub>bt</sub>*) sesuai persamaan (2.8). Pada tabel 4.2 diketahui *mold opening stroke* sebesar 540 mm sementara kecepatan gerak buka cetakan (*v<sub>bb</sub>*) sebesar 64 m/min dan kecepatan gerak tutup cetakan (*v<sub>bt</sub>*) sebesar 56 m/min.

$$\begin{aligned} t_{bb} &= \frac{540 \text{ mm}}{64 \frac{\text{m}}{\text{min}} \times \frac{1000 \text{ mm}}{\text{m}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} \\ &= 0,51 \text{ s} \\ t_{bt} &= \frac{540 \text{ mm}}{56 \frac{\text{m}}{\text{min}} \times \frac{1000 \text{ mm}}{\text{m}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} \\ &= 0,58 \text{ s} \\ t_b &= 0,51 \text{ s} + 0,58 \text{ s} \\ &= 1,09 \text{ s} \end{aligned}$$

Untuk menentukan waktu injeksi (*ti*), perlu ditentukan kapasitas injeksi mesin dengan persamaan (2.11). Berdasarkan Tabel 4.2, *Ps* atau *injection speed rate* atau *injection velocity* bernilai 248 g/s dan *material density* yang digunakan bernilai 0,89415 g/cm<sup>3</sup>.

$$\begin{aligned} Km_{mesin} &= \frac{248 \text{ g/s}}{0,89415 \text{ g/cm}^3} \\ &= 277,36 \text{ cm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Waktu injeksi aktual mesin dapat dihitung dengan persamaan (2.10) menggunakan volume produk yaitu 353,80 cm<sup>3</sup>.

$$t_i^* = \frac{353,80 \text{ cm}^3}{0,8 \times 277,36 \text{ cm}^3/\text{s}} = 1,59 \text{ s}$$

Waktu penahanan diasumsikan dengan waktu 12 detik, kemudian waktu injeksi ditentukan dengan persamaan (2.9).

$$\begin{aligned} t_i &= 1,59 \text{ s} + 12 \text{ s} \\ &= 13,59 \text{ s} \end{aligned}$$

Untuk waktu pengeluaran produk dapat ditentukan dengan persamaan (2.12) dengan menghitung waktu mendorong produk ( $t_L$ ) berdasarkan persamaan (2.13), waktu gerak *ejector* kembali ( $t_K$ ) menggunakan persamaan (2.14) dan waktu produk jatuh ( $t_j$ ) berdasarkan persamaan (2.15). Kecepatan gerak dorong produk ( $V_D$ ) sama dengan kecepatan gerak tutup cetakan ( $V_{bt}$ ) karena gerakan pada mesin bergerak ke arah yang sama yaitu 56 m/min, sementara kecepatan gerak kembali *ejector* ( $V_K$ ) sama dengan kecepatan gerak buka cetakan ( $V_{bb}$ ) karena bergerak ke arah yang sama dengan nilai 64 m/min. Berdasarkan Tabel 4.2 untuk panjang gerak ejektor atau *ejector stroke* sebesar 150 mm.

$$\begin{aligned} t_L &= \frac{150 \text{ mm}}{56 \frac{\text{m}}{\text{min}} \times \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}} \\ &= 0,16 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_K &= \frac{150 \text{ mm}}{64 \frac{\text{m}}{\text{min}} \times \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}} \\ &= 0,14 \text{ s} \end{aligned}$$

Untuk percepatan gravitasi bumi menggunakan  $9,81 \text{ m/s}^2$  dengan tinggi jatuh produk diasumsikan setinggi 1 m untuk menentukan kecepatan jatuh produk dengan persamaan (2.16).

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m}} \\ &= 4,43 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_j &= \frac{1 \text{ m}}{4,43 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \\ &= 0,23 \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan demikian waktu pengeluaran produk ( $t_E$ ) dapat ditentukan dengan berdasarkan persamaan (2.12).

$$t_E = 0,16 \text{ s} + 0,14 \text{ s} + 0,23 \text{ s} = 0,53 \text{ s}$$

Waktu pendinginan ditentukan dengan persamaan (2.17), tebal dinding maksimum produk atau  $S_{\max}$  sebesar 3 mm, difusivitas panas material plastik bernilai  $9,6 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ , temperatur *mold*  $30^\circ\text{C}$  dengan asumsi mesin tidak menggunakan *mold temperature controller*, temperatur leleh material plastik atau *melt temperature* divariasikan dari  $180^\circ\text{C}$  -  $260^\circ\text{C}$ , dan temperatur pengeluaran produk  $124^\circ\text{C}$  dengan dasar mengikuti data yang dimiliki Autodesk Moldflow.

Contoh perhitungan waktu pendinginan:

Asumsi: *melt temperature* =  $190^\circ\text{C}$

$$t_{cool} = \frac{3 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}}{\pi^2 \times 9,6 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}} \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{190^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}}{124^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}} \right) = 3,06 \text{ s}$$

Kemudian untuk waktu siklus dapat ditentukan dengan persamaan (2.5). Dengan menjumlahkan waktu gerak cetakan, waktu injeksi, waktu pengeluaran produk, dan waktu pendinginan. Hasil perhitungan waktu pendinginan dan waktu siklus ditampilkan pada tabel 4.5.

Contoh perhitungan waktu siklus:

Diketahui: waktu gerak cetakan = 1,09 detik

waktu injeksi = 13,59 detik

waktu pengeluaran produk = 0,53 detik

waktu pendinginan = 3,06 detik

$$t_{siklus} = 1,09 + 13,59 + 0,53 + 3,06 = 18,11 \text{ detik}$$

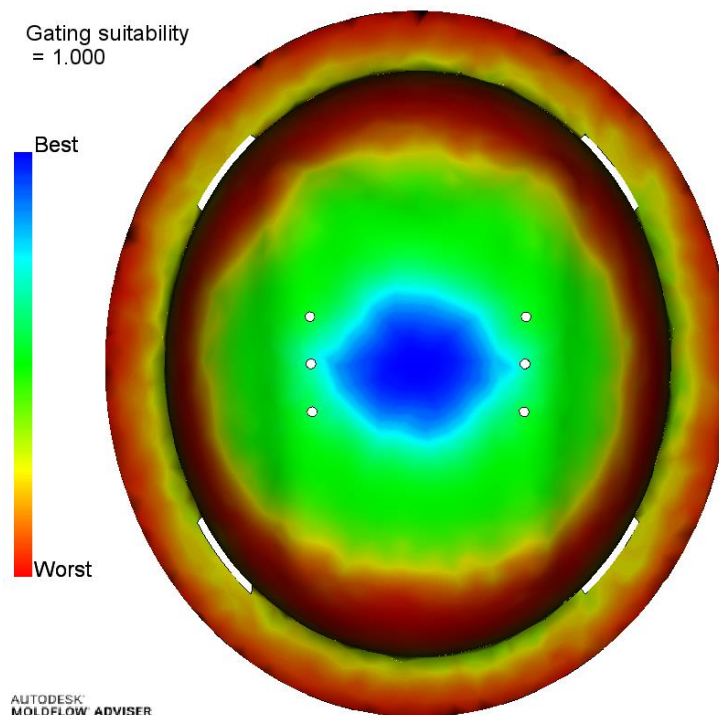
Tabel 4.5 Tabel Perhitungan Waktu Pendinginan dan Waktu Siklus

Melt temperature (°C)	Waktu pendinginan (detik)	Waktu siklus (detik)
180	2,44	17,65
190	3,06	18,27
200	3,63	18,84
210	4,18	19,39
220	4,69	19,90
230	5,18	20,39
240	5,64	20,85
250	6,08	21,29
260	6,50	21,71

### 4.3 Simulasi Injeksi Sungkup Helm

Dengan perhitungan yang telah diperoleh pada perancangan  *mold* , selanjutnya dapat dilakukan simulasi menggunakan  *software*  Autodesk Moldflow Adviser. Sebelum menjalankan simulasi proses injeksi, terlebih dahulu menjalankan analisis  *Gate Location*  dan  *Molding Window* , kemudian berdasarkan dua analisis tersebut dapat dilakukan simulasi proses injeksi.

#### 4.3.1 Gate Location




Gambar 4.3 Gate Suitability

Hasil simulasi menunjukkan gambar seperti pada gambar 4.3, bagian yang berwarna biru merupakan daerah yang paling baik untuk dijadikan lokasi *gate*. Hal ini disebabkan oleh desain sungkup helm yang berbentuk kubah simetris sehingga lokasi *gate* yang memungkinkan dan umum digunakan adalah pada bagian tengah atas. Penempatan *gate* pada lokasi tersebut memiliki kemungkinan untuk mengisi rongga cetakan secara menyeluruh dengan lebih merata.

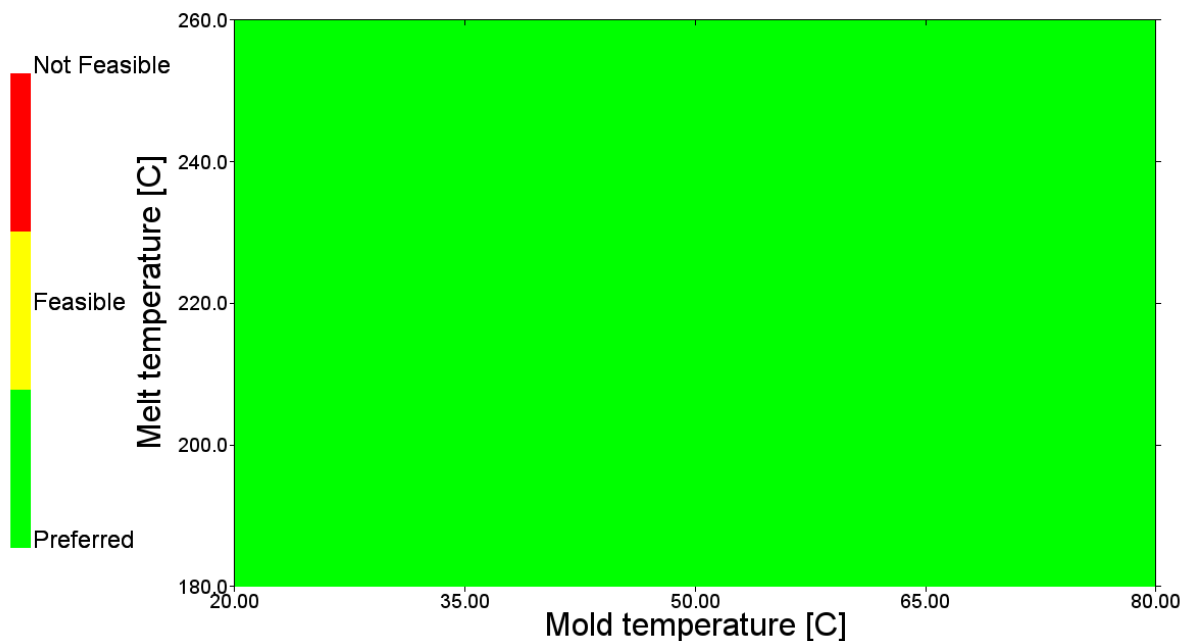
#### 4.3.2 Molding Window

Analisis *Molding Window* memberikan titik optimum untuk parameter proses injeksi yaitu *mold temperature*, *melt temperature*, dan *injection time* seperti pada gambar 4.4.

Materials						
Environmental impact	Manufacturer	Trade name	Family	Filler	Optimum point	Zone result
	Laboratorium Rekayasa Produksi	PP + Sisal Fiber 5%	PP	Sisal Fiber	Mold temperature: 63.6 (C) Melt temperature: 221.0 (C) Injection time: 1.67 (s)	<a href="#">View result</a>

Gambar 4.4 Hasil Analisis *Molding Window*

PP + Sisal Fiber 5%: Laboratorium Rekayasa Produksi  
Injection time = 1.588[s]



Gambar 4.5 Rentang Parameter Optimum Proses Injeksi

Namun apabila mengacu pada hasil perhitungan menggunakan waktu injeksi 1,59 detik, *melt temperature* yang direkomendasikan atau berwarna hijau muda berada pada rentang 180°C-260°C, sementara untuk *mold temperature* yang direkomendasikan atau berwarna hijau pada rentang 20°C-80°C. Pada penelitian ini *mold temperature* ditetapkan pada 30°C dengan tujuan menyesuaikan dengan kondisi mesin injeksi tanpa *mold temperature controller*. Rekomendasi yang diberikan berdasarkan analisis *Molding Window* ini menunjukkan bahwa pada rentang parameter tersebut dapat mengurangi risiko permasalahan pada proses injeksi.



### 4.3.3 Confidence of Fill

*Confidence of fill* merupakan analisis yang menampilkan kemungkinan material plastik cair untuk mengisi rongga cetakan, untuk mengetahui *confidence of fill* berdasarkan data *molding window* dilakukan simulasi dengan variasi pada *melt temperature* untuk mengetahui *confidence of fill* yang dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Simulasi *Confidence of Fill*

Mold temperature (°C)	Melt temperature (°C)	Confidence of fill (%)
30	180	100
	190	100
	200	100
	210	100
	220	100
	230	100
	240	100
	250	100
	260	100

Dari tabel dapat dilihat bahwa pada rentang *melt temperature* 180-260°C memiliki *confidence of fill* 100% yang artinya pada rentang tersebut proses injeksi dapat berjalan dengan baik dan plastik dapat mengisi rongga cetakan sepenuhnya.

### 4.3.4 Quality Prediction

*Quality prediction* digunakan untuk memperkirakan kualitas dari sifat mekanik produk dan juga penampilan permukaan dari produk, untuk mengetahui *quality prediction* yang terbaik, dilakukan pengulangan dengan variasi pada *melt temperature*, hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Simulasi *Quality Prediction*

Mold temperature (°C)	Melt temperature (°C)	High quality prediction (%)
30	180	75,9
	190	100
	200	100
	210	100
	220	100
	230	100
	240	100
	250	100
	260	34,9

Berdasarkan tabel 4.7, *high quality prediction* pada *melt temperature* 180°C hanya 75,9% dan pada *melt temperature* 260°C hanya 34,9% sementara pada rentang 190-250°C memiliki 100% *high quality prediction*. *High quality prediction* yang tidak mencapai 100% pada *melt temperature* 180°C dan 260°C berhubungan dengan penelitian oleh Joseph dkk. yaitu campuran material *polypropylene* dan serat sisal yang baru mulai bercampur pada temperatur 170°C dan pada temperatur 260°C mulai terjadi dekomposisi pada material serat sisal seiring meningkatnya temperatur yang mana material serat sisal hampir terdekomposisi sepenuhnya pada temperatur 350°C.

#### 4.3.5 Injection Pressure

Tekanan injeksi merupakan tekanan yang dibutuhkan untuk mengalirkan material ke seluruh area *cavity* melalui *sprue*. Pada tabel 4.8 disajikan perbedaan *injection pressure* dengan *melt temperature* yang divariasikan.

Tabel 4.8 Hasil Simulasi *Injection Pressure*

Mold temperature (°C)	Melt temperature (°C)	Injection pressure (MPa)
30	180	24,15
	190	22,56
	200	21,14
	210	19,79
	220	18,68
	230	17,64
	240	16,73
	250	15,89
	260	15,08

Berdasarkan tabel 4.8, semakin tinggi *melt temperature* maka *injection pressure* semakin rendah, hal ini sesuai dengan sifat material *polypropylene* dan serat sisal yang viskositasnya semakin rendah seiring meningkatnya temperatur. Analisis ini digunakan untuk mengetahui perbandingan *injection pressure* yang dibutuhkan proses injeksi dengan kapasitas yang dimiliki mesin, hasil menunjukkan bahwa kapasitas mesin masih di atas kebutuhan proses injeksi sehingga pada rentang *melt temperature* tersebut proses injeksi masih dapat dijalankan.

#### 4.3.6 Volumetric Shrinkage at Ejection

*Volumetric shrinkage* menunjukkan penyusutan volume dari produk setelah proses injeksi, nilai *volumetric shrinkage* yang paling rendah merupakan yang paling baik. Pada tabel 4.10 menunjukkan perbandingan persentase *shrinkage* dengan variasi *melt temperature*.

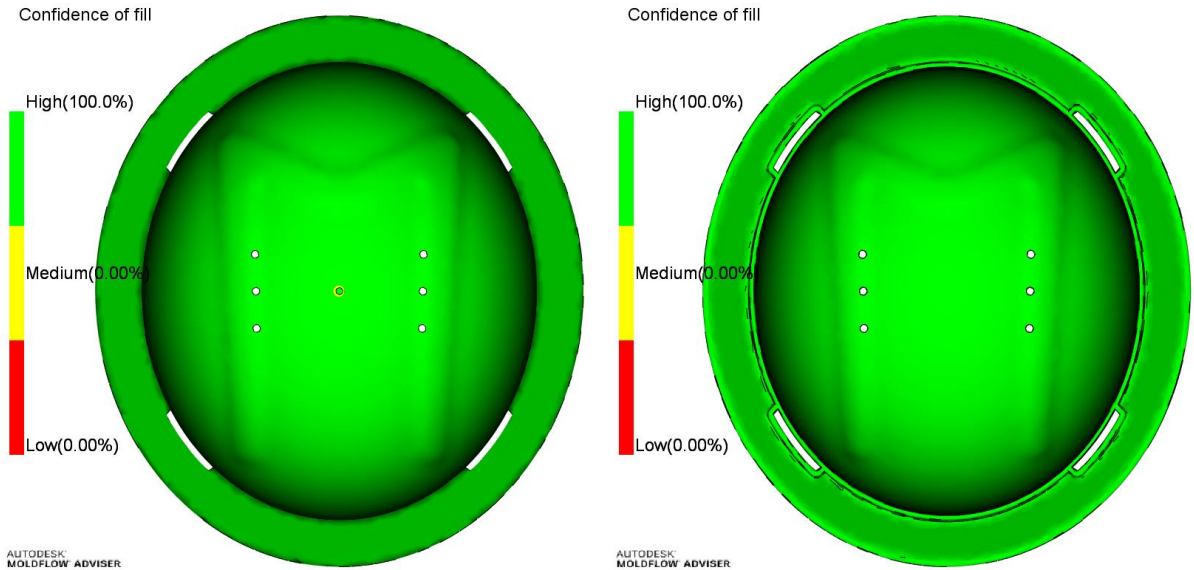
Tabel 4.9 Hasil Simulasi *Volumetric Shrinkage at Ejection*

Mold temperature (°C)	Melt temperature (°C)	Shrinkage (%)
30	180	4,44
	190	4,72
	200	4,85
	210	5,48
	220	5,81
	230	6,07
	240	6,25
	250	6,52
	260	6,74

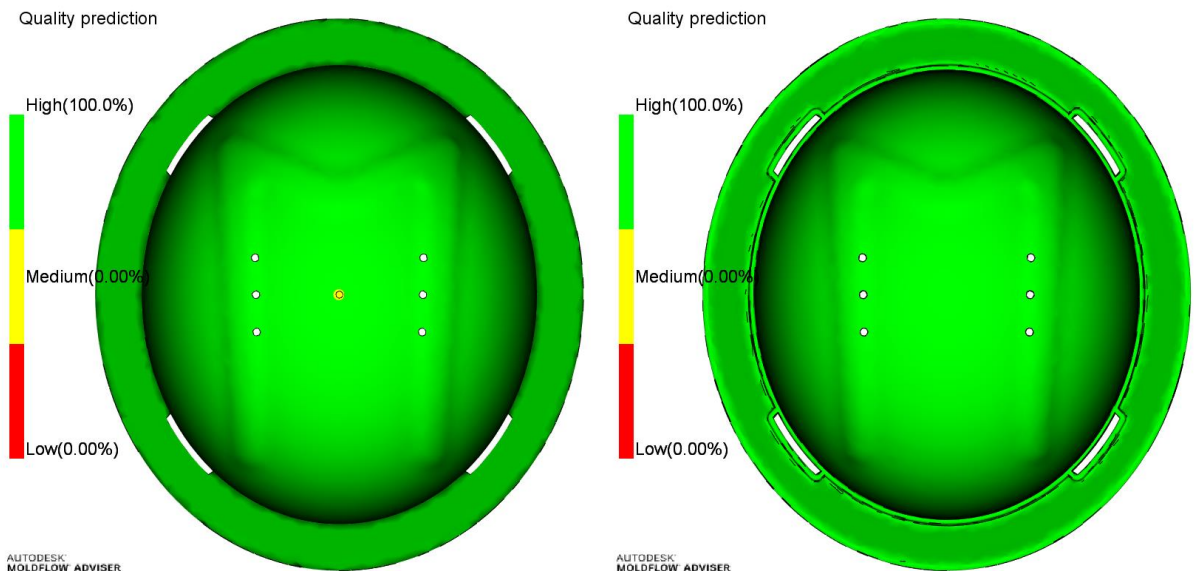
Hasil simulasi menunjukkan pada *melt temperature* rendah memiliki *shrinkage* yang rendah pula, apabila *melt temperature* dinaikkan maka *shrinkage* semakin besar, menurut Taifor dkk. hal ini disebabkan oleh aktivitas molekul plastik dimana saat suhu naik, molekul-molekul ini akan memuai lebih banyak dan mengisi lebih banyak ruang, kemudian saat pendinginan molekul akan kembali menyusut namun semakin tinggi pemuaiannya maka semakin tinggi pula penyusutan.

### 4.3.7 Parameter untuk Perancangan Rongga Cetakan

Untuk merancang rongga cetakan, digunakan parameter yang memperoleh *confidence of fill* dan *high quality prediction* paling tinggi dan *shrinkage* atau penyusutan paling rendah, *shrinkage* paling rendah dipilih dengan alasan untuk menghindari penyusutan yang terlalu besar sehingga hasil cetakan sesuai atau mendekati rancangan sungkup helm khususnya ketebalan sungkup helm karena ketebalan ini berkaitan dengan kekuatan dari sungkup helm, parameter yang digunakan yaitu *melt temperature* 190°C dengan hasil simulasi memperoleh *confidence of fill* 100% seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6, *high quality prediction* 100% seperti pada gambar 4.7, dan *shrinkage* 4,72% seperti pada gambar 4.8.

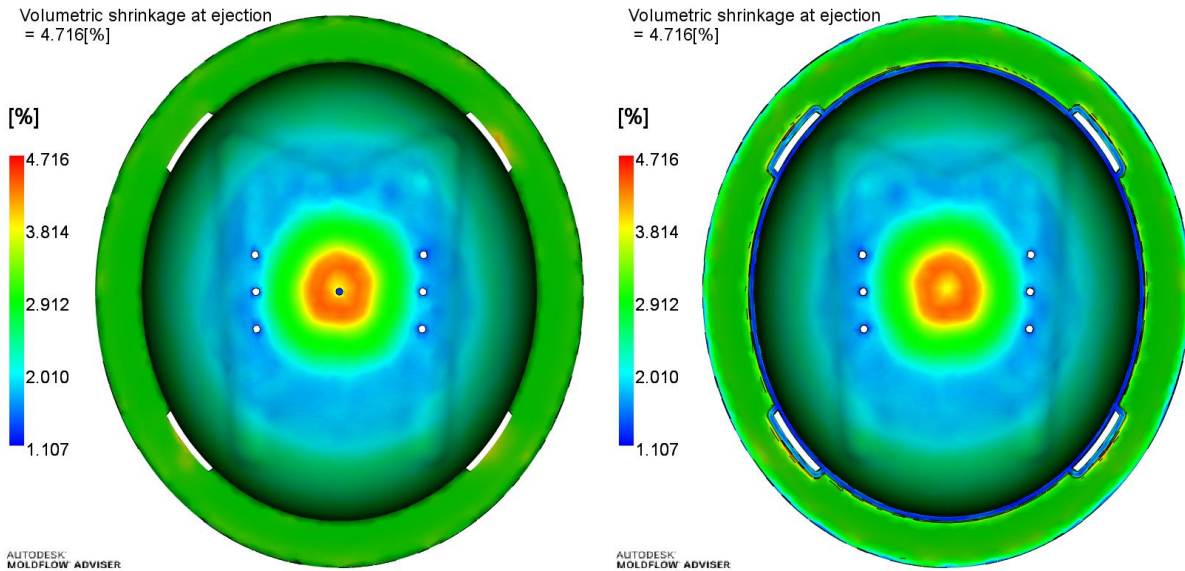


Gambar 4.6 *Confidence of Fill* Sungkup Helm



Gambar 4.7 *Quality Prediction* Sungkup Helm

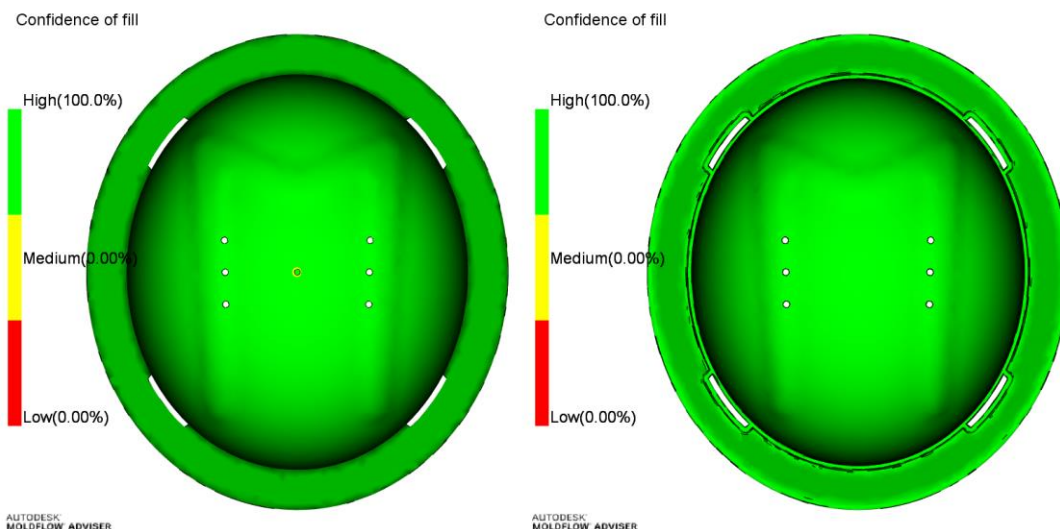
Pada gambar 4.8 terlihat bahwa penyusutan atau *shrinkage* dengan nilai yang tinggi terletak pada bagian atas dekat dengan *gate* atau masuknya material plastik, hal ini disebabkan pada daerah ini mengalami tekanan yang jauh lebih tinggi selama tahap pengisian, yang menyebabkan lebih banyak molekul plastik yang berkumpul pada daerah tersebut, molekul plastik ini kemudian berkontraksi lebih banyak saat pendinginan dibandingkan dengan area yang lebih jauh dari gerbang dimana tekanannya lebih rendah dan materialnya tidak terlalu padat.



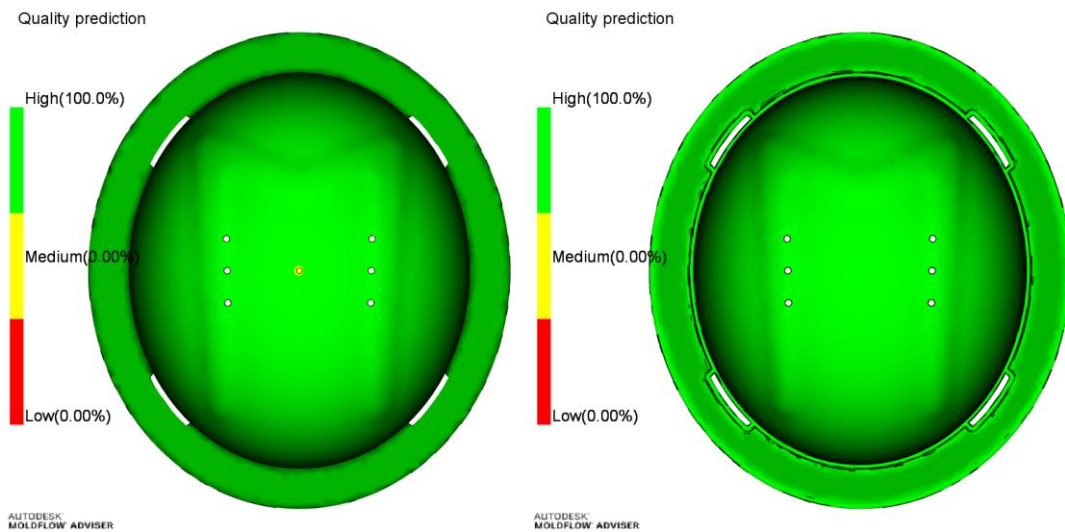
Gambar 4.8 *Volumetric Shrinkage* Sungkup Helm

#### 4.4 Perancangan Rongga Cetakan

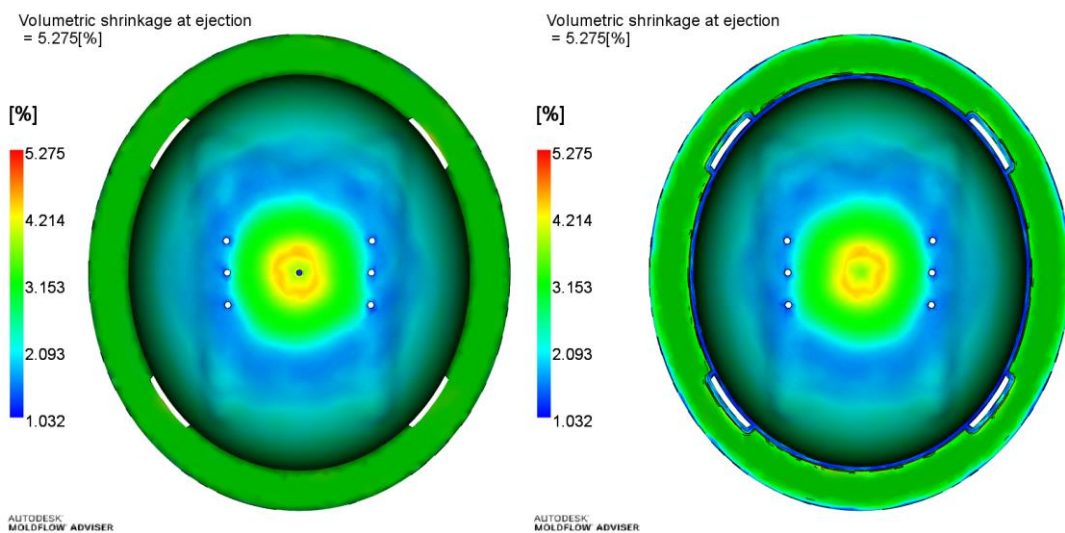
Sungkup helm yang dirancang berukuran  $279 \times 247 \times 135$  mm, ketebalan 3 mm, dan volume  $349,26 \text{ cm}^3$  kemudian berdasarkan simulasi mengalami *shrinkage* sebesar 4,72%, untuk mempertahankan ketebalan 3 mm maka rongga cetakan yang akan dirancang dibuat lebih besar dari dimensi sungkup helm, dilakukan pembesaran untuk rongga cetakan dari rancangan sungkup helm sehingga rongga cetakan memiliki bentuk kubah elips dengan dimensi  $285,59 \times 252,86 \times 138,00$  mm dengan ketebalan 3,2 mm dan volume  $372,55 \text{ cm}^3$ , karena dilakukan pembesaran maka waktu injeksi mesin dan waktu pendinginan disesuaikan sehingga dengan persamaan (2.10) waktu injeksi mesin menjadi 1,70 detik dan dengan persamaan (2.17) waktu pendinginan menjadi 3,48 detik.



Gambar 4.9 *Confidence of Fill* Rongga Cetakan



Gambar 4.10 *Quality Prediction* Rongga Cetakan



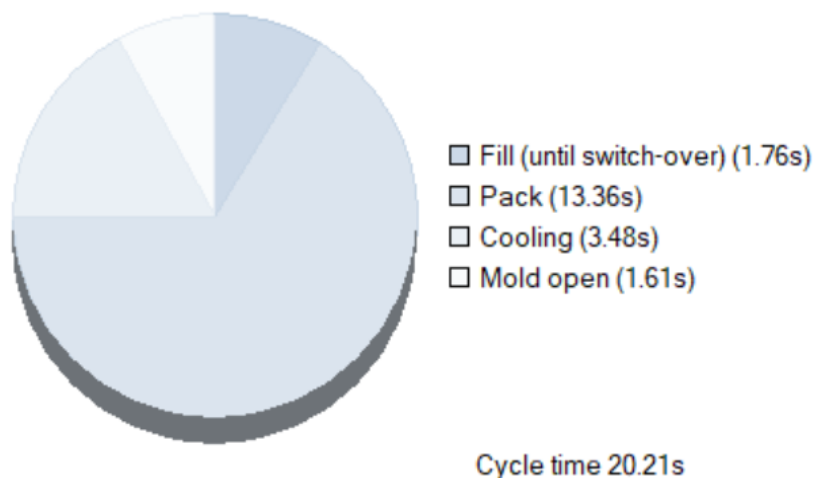
Gambar 4.11 *Volumetric Shrinkage* Rongga Cetakan

Setelah melakukan perhitungan rongga cetakan, selanjutnya dilakukan simulasi kembali untuk mengetahui hasil simulasi injeksi, parameter yang digunakan yaitu *mold temperature* 30°C, *melt temperature* 190°C, *injection time* 1,70 detik, dan *cooling time* 3,48 detik. Hasil simulasi menunjukkan dengan parameter yang digunakan memperoleh *confidence of fill* 100% yang ditunjukkan pada gambar 4.9, *high quality prediction* 100% seperti pada gambar 4.10, dan *volumetric shrinkage* 5,27% yang terlihat pada gambar 4.11. Hasil simulasi disimpulkan dengan *fill summary* pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 *Fill Summary*

Actual filling time	1,78	detik
Actual injection pressure	23,79	MPa
Max. Clamp force during filling	47,94	ton
Shot volume	373,05	cm <sup>3</sup>
Cavity volume	372,55	cm <sup>3</sup>
Runner system volume	0,50	cm <sup>3</sup>

Berdasarkan tabel 4.10, *injection pressure* hanya membutuhkan 23,79 MPa yang masih di bawah *injection pressure* mesin yaitu 178 MPa, *clamp force* maksimum saat proses injeksi mencapai 47,94 ton dimana masih di bawah dari *clamp force* maksimum mesin yaitu 250 ton, dengan *shot volume* atau volume material yang diinjeksi sebanyak 373,05 cm<sup>3</sup> dimana 372,55 cm<sup>3</sup> merupakan volume *cavity* dan 0,50 cm<sup>3</sup> merupakan volume *sprue*.



Gambar 4.12 Waktu Siklus Simulasi

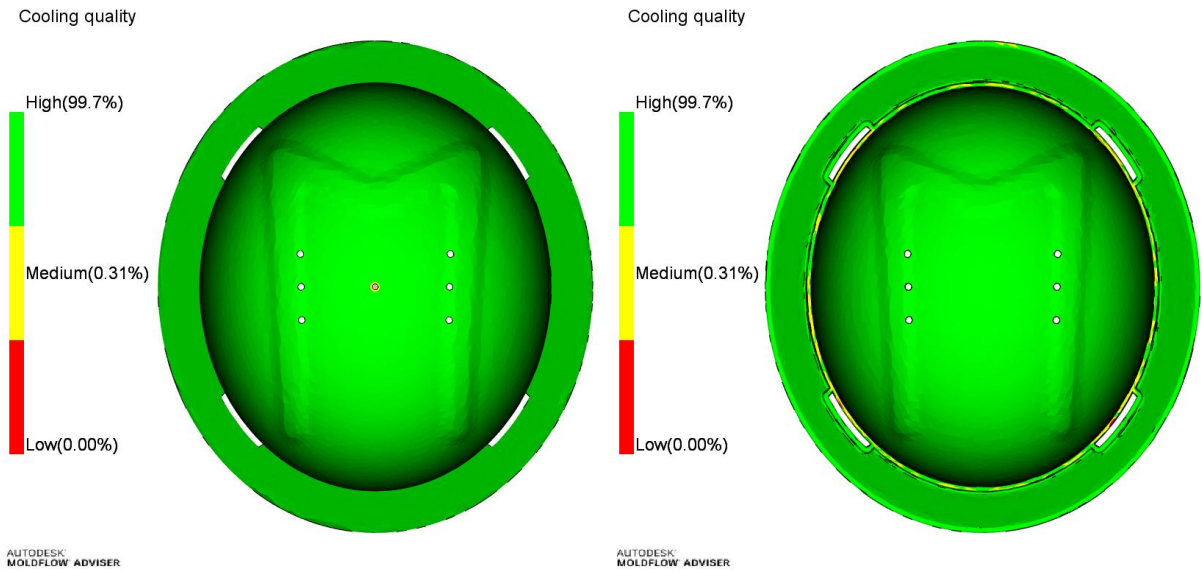
Pada gambar 4.12 diperoleh hasil simulasi untuk waktu siklus proses injeksi, waktu injeksi atau *fill time* membutuhkan 1,76 detik dimana terdapat sedikit perbedaan dengan perhitungan yaitu 1,70 detik, kemudian waktu penahanan atau *packing time* membutuhkan 13,36 detik, lebih lama dibandingkan dengan asumsi awal yaitu 12 detik dan waktu siklus 20,21 detik. Pada proses *packing* atau penahanan, cetakan dicekam sampai plastik membeku, rangkuman hasil simulasi saat proses *packing* atau penahanan dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 *Packing Summary*

Maximum clamp force during cycle	191,53	ton
Total part weight	318	gram

Pada tabel 4.11 dapat dilihat bahwa *clamping force* saat proses penahanan mencapai 191,53 ton, hal ini masih dapat diakomodasi oleh mesin karena *clamping force* mesin mencapai 250 ton, dan setelah plastik membeku didapat berat produk yaitu 318 gram dengan volume 352,92 cm<sup>3</sup> setelah mengalami *shrinkage*.

#### 4.4.1 Cooling Quality

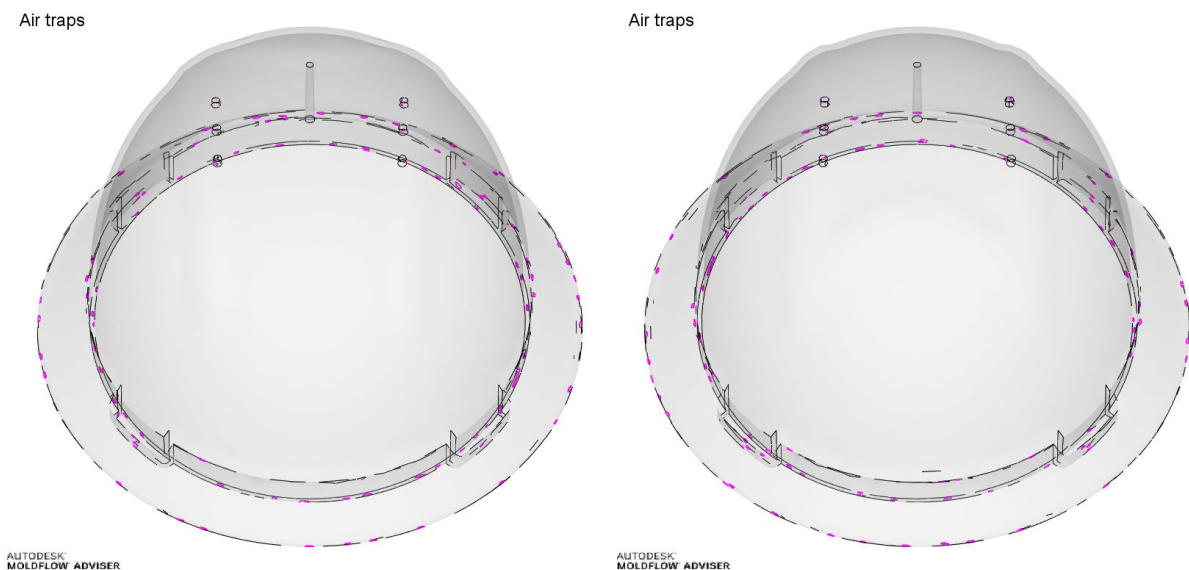


Gambar 4.13 *Cooling Quality*

Selain menganalisis proses injeksi dan proses penahanan, diperlukan pula analisis kualitas pendinginan dari *cavity* untuk mengetahui persebaran panas dari plastik di *cavity* menggunakan hasil simulasi *cooling quality*, berdasarkan gambar 4.13 kualitas pendinginan plastik sudah baik dengan kualitas pendinginan tinggi mencapai 99.7% dari keseluruhan cetakan yang dapat diartikan bahwa persebaran panas pada plastik sudah merata sehingga cetakan tanpa sistem pendingin sudah cukup untuk mendapatkan hasil injeksi yang baik. Bagian berwarna kuning atau kualitas pendinginan menengah sebanyak 0,31% terletak pada bagian bawah sungkup helm.

#### 4.4.2 Air Traps

Hasil simulasi *air traps* pada gambar 4.14 menunjukkan titik dimana udara terjebak saat proses injeksi, titik-titik ini menjadi pertimbangan dalam merancang cetakan agar diberikan *venting* supaya udara dapat keluar saat proses injeksi.



Gambar 4.14 *Air Traps*

Menurut Douglas M. Bryce, material *polypropylene* memerlukan *venting* dengan ukuran minimal 0,025 mm, menurut David Kazmer, pemberian *venting* dapat dilakukan pada lubang

pin ejektor karena pada umumnya dibuat *clearance* pada lubang ejektor dengan pin ejektor sehingga terdapat celah pada lubang ejektor, kelebihan *venting* pada lubang ejektor adalah dengan adanya *clearance* berguna untuk menghindari gesekan geser atau *sliding friction* yang berlebihan dan menghindari *buckling* pada pin ejektor. Dengan demikian pada perancangan cetakan akan dibuat *clearance* pada lubang ejektor dengan ukuran 0,025 mm.

#### **4.5 Perbandingan dengan Produk Referensi**

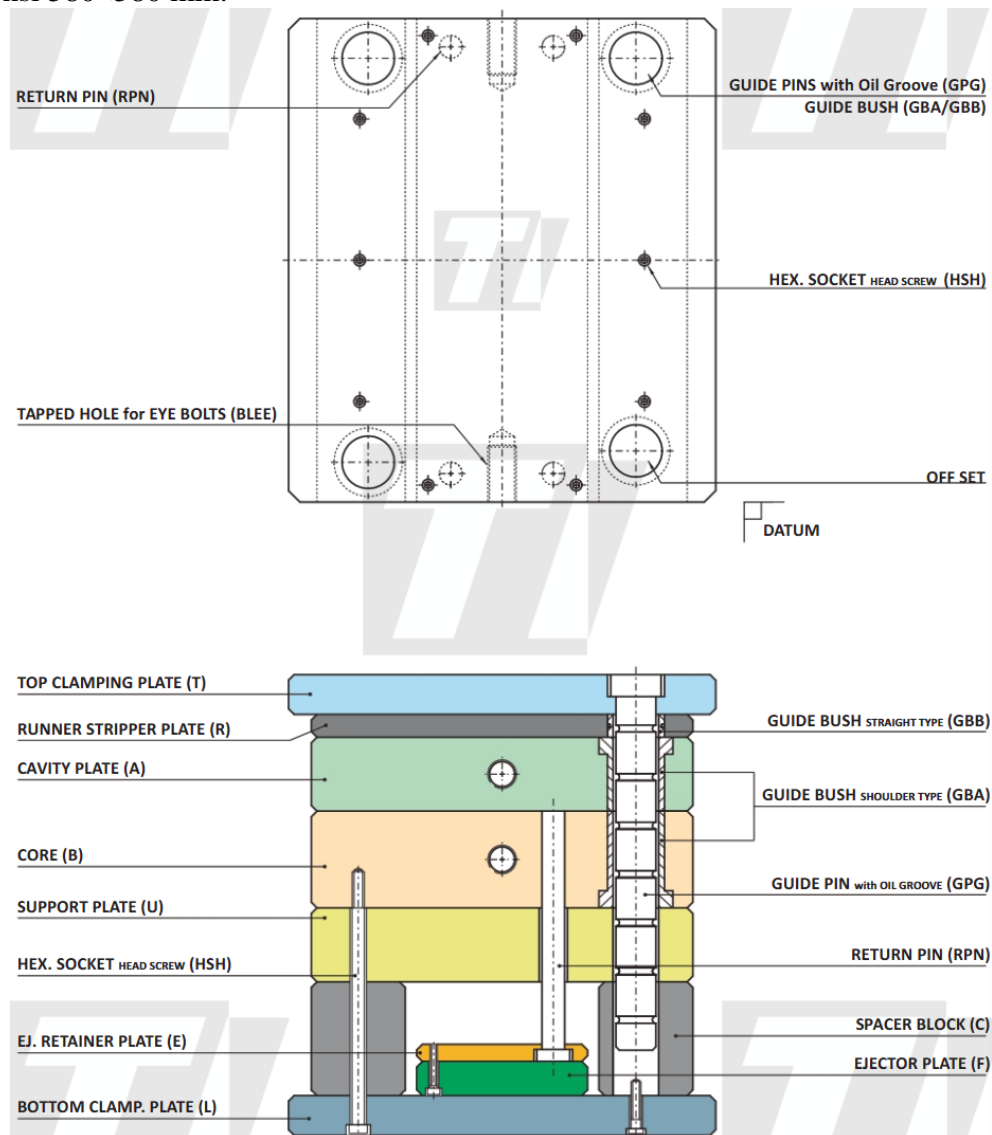
Dengan analisis hasil simulasi dapat diketahui perbandingan sungkup helm yang dirancang dengan produk referensi yang menggunakan produk Asgard USA model V-Guard berukuran medium, pada material yang digunakan untuk produk referensi menggunakan material HDPE sementara rancangan menggunakan material biokomposit campuran *polypropylene* dan serat sisal, penggunaan biokomposit ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan material plastik dan memanfaatkan limbah daun sisal yang dapat diberdayakan menjadi serat sisal yang kemudian menjadi material biokomposit. Dari aspek berat produk, produk referensi memiliki berat 276 gram sementara rancangan sungkup helm memiliki berat 318 gram, perbedaan ini selain disebabkan perbedaan material juga disebabkan perbedaan geometri, dapat dilakukan optimasi desain untuk mencapai berat produk yang mendekati produk referensi namun perlu diiringi dengan penelitian lanjut terhadap kekuatan material supaya dalam optimasi desain tetap memperhatikan fungsi utama helm yaitu perlindungan kepala. Keunggulan rancangan sungkup helm terdapat pada lubang ventilasi udara pada bagian atas yang berguna untuk mengurangi rasa gerah saat helm sedang digunakan dimana pada produk referensi tidak terdapat ventilasi udara, meskipun demikian untuk memverifikasi keunggulan rancangan sungkup helm perlu dilakukan *prototyping* untuk mengetahui respons pekerja di perkebunan kelapa sawit.



## BAB V RANCANGAN CETAKAN SUNGKUP HELM

### 5.1 Rancangan Cetakan

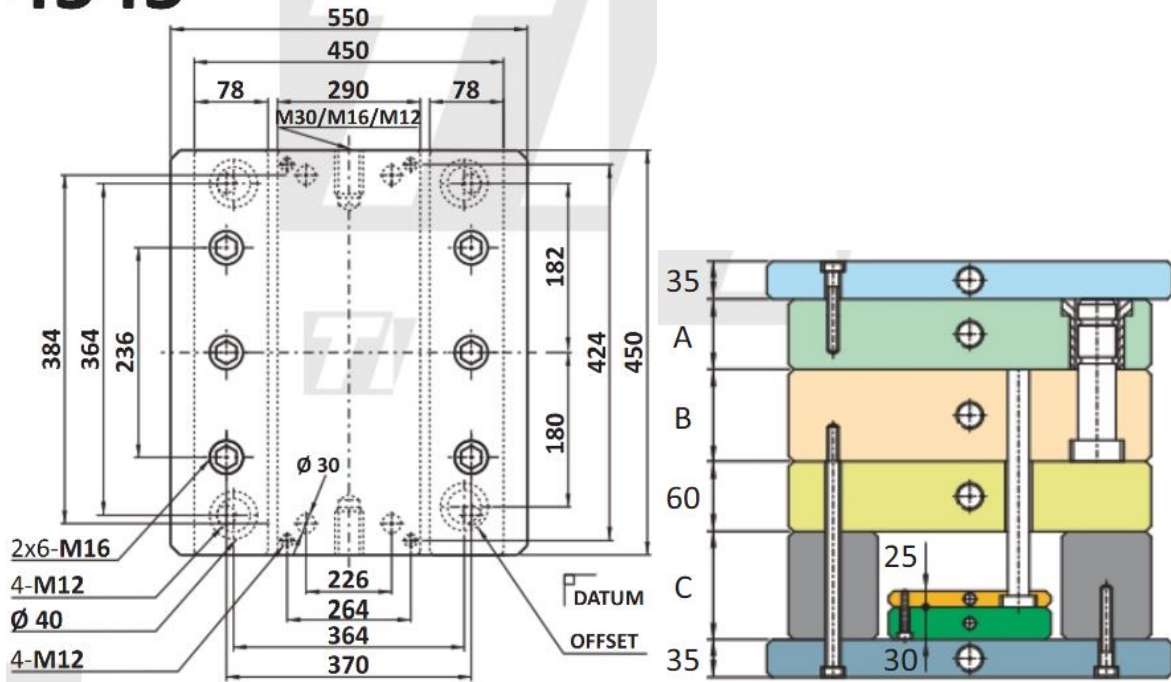
Berdasarkan bentuk sungkup helm yang akan dicetak dan simulasi proses injeksi yang sudah dijalankan selanjutnya dirancang cetakan sungkup helm, dimensi sungkup helm yang dirancang berbentuk kubah elips dengan dimensi 279×247×135 mm namun dengan analisis *shrinkage* maka rongga cetakan yang perlu dibuat agar hasil cetakan berukuran sesuai dengan rancangan sungkup helm memiliki rongga berbentuk kubah elips dengan dimensi 285,59×252,86×138,00 mm. Selain menyesuaikan dengan dimensi sungkup helm, cetakan juga telah memperhitungkan *space between tie-bars* atau jarak antar palang penyangga mesin yang berdimensi 580×580 mm.



Gambar 5.1 Jenis Cetakan *Three Plate* (tosanaji.co.id)

Dengan perhitungan yang sudah dijelaskan sebelumnya, kemudian dilakukan penelusuran cetakan yang tersedia di pasaran, cetakan yang memenuhi perhitungan tersebut adalah cetakan atau *mold base* dengan seri *three plate system* seperti pada gambar 5.1 dengan tipe GAI 4545 dengan dimensi yang sudah ditentukan seperti pada gambar 5.2.

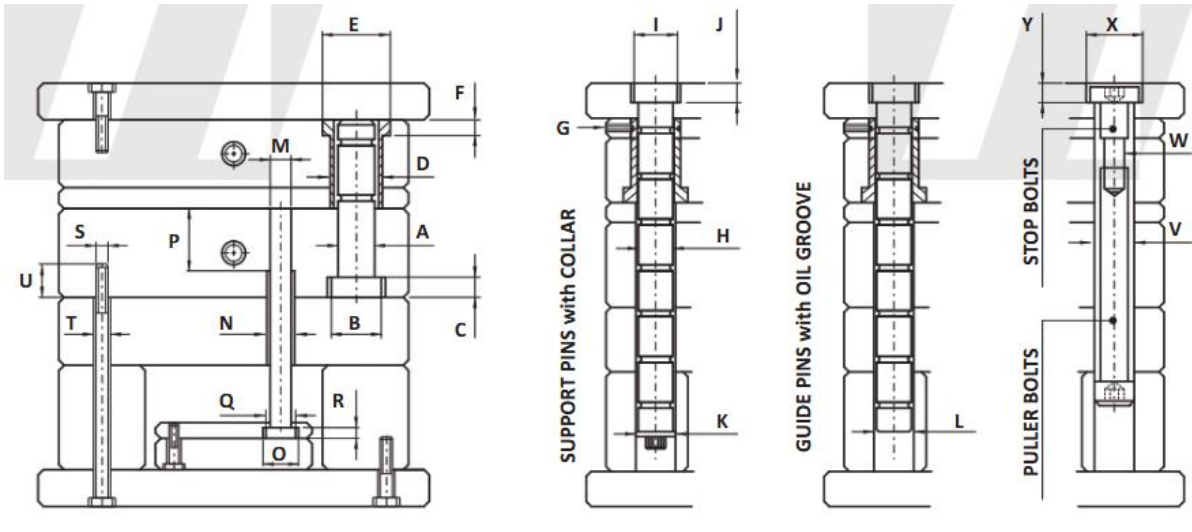
# 4545



THICKNESS TABLE										
A	50	60	70	80	90	100	110	120	~	180
B										
C	120			150			180			

Gambar 5.2 Dimensi Cetakan Tipe GAI 4545 (tosanaji.co.id)

Untuk proses pemesinan cetakan sudah ditentukan oleh penyedia cetakan dengan ukuran-ukuran seperti pada gambar 5.3.



(a)

NOMINAL SIZE	GUIDE PINS			GUIDE BUSHING				SUPPORT PINS				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
16	16	21	6	25	30	6	M5	16	20	8	24	19
20	20	25	6	30	35	8	M6	20	25	10	29	24
25	25	30	8	35	40	8	M6	25	30	12	34	29
30	30	35	8	42	47	10	M8	30	35	14	42	34
35	35	40	8	48	54	10	M8	35	40	16	47	39
40	40	45	10	55	61	10	M8	40	45	18	52	44
50	50	56	12	70	76	12	M10	50	56	20	65	54

NOMINAL SIZE	HEX. SOCKET HEAD SCREW			NOMINAL SIZE	RETURN PINS						NOMINAL SIZE	STOP and PULLER BOLTS			
	S	T	U		M	N	O	P	Q	R		V	W	X	Y
M6	M6	6.6	15	12	12	13	18	50	17	4	13	14	9	19	9
M8	M8	9	20	15	15	16	21	60	20		16	17	11	25	14
M10	M10	11	28	20	20	21	26	80	25	8	20	21	13	30	14
M12	M12	14	30	25	25	26	31	100	30		25	26	17	36	19
M14	M14	16	35	30	30	31	36	120	35						
M16	M16	18	35												
M20	M20	22	40												

(b)

Gambar 5.3 Proses Pemesinan Cetakan (tosanaji.co.id)

Berdasarkan tipe cetakan GAI 4545, ukuran komponen-komponen yang akan digunakan ditampilkan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Daftar Komponen Cetakan

No.	Nama	Keterangan
1	Top plate	550×450×35 mm
2	Cavity plate	450×450×150 mm
3	Core plate	450×450×180 mm
4	Support plate	450×450×60 mm
5	Spacer block	450×78×120 mm
6	Ejector retainer plate	450×290×25 mm
7	Ejector plate	450×290×30 mm
8	Bottom plate	550×450×35 mm

## 5.2 Proses Pemesinan Cetakan

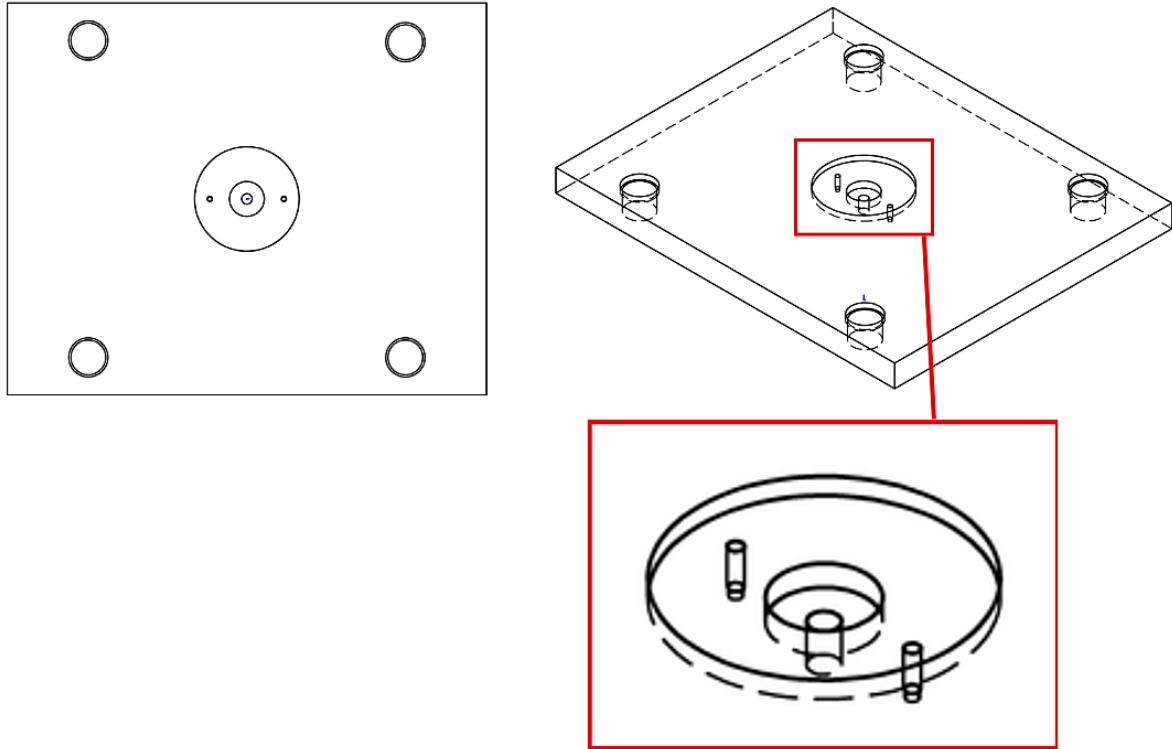
Diperlukan proses pemesinan untuk membentuk rongga cetakan, lubang, dan ulir. Pada tabel 5.2 berikut ini dijelaskan proses pemesinan yang dibutuhkan.

Tabel 5.2 Proses Pemesinan Cetakan

No.	Nama bagian	Proses Pengerjaan	Jumlah
1	Top plate	1. <i>Milling</i> :	
		a. Pembuatan lubang Ø120×8 mm untuk <i>locating ring</i>	1
		b. Pembuatan lubang Ø40×10 mm untuk <i>sprue bushing</i>	1
		2. <i>Drilling</i> :	
		a. Pembuatan lubang Ø12 mm untuk <i>sprue bushing</i>	1
b. Pembuatan lubang Ø5×17 mm untuk baut <i>locating ring</i> M6	2		
3. <i>Tapping</i> :			
a. Pembuatan ulir M6	2		
2	Cavity plate	1. <i>Milling</i> :	
		a. Pembuatan rongga berbentuk helm dengan ukuran 285,59×252,86×136,98 mm	1
		2. <i>Drilling</i> :	
a. Pembuatan lubang Ø12 mm untuk <i>sprue bushing</i>	1		
3	Core plate	1. <i>Milling</i> :	
		a. Pembuatan bentuk helm dengan ukuran 285,59×252,86×135,04 mm	1
		2. <i>Drilling</i> :	
a. Pembuatan lubang Ø3 mm untuk <i>ejector pin</i>	8		
4	Support plate	1. <i>Drilling</i> :	
		a. Pembuatan lubang Ø3 mm untuk <i>ejector pin</i>	8
5	Ejector retainer plate	1. <i>Drilling</i> :	
		a. Pembuatan lubang Ø4×3 mm untuk <i>ejector pin</i>	8
		b. Pembuatan lubang Ø3 mm untuk <i>ejector pin</i>	8

### 5.2.1 Top Plate

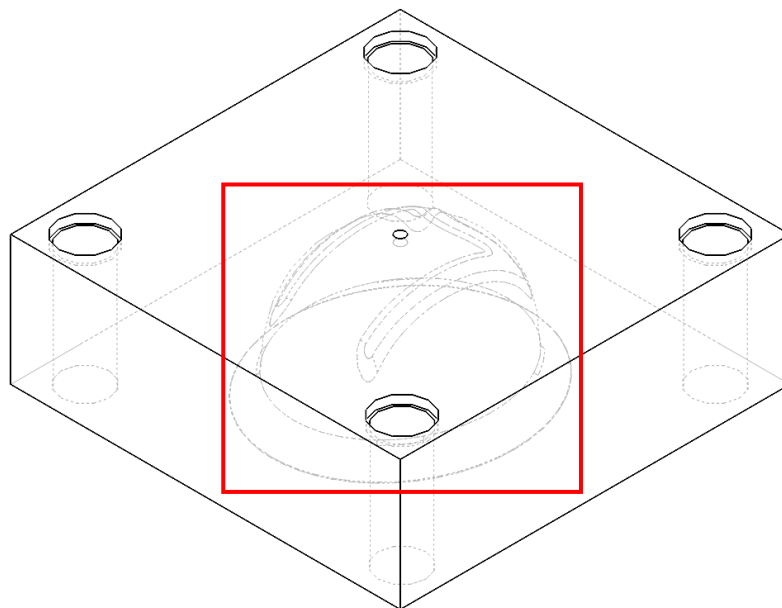
Pada komponen *top plate* diperlukan proses *milling*, *drilling*, dan *tapping* seperti pada tabel 5.2, proses pengerjaan yang dilakukan akan menghasilkan komponen seperti pada gambar 5.4 dimana dilakukan pembuatan lubang untuk *locating ring* dengan baut *locating ring* dan lubang untuk *sprue bushing*.



Gambar 5.4 Pemesinan *Top Plate*

### 5.2.2 Cavity Plate

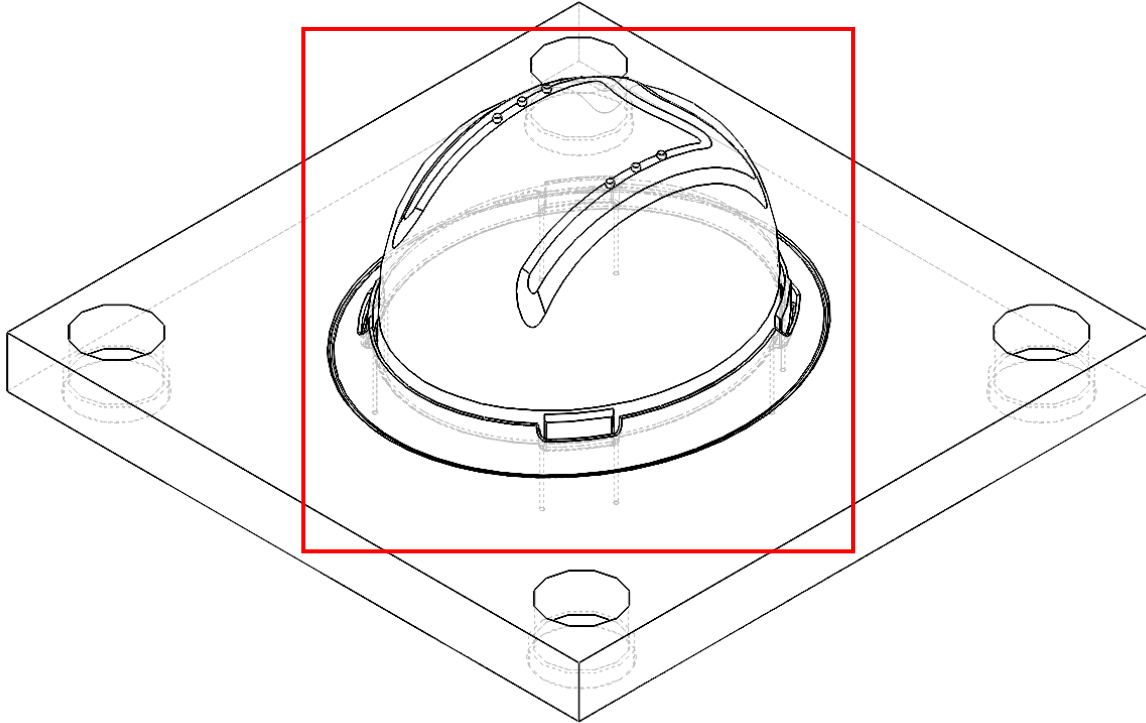
Pada komponen *cavity plate* diperlukan proses *milling* dan *drilling* seperti pada tabel 5.2, proses pengerjaan yang dilakukan akan menghasilkan komponen seperti pada gambar 5.5 sehingga membentuk rongga cetakan.



Gambar 5.5 Pemesinan *Cavity Plate*

### 5.2.3 Core Plate

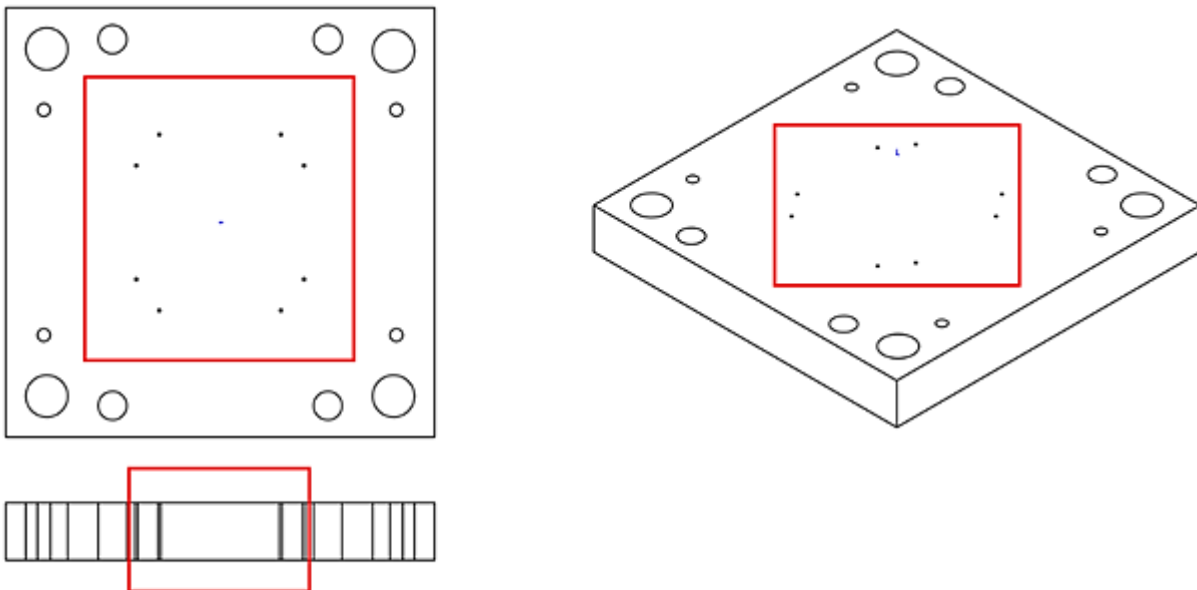
Pada komponen *core plate* diperlukan proses *milling* dan *drilling* seperti pada tabel 5.2, proses pengerjaan yang dilakukan akan menghasilkan komponen seperti pada gambar 5.6 sehingga membentuk inti cetakan atau *core* dan lubang pin ejektor.



Gambar 5.6 Pemesinan Core Plate

### 5.2.4 Support Plate

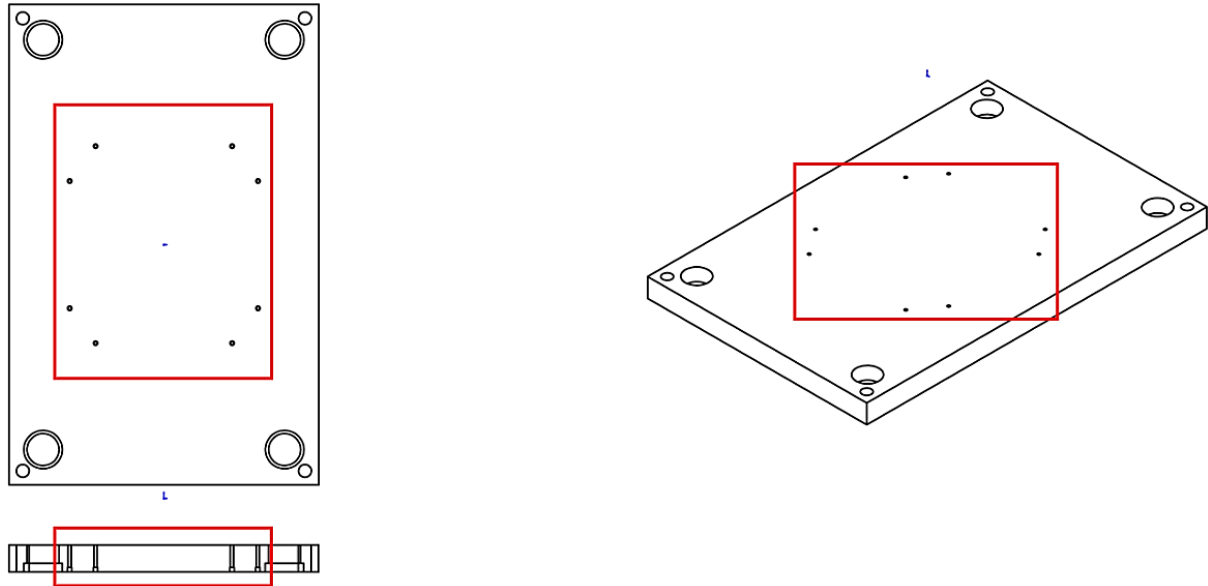
Pada komponen *support plate* diperlukan proses *drilling* seperti pada tabel 5.2, proses pengerjaan yang dilakukan akan menghasilkan komponen seperti pada gambar 5.7 yaitu membuat lubang pin ejektor.



Gambar 5.7 Pemesinan Support Plate

### 5.2.5 Ejector Retainer Plate

Pada komponen *ejector retainer plate* diperlukan proses *drilling* seperti pada tabel 5.2, proses pengerjaan yang dilakukan akan menghasilkan komponen seperti pada gambar 5.8 yaitu pembuatan lubang pin ejektor.



Gambar 5.8 Pemesinan *Ejector Retainer Plate*

### 5.3 Aksesoris Cetakan

Setelah mendapatkan dimensi dari komponen cetakan, selanjutnya dipilih aksesoris-aksesoris sesuai dengan ukuran cetakan yang tersedia di pasaran, untuk katalog pemilihan aksesoris dapat dilihat di Lampiran 4, tabel 5.3 berikut merupakan daftar aksesoris yang digunakan.

Tabel 5.3 Daftar Aksesoris Cetakan

No.	Komponen	Jumlah	Keterangan
1	Locating ring	1	MISUMI LRJS120-15
2	Sprue bushing	1	MISUMI SJAC12-30-SR11-P4-A2
3	Hex socket head screw sprue bushing	2	TOSANAJI HSH6-25
4	Guide bush cavity	4	TOSANAJI GBA40-150
5	Guide bush core	4	TOSANAJI GBA40-40
6	Guide pin	4	TOSANAJI GPG40-410
7	Return pin	4	TOSANAJI RPN8TH30-150-35
8	Ejector pin	8	MISUMI EPD-L3-194
9	Hex socket head screw ejector plate	4	TOSANAJI HSH12-35
10	Hex socket head screw bottom plate	4	TOSANAJI HSH12-250-36

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Sungkup helm dikembangkan menggunakan diagram morfologi, kemudian diambil konsep pilihan setelah mempertimbangkan opsi pada diagram morfologi, konsep yang dipilih menggunakan profil pada bagian atas dengan bentuk huruf M untuk melindungi kepala bagian atas, menggunakan jenis *full brim* untuk melindungi kepala bagian samping dan belakang, dan terdapat lubang ventilasi udara pada bagian atas untuk mengurangi gerah saat digunakan. Helm memiliki bentuk kubah elips dengan dimensi 279×247×135 mm dengan ketebalan 3 mm.
2. Proses injeksi dijalankan menggunakan simulasi dengan Autodesk Moldflow Adviser, parameter yang digunakan adalah *mold temperature* 30°C dan *melt temperature* yang divariasikan pada rentang 180-260°C dengan kenaikan 10°C. Pada rentang temperatur tersebut *volumetric shrinkage* paling rendah diperoleh saat *melt temperature* diatur pada 190°C dengan nilai maksimum 4,72% pada bagian atas sungkup helm. Kemudian rongga cetakan diperbesar menyesuaikan dengan *volumetric shrinkage* sehingga dimensi rongga cetakan menjadi 285,59×252,86×138,00 mm dengan tebal 3,2 mm, simulasi proses injeksi memperoleh hasil dengan *confidence of fill* 100%, *high quality prediction* 100%, *volumetric shrinkage* 5,27%, *fill time* 1,78 detik, dan waktu siklus 20,21 detik.
3. Cetakan yang dirancang disesuaikan dengan bentuk sungkup helm dan *volumetric shrinkage* dari simulasi proses injeksi sehingga ukuran cetakan berdimensi 550×450×440 mm dengan rongga cetakan berbentuk kubah elips dengan dimensi 285,59×252,86×138,00 mm. Cetakan mengambil referensi dari cetakan *three plate system* 4545 yang ada di pasaran, cetakan terdiri dari *top plate*, *cavity plate*, *core plate*, *support plate*, *spacer block*, *ejector plate*, *ejector retainer plate*, dan *bottom plate*, dengan aksesoris *locating ring*, *sprue bushing*, *hex socket head screw*, *guide pin with oil grooves*, *guide bushing*, *support pin*, *return pin*, dan *ejector pin*.

### 6.2 Saran

Dengan kesimpulan dari penelitian dan perancangan yang sudah dilakukan, saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut mengenai topik ini diantaranya sebagai berikut.

1. Melakukan pengujian kekuatan dalam bentuk spesimen uji agar baik secara desain maupun material untuk sungkup helm masih dapat disesuaikan sebelum masuk ke tahap produksi cetakan atau *mold base*.
2. Material yang diteliti dapat menggunakan material *thermosetting* atau komposit agar kualitas produk lebih kuat dan awet.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

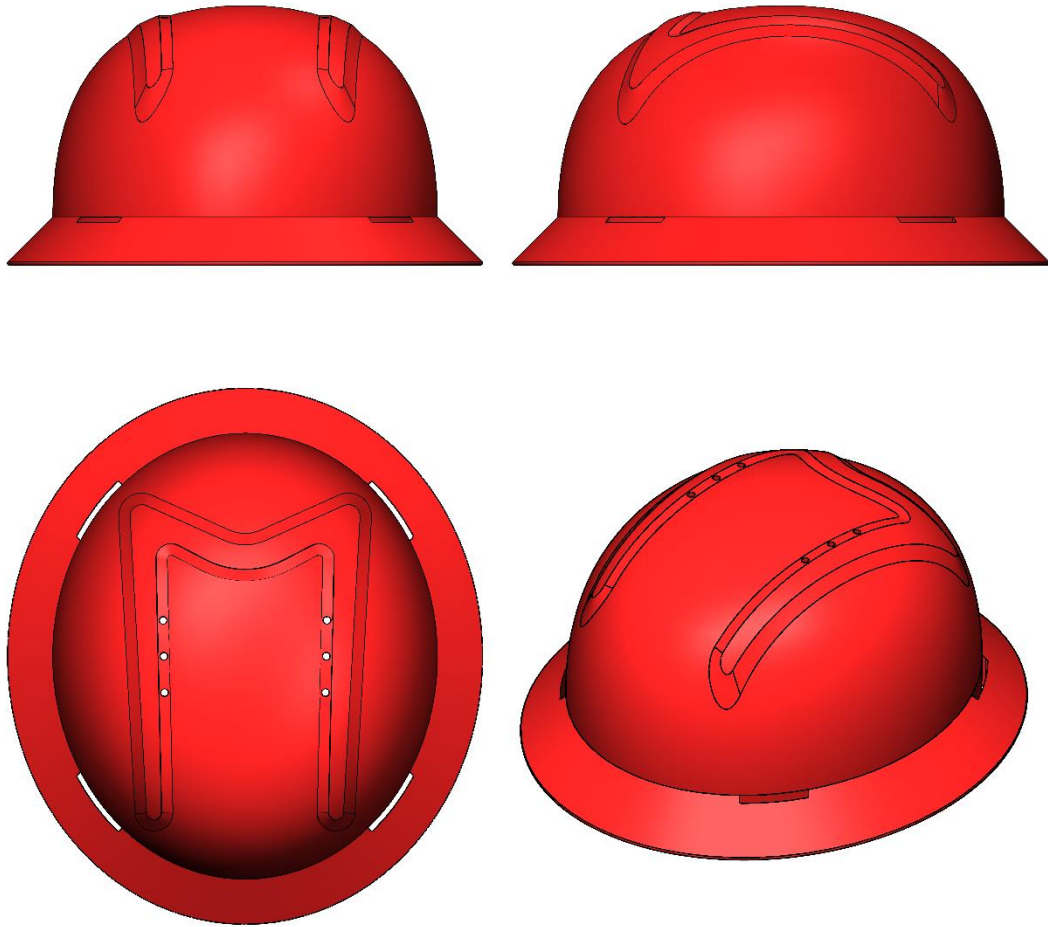
## DAFTAR PUSTAKA

- Ammar Adnan, Roya Latifi, Samsul Bahri Mohd Thamrin, Yee Guan Ng, Khairul Nazri Abd Wahib, Ahmad Rizal Abdul Rahman, & Shahrman Abu Bakar. (2016). A Case Study of on the Usage of Safety Helmet Among Agricultural Workers in Palm Oil Plantation. *Human Factors and Ergonomics Journal*, 1(2), 53–57.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2023* (Vol. 17). BPS RI.
- Charles A. Harper. (2002). *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites* (4 ed.). McGraw-Hill.
- David Kazmer. (2016). *Injection Mold Design Engineering* (2 ed.). Hanser.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2021, Maret 3). *Mengenal Sisal (Agave Sisalana) Sebagai Salah Satu Tanaman Yang Dapat Bertahan Di Lahan Kering*.
- Douglas M. Bryce. (1996). *Plastic Injection Molding, Volume III: Mold Design and Construction Fundamentals*. Society of Manufacturing Engineers.
- Douglas M. Bryce. (1996). *Plastic Injection Molding, Volume I: Manufacturing Process Fundamentals*. Society of Manufacturing Engineers.
- Hutten, I. M. (2016). *Handbook of Nonwoven Filter Media* (2 ed.). Elsevier.
- I Made Londen Batan. (2012). *Desain Produk* (1 ed.). Guna Widya Kertajaya.
- John P. Beaumont. (2019). *Runner and Gating Design Handbook* (3 ed.). Hanser.
- Joseph, P. V., Joseph, K., Thomas, S., Pillai, C. K. S., Prasad, V. S., Groeninckx, G., & Sarkissova, M. (2003). The thermal and crystallisation studies of short sisal fibre reinforced polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 34(3), 253–266. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(02\)00185-9](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(02)00185-9)
- Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger, & Maria C. Yang. (2020). *Product Design and Development* (7 ed.). McGraw-Hill Education.
- Serikat Petani Kelapa Sawit Indonesia. (2016). *Standar Operasional Prosedur Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)*. Serikat Petani Kelapa Sawit Indonesia.
- Serope Kalpakjian, & Steven R. Schmid. (2009). *Manufacturing Engineering and Technology* (6 ed.). Prentice Hall.
- Sethi, S., & Ray, B. C. (2015). Environmental effects on fibre reinforced polymeric composites: Evolving reasons and remarks on interfacial strength and stability. *Advances in Colloid and Interface Science*, 217, 43–67. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.12.005>
- Shamsul Bahri, M. T., Guan, N. Y., Abd Wahib, K. N., Rahman, R., Abu Bakar, S., Sapuan, S. M., & Mohd Suadi Nata, D. H. (2019). *Creativity in Design of Safety Helmet for Oil Palm Workers* (hlm. 1044–1047). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96071-5\\_106](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96071-5_106)
- Siswoto. (t.t.). *Blow & Injection Mould-Design*. PT Berlina.
- Sudhakara, P., Jagadeesh, Dani., Wang, Y., Prasad, C. V., Devi, A. P. K., Balakrishnan, G., Kim, B. S., & Song, J. I. (2013). Fabrication of Borassus fruit lignocellulose fiber/PP composites and comparison with jute, sisal and coir fibers. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 1002–1010. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.06.080>
- Taifor, M., Öztürk, E., & Yildirim, N. (2018, November). *SIMULATION AND OPTIMIZATION OF A PLASTIC INJECTION PROCESS FOR MANUFACTURE OF PLASTIC GEARS WITH MINIMIZED DEFECTS IN THE PRODUCT*.
- Taufiq Rochim. (2001). *Spesifikasi Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik*. ITB Press.
- Wendy Blaxland. (2010). *Helmets*. Macmillan Education Australia Pty Ltd.

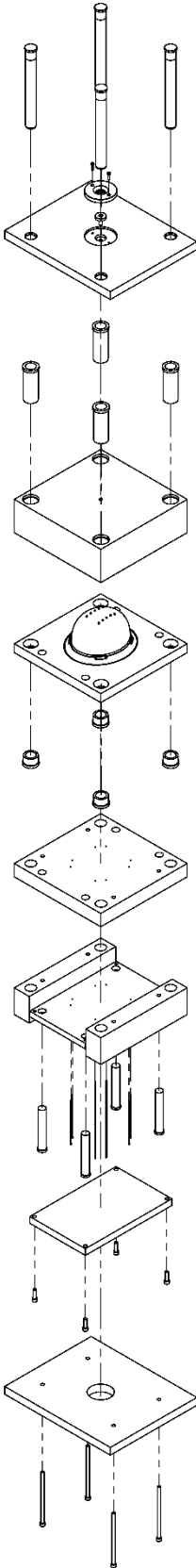
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

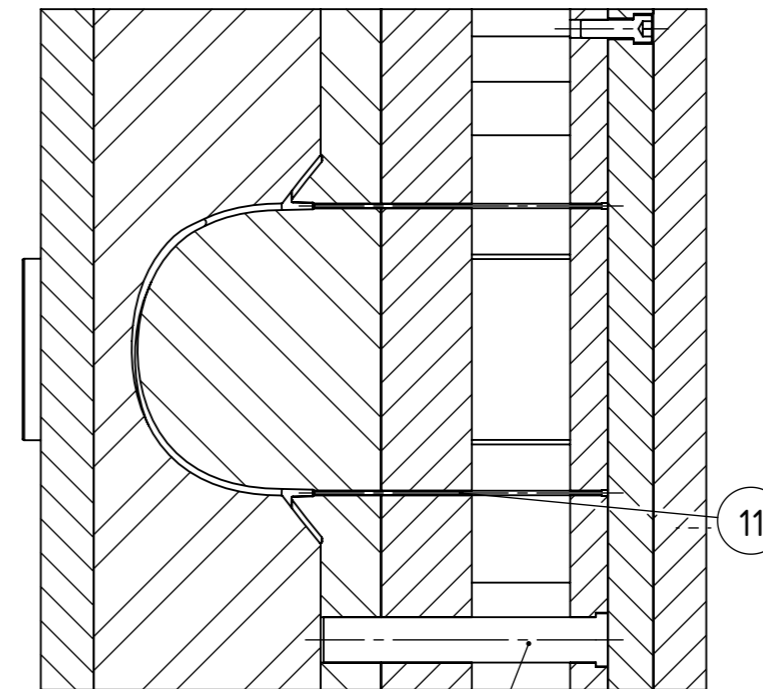
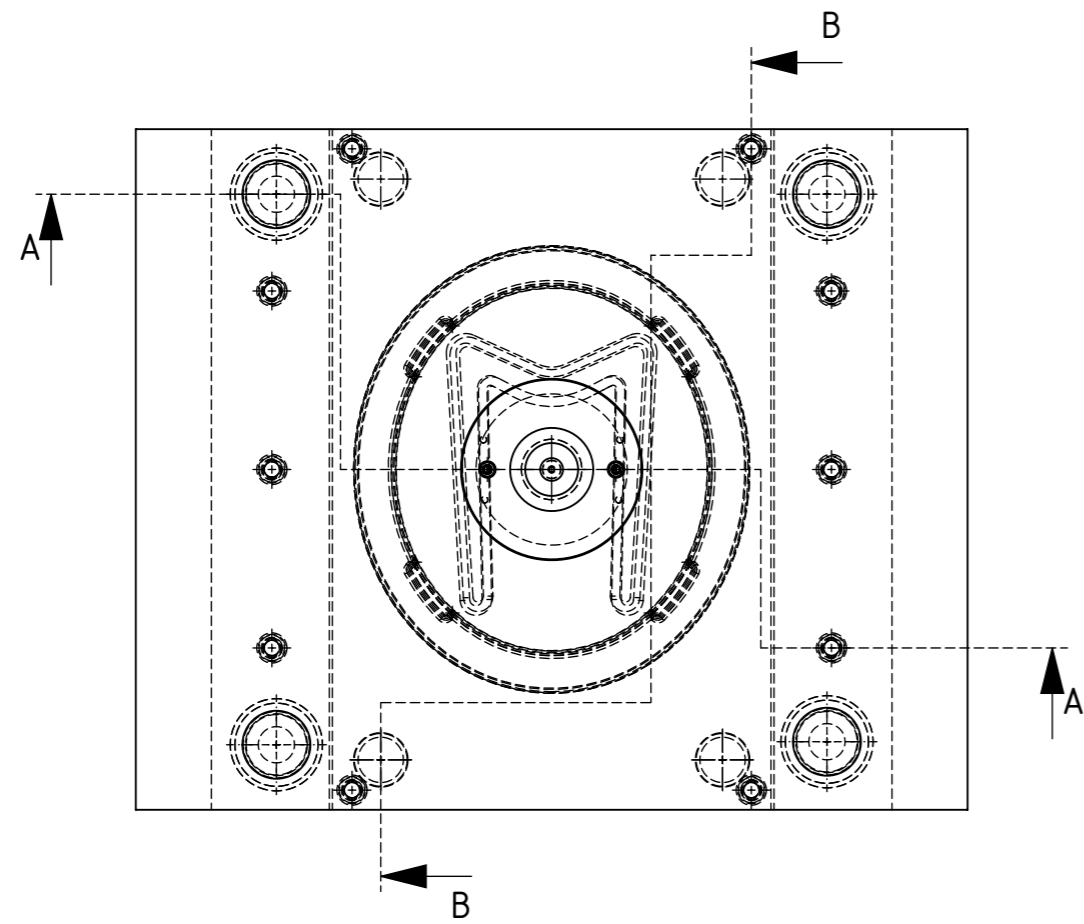
## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Sungkup Helm

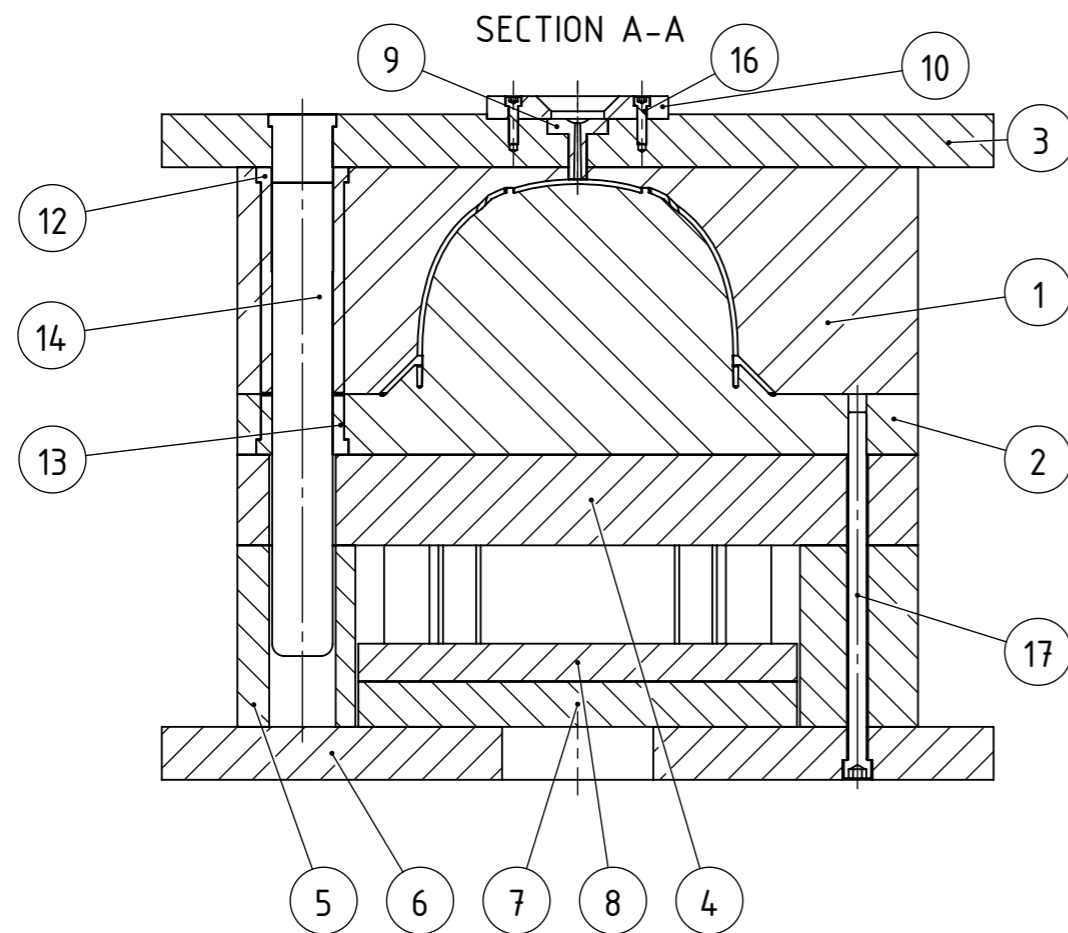


Lampiran 2 Gambar Susunan Cetakan



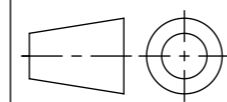


SECTION B-B



SECTION A-A

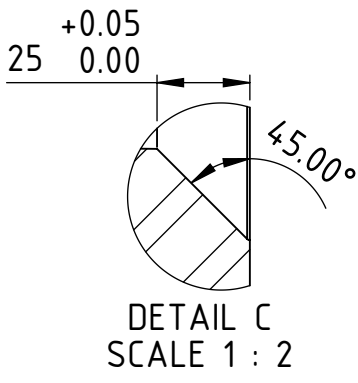
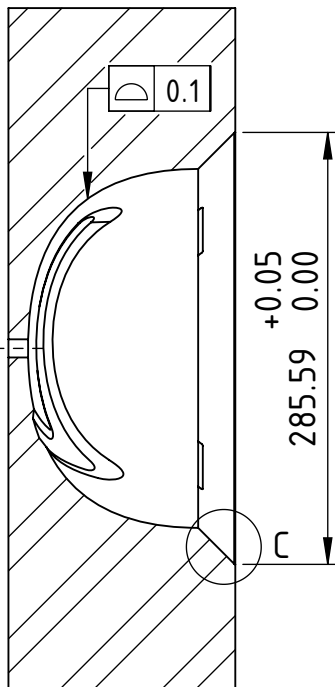
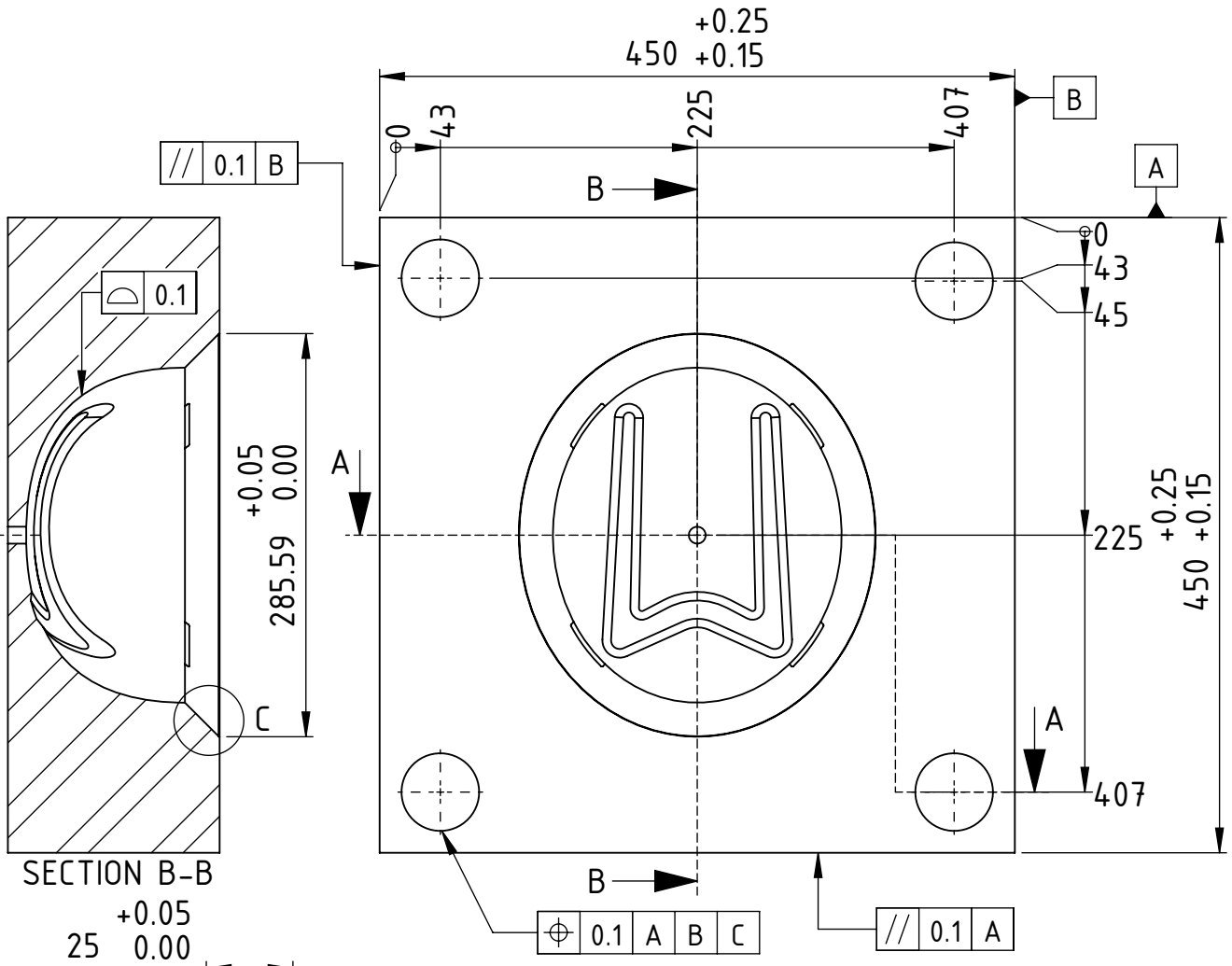
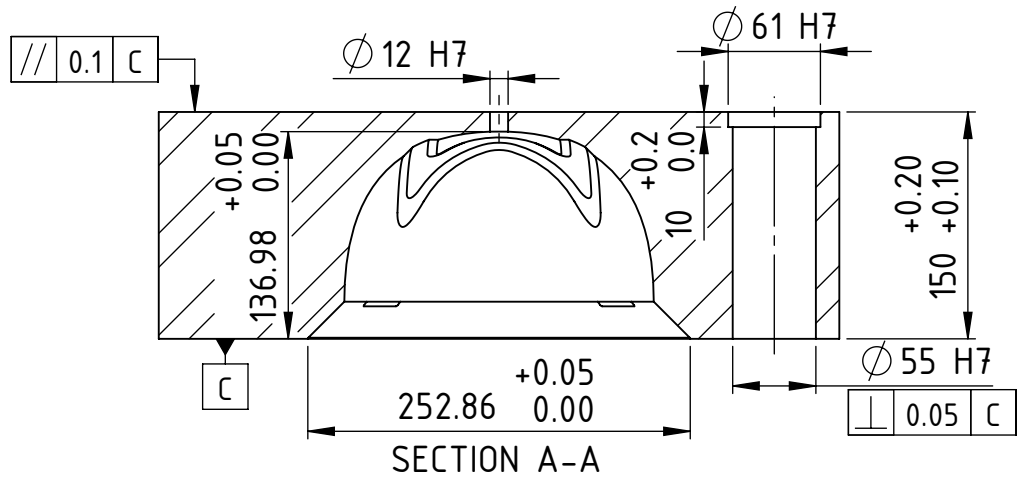
18	4	Baut L M12	SCM435	M12 X 35 - 35N	
17	6	Baut L M12	SCM435	M12 X 230 - 36N	
16	2	Baut L M6	SUJ2	M6 X 25 - 25N	
15	4	Return pin	SUJ2	RPN8TH30-150-35	
14	4	Guide pin	SUJ2	GPG40-410	
13	4	Core guide bush	SUJ2	GBA40-40	
12	4	Cavity guide bush	SUJ2	GBA40-150	
11	8	Ejector pin	SKD61	EPD-L3-194	
10	1	Locating ring	S45C	LRJS120-15	
9	1	Sprue bushing	SKD61	SJAC12-30-SR11-P4-A1	
8	1	Retainer plate	S50C	450 X 290 X 30	
7	1	Ejector plate	S50C	450 X 290 X 25	
6	1	Bottom plate	S50C	550 X 450 X 35	
5	1	Spacer	S50C	450 X 78 X 120	
4	1	Support plate	S50C	450 X 450 X 60	
3	1	Top plate	S50C	550 X 450 X 35	
2	1	Core plate	S50C	450 X 450 X 179	
1	1	Cavity plate	S50C	450 X 450 X 150	
No	Jumlah	Nama Bagian	Bahan	Normalisasi	Keterangan



Skala : 1:5  
Satuan : mm  
Tanggal:

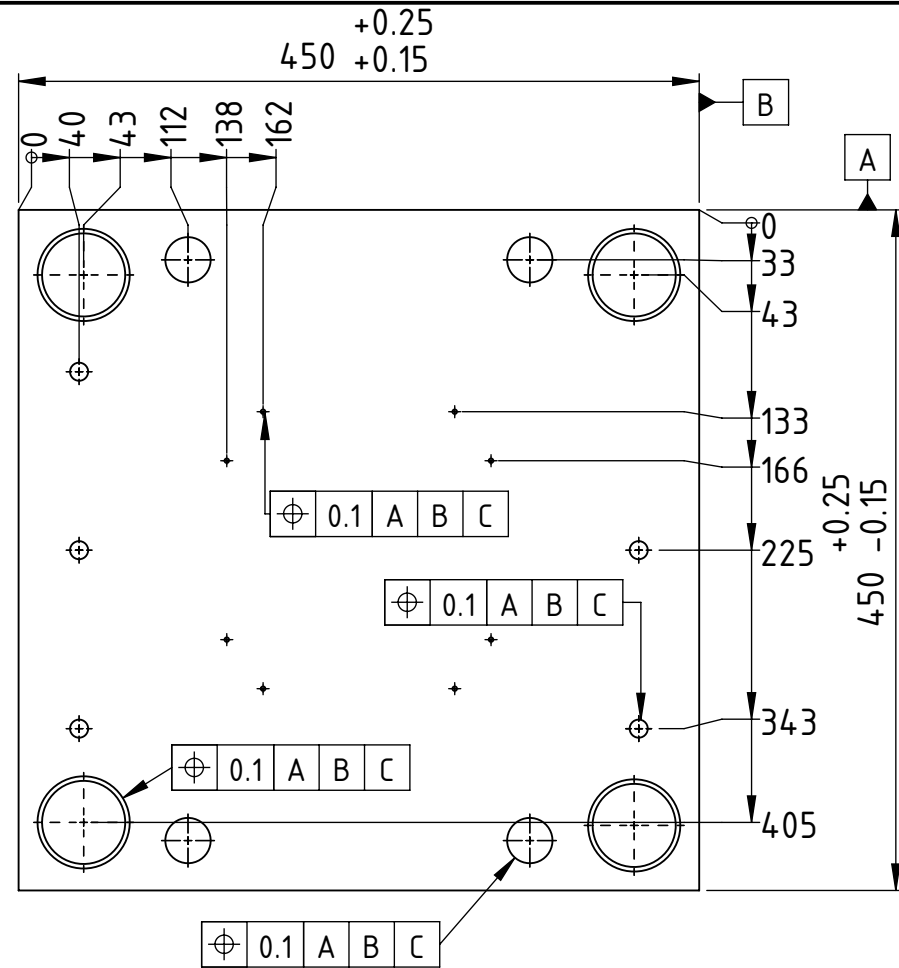
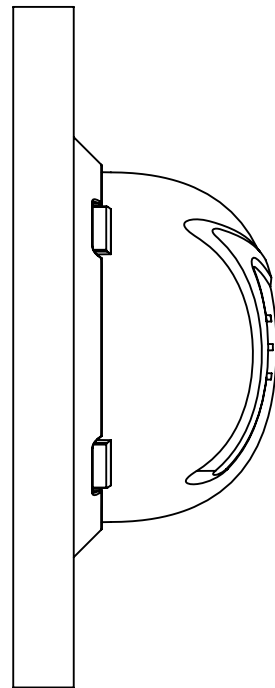
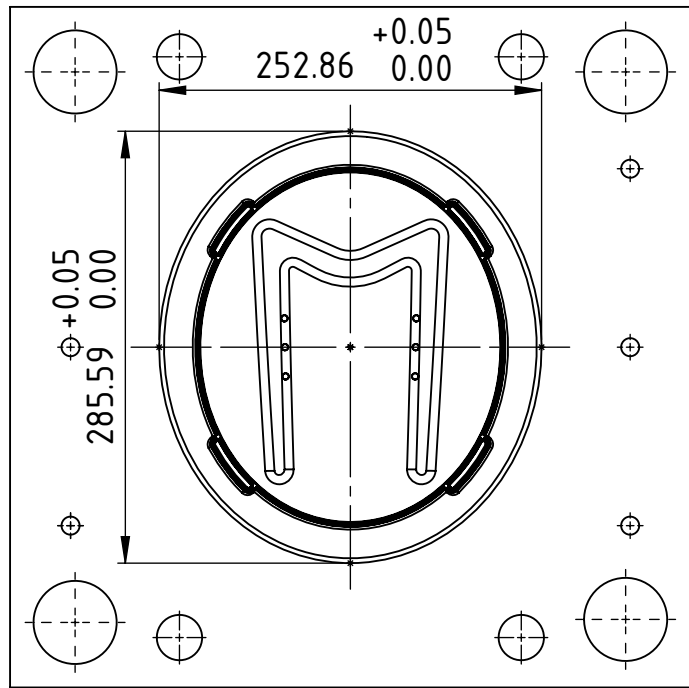
Digambar : Galang  
NRP : 5007201104  
Diperiksa:

Peringatan :

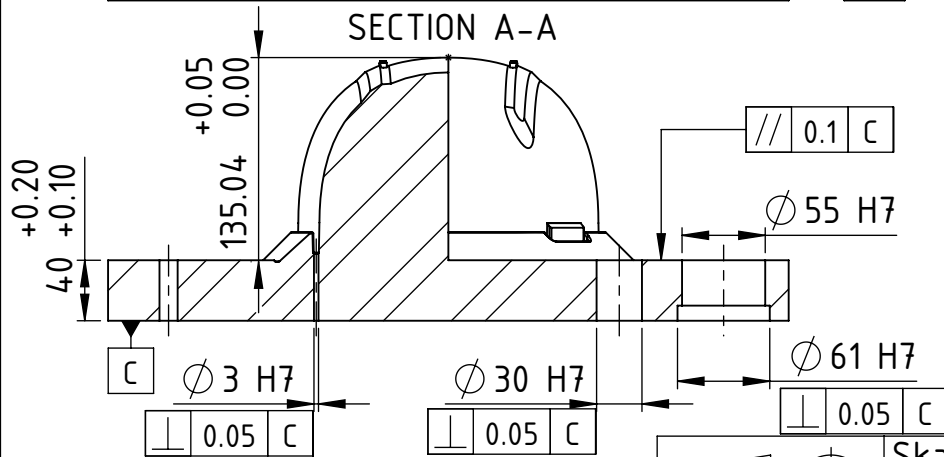


	Skala : 1:5	Digambar : Robertus Galang	Peringatan :	
	Satuan : mm	NRP : 5007201104		
	Tanggal:	Diperiksa:		
TEKNIK MESIN FTIRS ITS	CAVITY PLATE	NO. 1	A4	

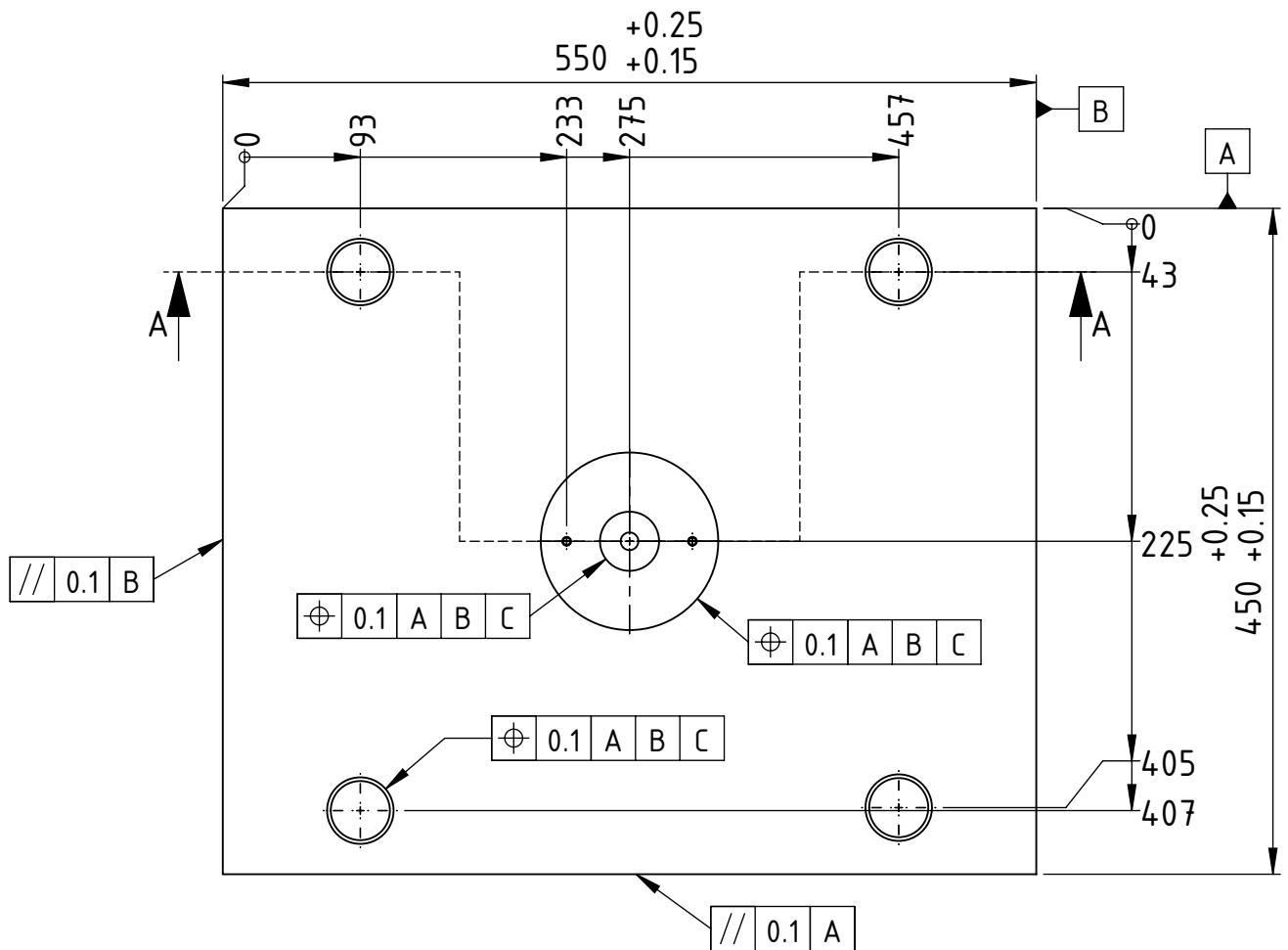
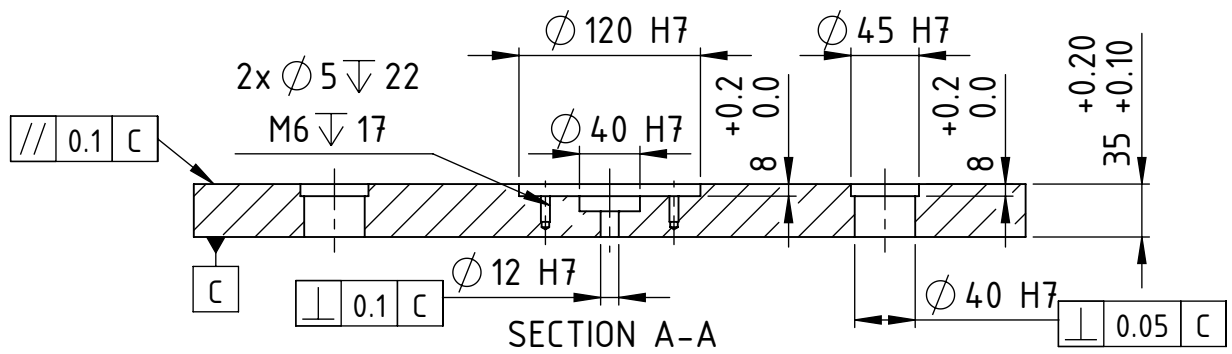




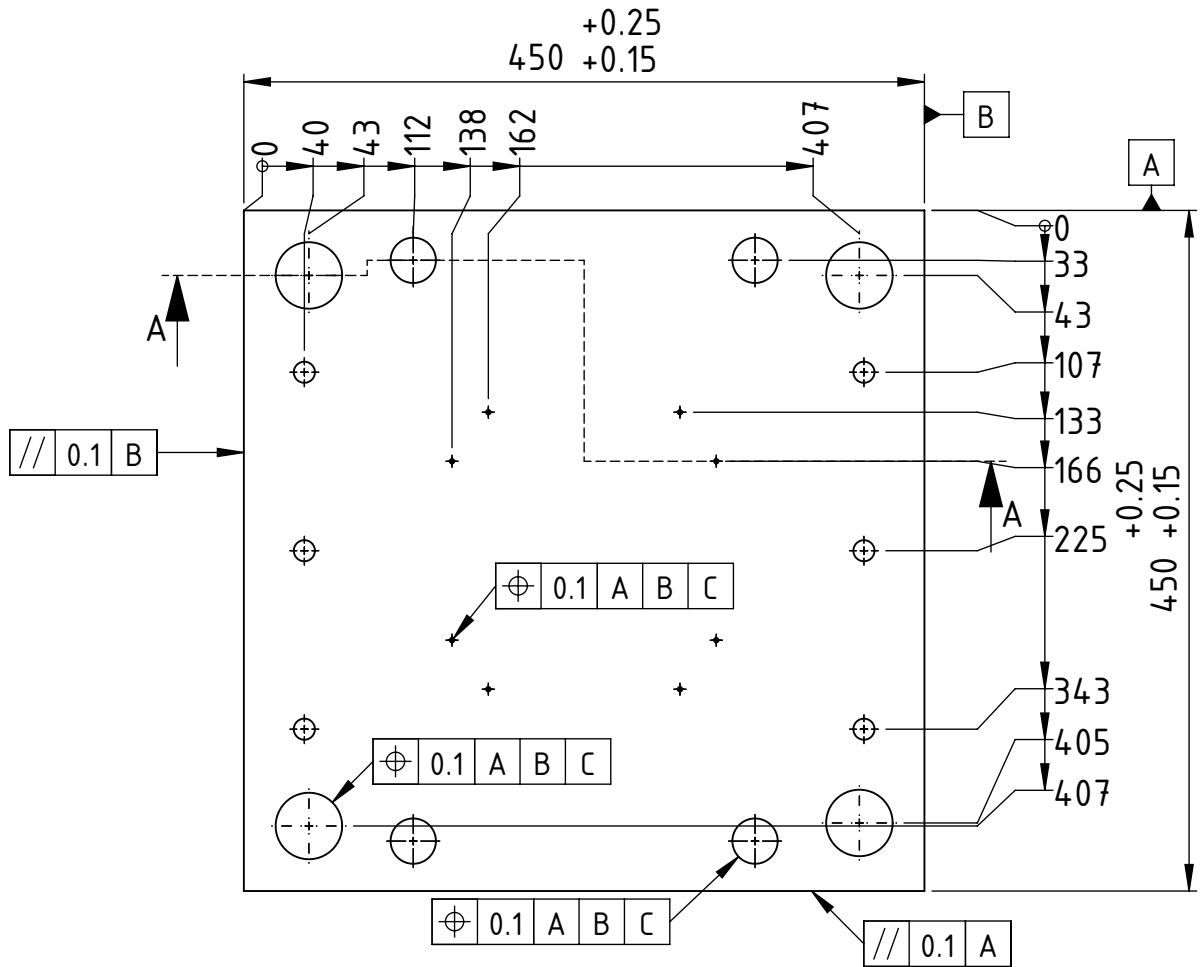
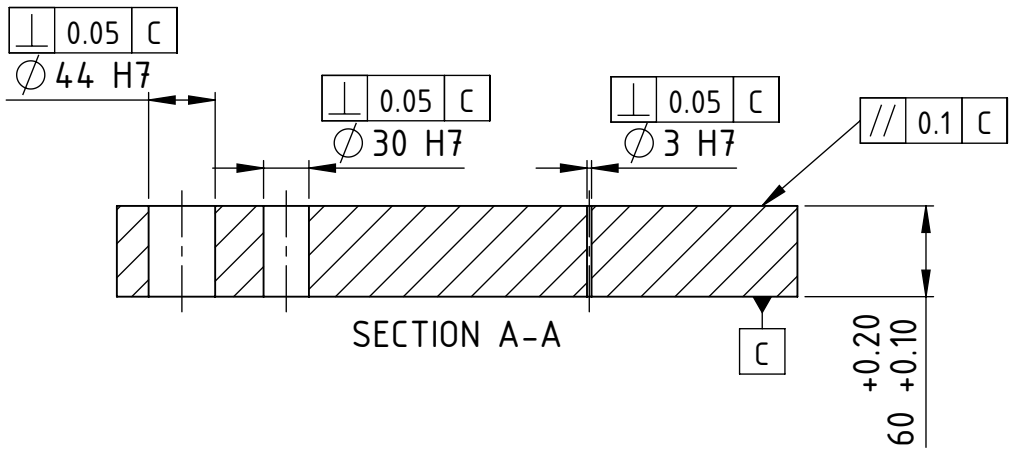
SECTION A-A



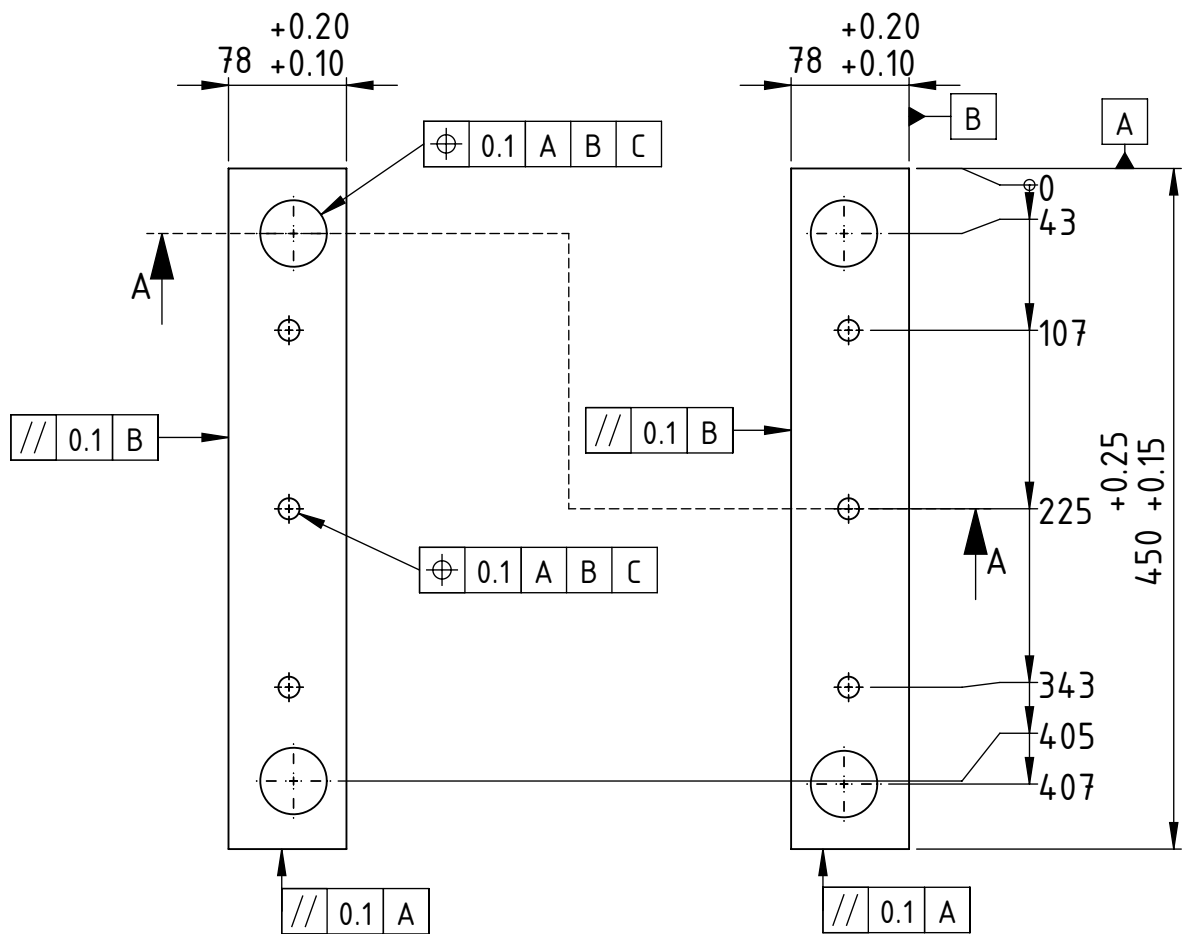
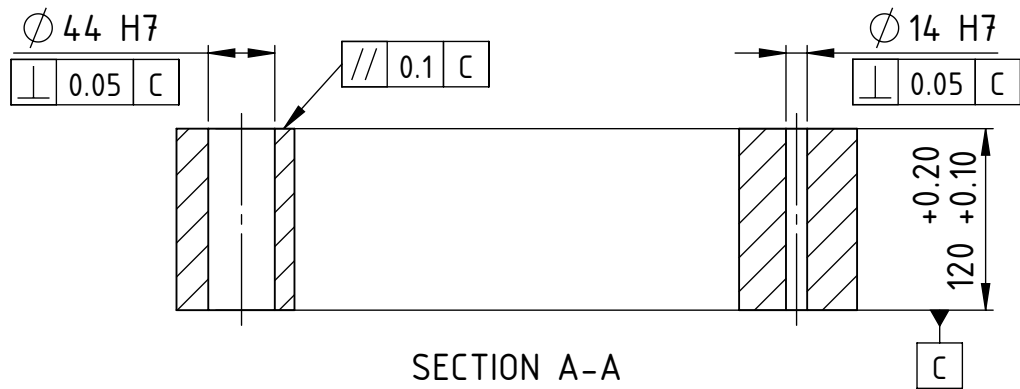
	Skala : 1:5	Digambar : Robertus Galang	Peringatan :	
	Satuan : mm	NRP : 5007201104		
	Tanggal:	Diperiksa:		
TEKNIK MESIN FTIRS ITS	CORE PLATE		NO. 2	A4



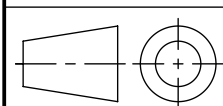
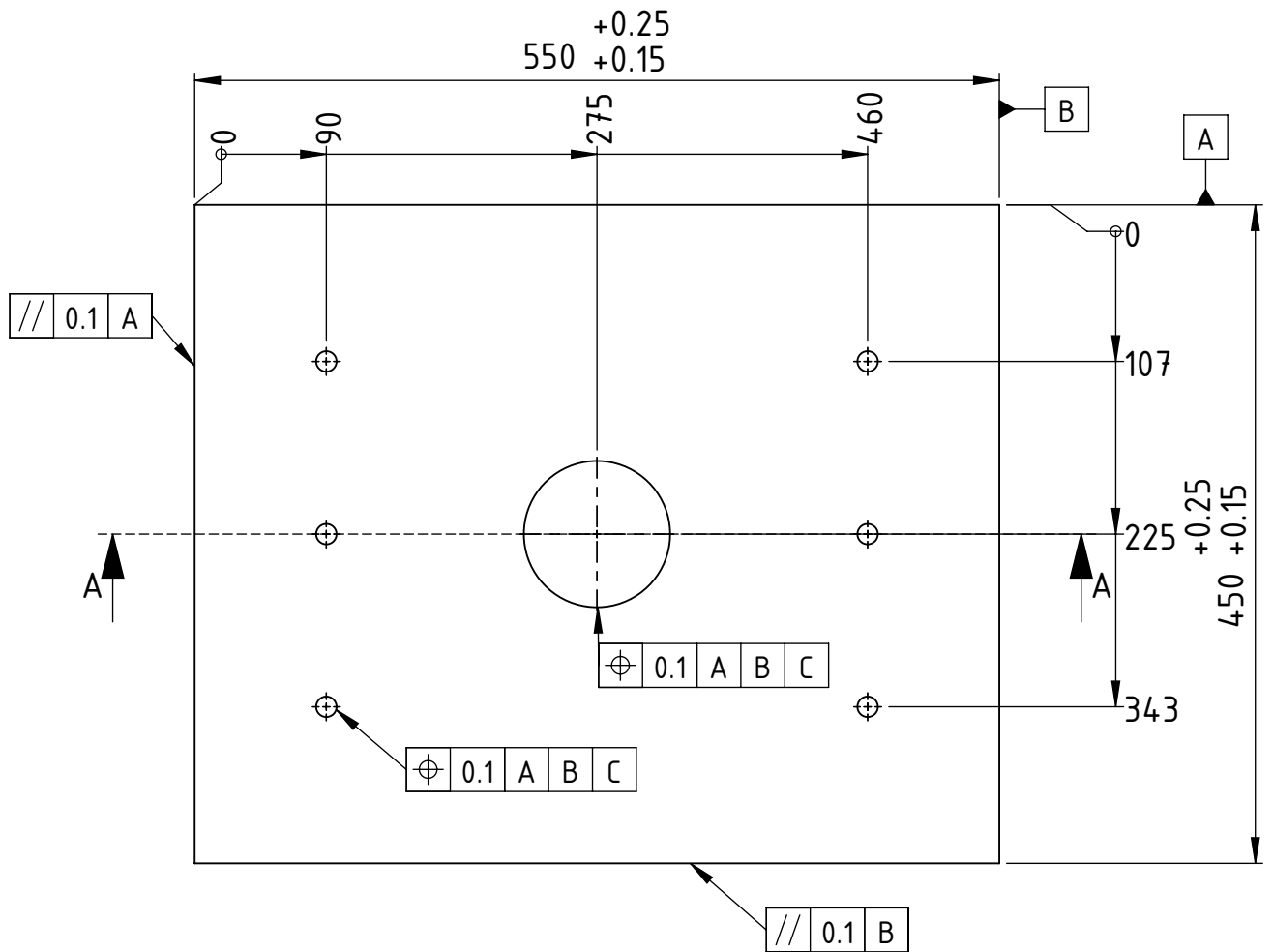
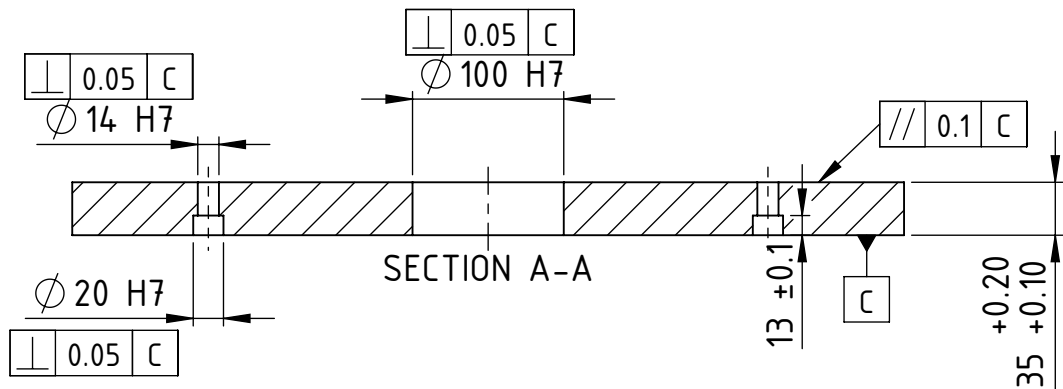
	Skala : 1:5	Digambar : Robertus Galang	Peringatan :	
	Satuan : mm	NRP : 5007201104		
	Tanggal:	Diperiksa:		
TEKNIK MESIN FTIRS ITS	TOP PLATE	NO. 3	A4	



	Skala : 1:5	Digambar : Robertus Galang	Peringatan :	
	Satuan : mm	NRP : 5007201104		
	Tanggal:	Diperiksa:		
TEKNIK MESIN FTIRS ITS	TOP PLATE	NO. 4	A4	



	Skala : 1:5	Digambar : Robertus Galang	Peringatan :	
	Satuan : mm	NRP : 5007201104		
	Tanggal:	Diperiksa:		
TEKNIK MESIN FTIRS ITS	SPACER	NO. 5	A4	

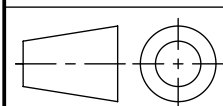
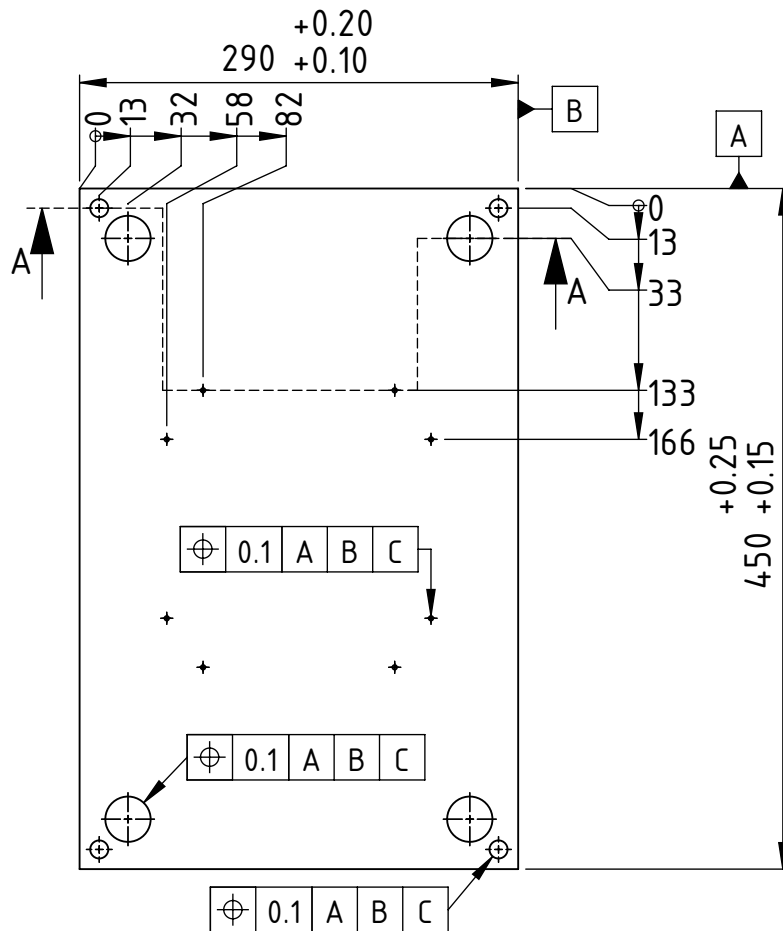
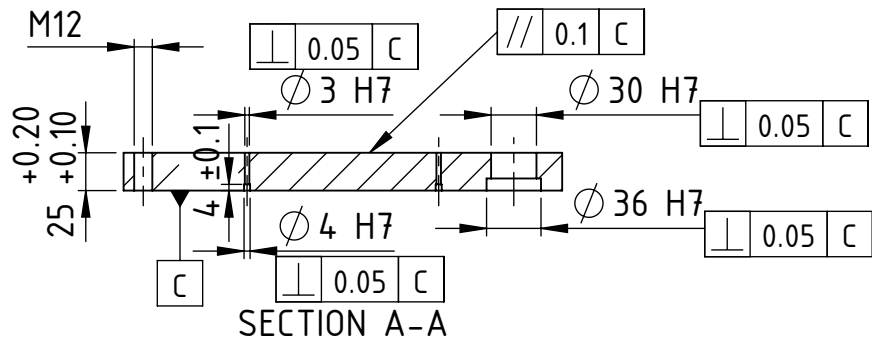


Skala : 1:5  
 Satuan : mm  
 Tanggal:

Digambar : Robertus Galang  
 NRP : 5007201104  
 Diperiksa:

Peringatan :

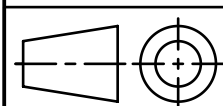
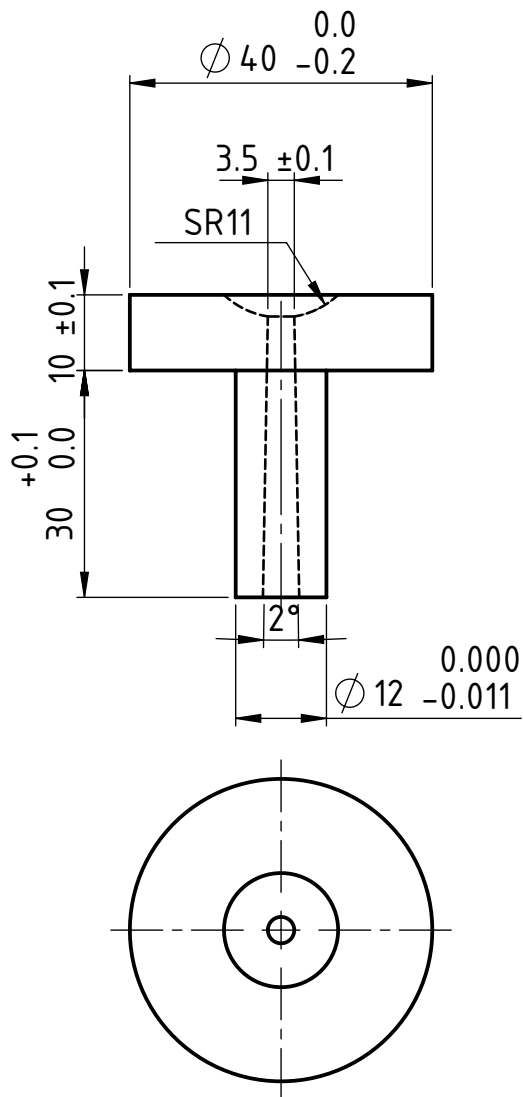




Skala : 1:5  
 Satuan : mm  
 Tanggal:

Digambar : Robertus Galang  
 NRP : 5007201104  
 Diperiksa:

Peringatan :



Skala : 1:1

Satuan : mm

Tanggal :

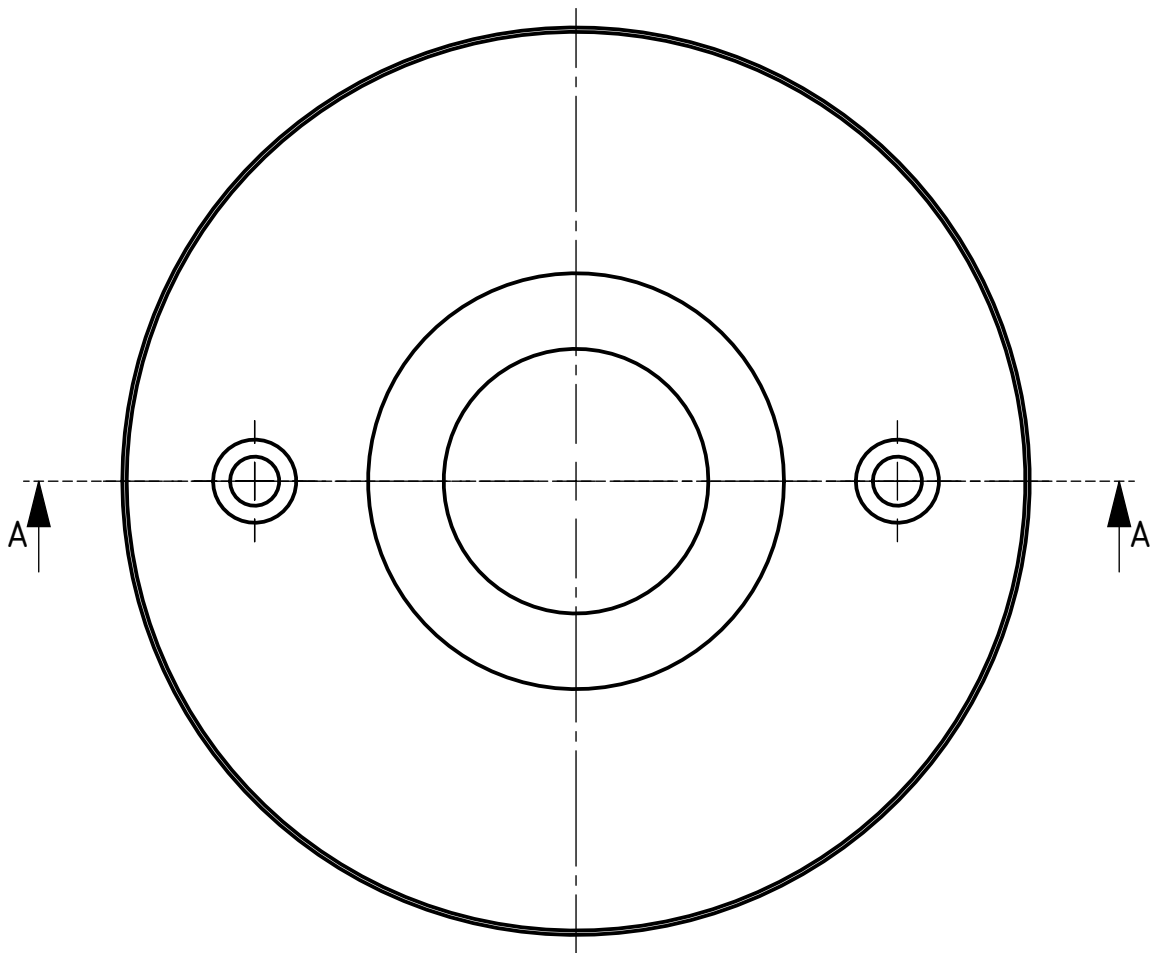
Digambar : Robertus Galang

NRP : 5007201104

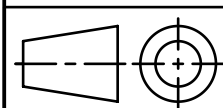
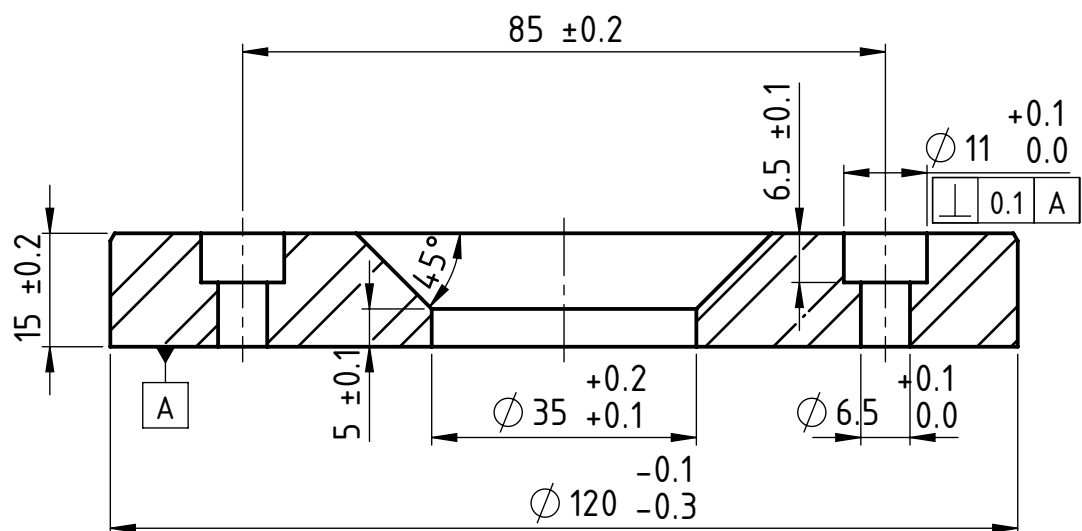
Diperiksa :

Peringatan :





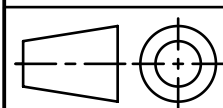
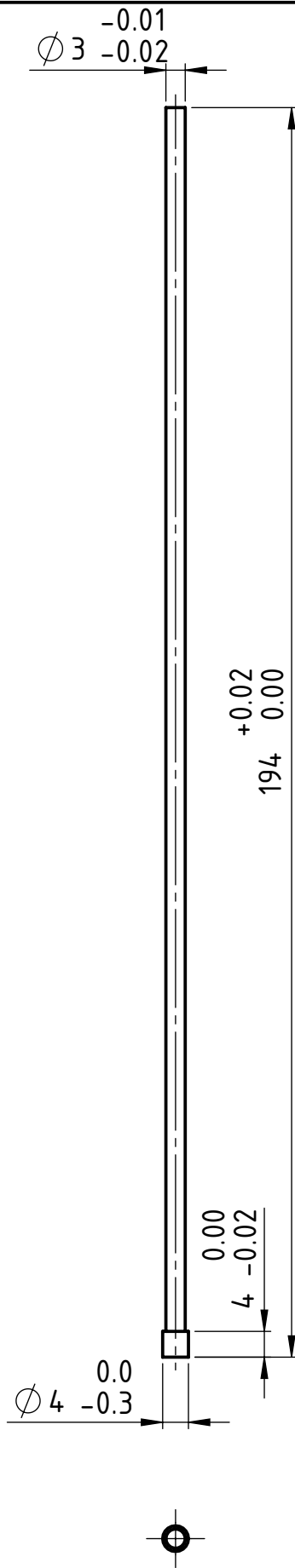
SECTION A-A



Skala : 1:1  
 Satuan : mm  
 Tanggal :

Digambar : Robertus Galang  
 NRP : 5007201104  
 Diperiksa :

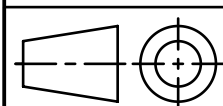
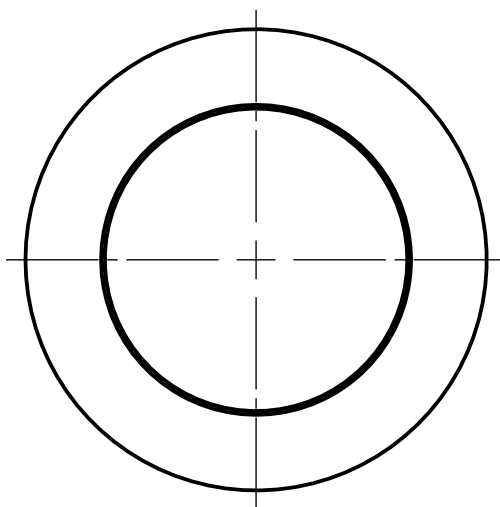
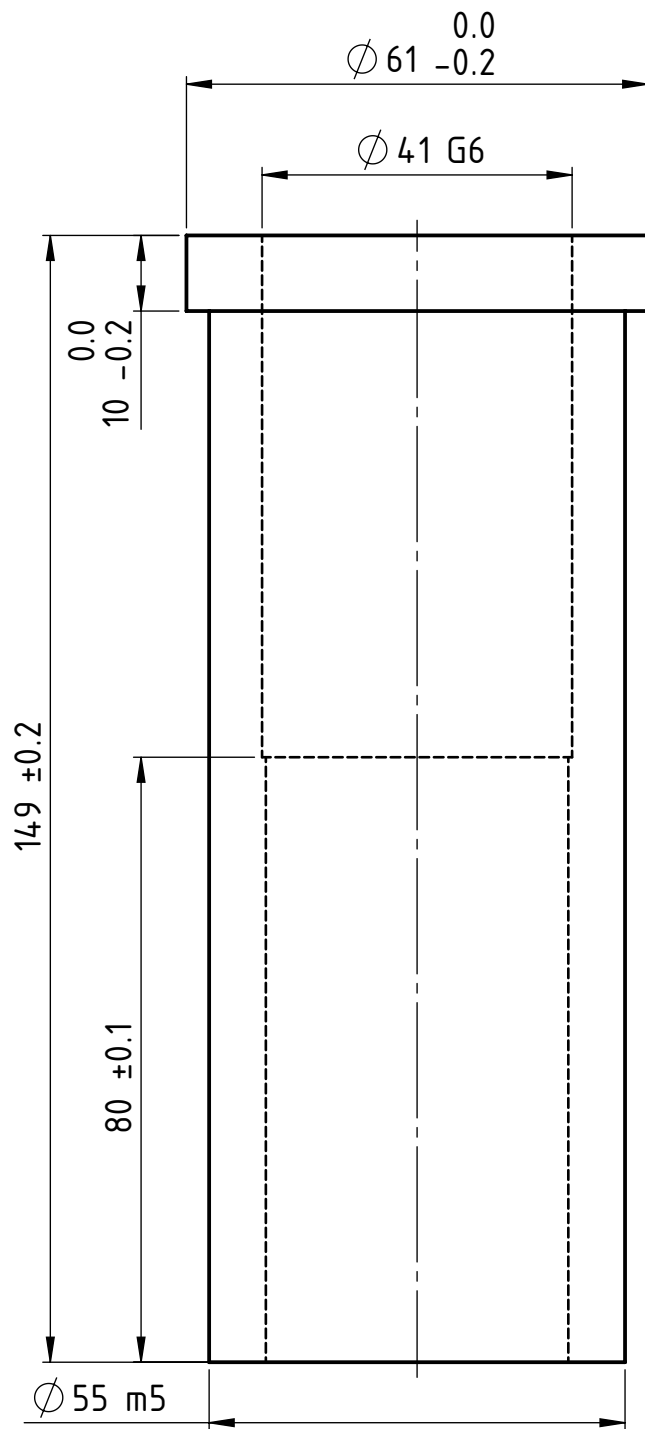
Peringatan :



Skala : 1:1  
 Satuan : mm  
 Tanggal :

Digambar : Robertus Galang  
 NRP : 5007201104  
 Diperiksa :

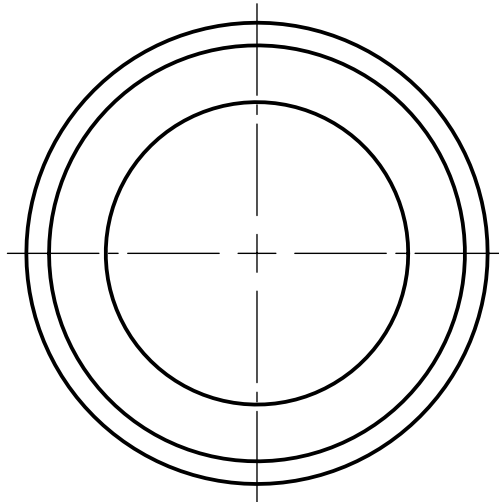
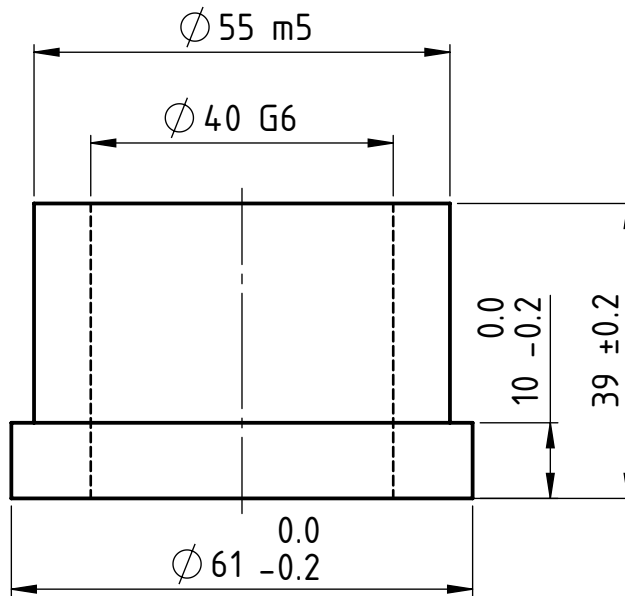
Peringatan :



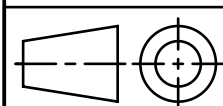
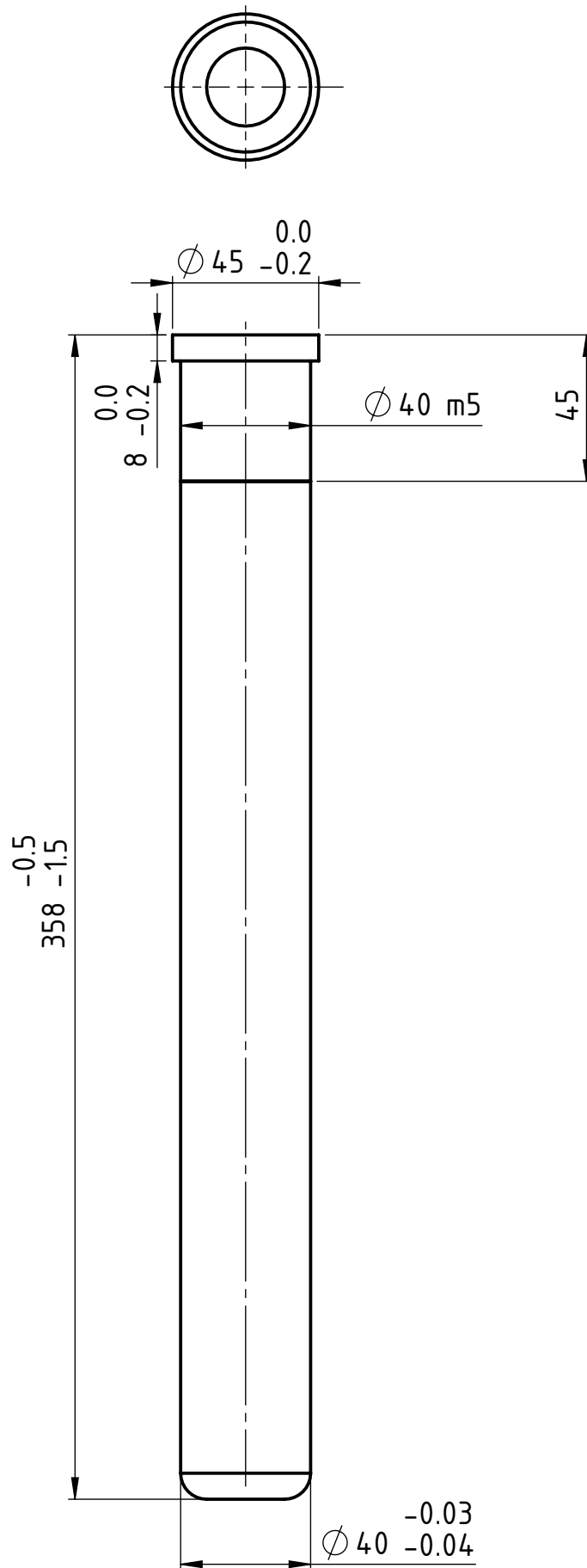
Skala : 1:1  
 Satuan : mm  
 Tanggal :

Digambar : Robertus Galang  
 NRP : 5007201104  
 Diperiksa :

Peringatan :



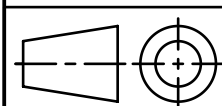
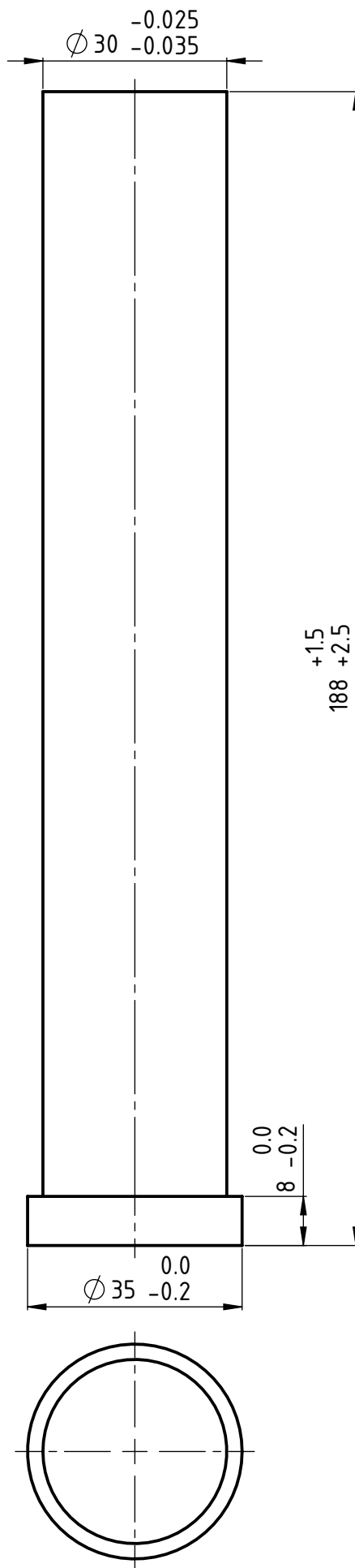
	Skala : 1:1	Digambar : Robertus Galang	Peringatan :	
	Satuan : mm	NRP : 5007201104		
	Tanggal :	Diperiksa :		
TEKNIK MESIN FTIRS ITS	GUIDE BUSH CORE	NO. 13	A4	



Skala : 1:2  
 Satuan : mm  
 Tanggal :

Digambar : Robertus Galang  
 NRP : 5007201104  
 Diperiksa :

Peringatan :



Skala : 1:1

Satuan : mm

Tanggal :

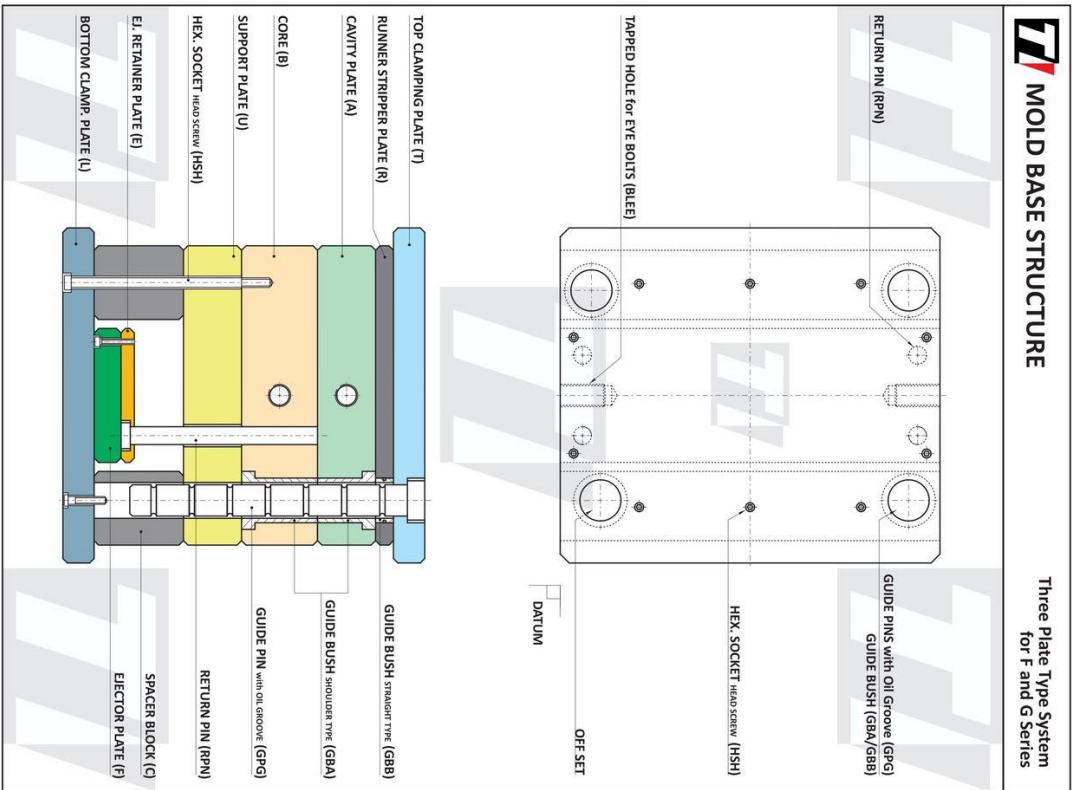
Digambar : Robertus Galang

NRP : 5007201104

Diperiksa :

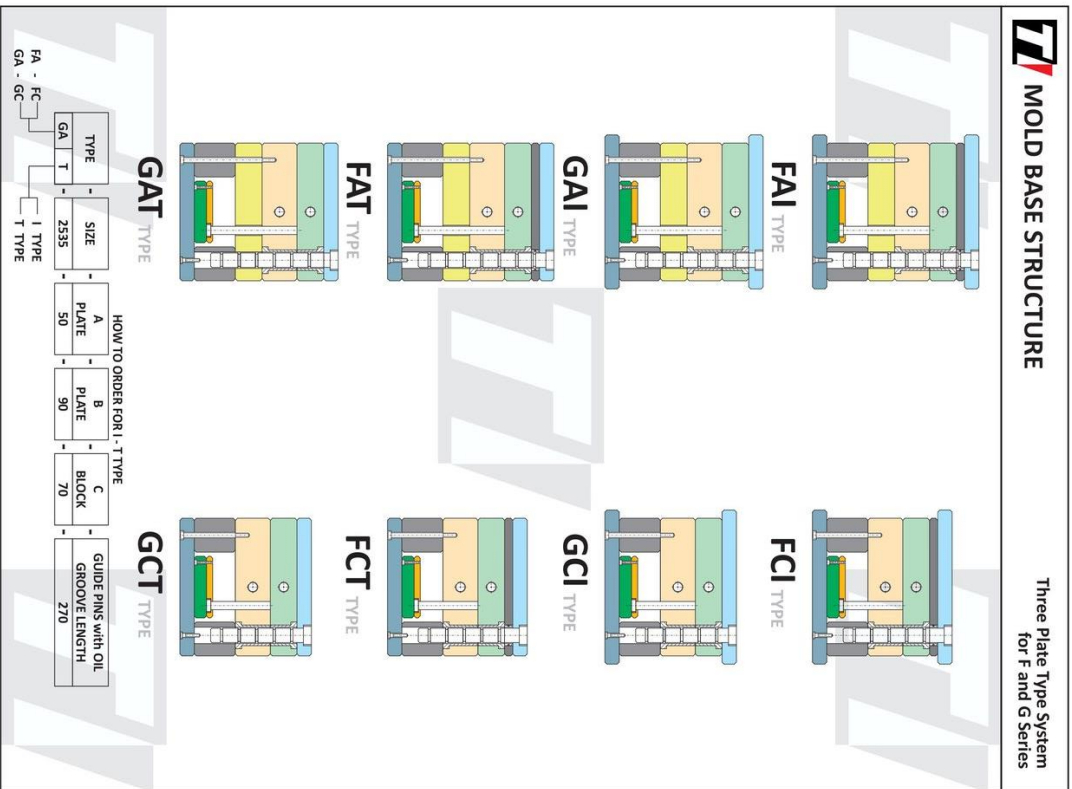
Peringatan :

# Lampiran 3 Standar dan Toleransi Cetakan dan Aksesoris



**MOLD BASE STRUCTURE**

Three Plate Type System  
for F and G Series



**MOLD BASE STRUCTURE**

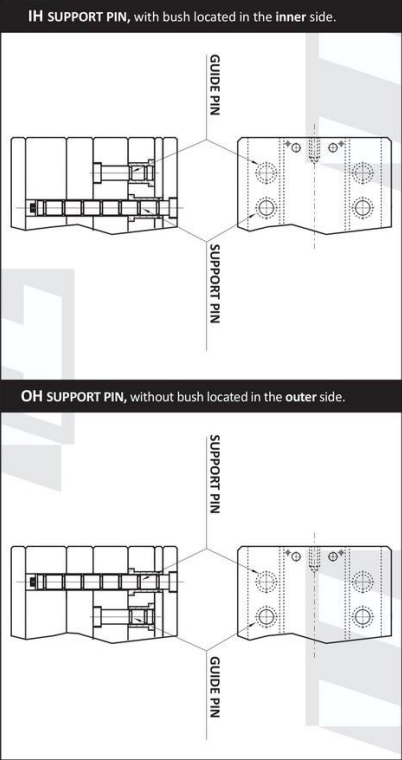
Three Plate Type System  
for F and G Series

6

7

## MOLD BASE SPECIFICATIONS

Select a suitable specifications for the 3-plate type **D** and **E** series, according to the position of the **SUPPORT PIN**, and the type with or without bush.



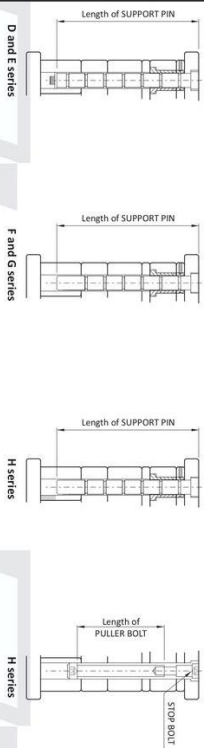
### LENGTH of SUPPORT PIN, PULLER BOLT and STOP BOLT

#### LENGTH of SUPPORT PIN

Select the suitable length of the SUPPORT PIN for the 3-plate type from the dimension in catalogue list.

#### LENGTH of PULLER BOLT and STOP BOLT

PULLER BOLT and STOP BOLT are used for H series. The length of the STOP BOLT fixed each mold base size. The length of the PULLER BOLT and STOP BOLT shall be selected from the dimension in catalogue list. The length of the PULLER BOLT is expressed excluding the head.

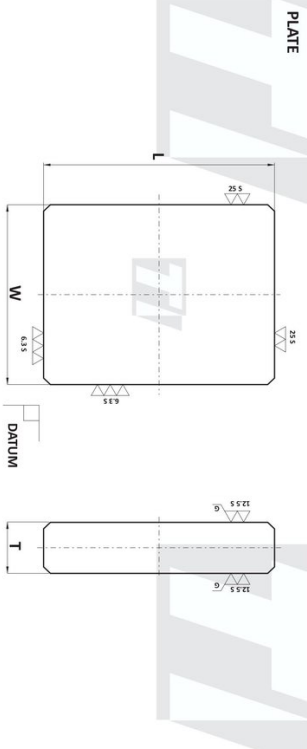


#### ADJUSTMENT of PULLER BOLT and STOP BOLT

- The opening between the TOP CLAMPING PLATE and the runner STRIPPER PLATE is set to 10 mm with the STOP BOLT. The opening can be adjusted by adding a washer or make the counter bore deeper.
  - The opening between the runner STRIPPER PLATE and the CAVITY PLATE is set with the PULLER BOLT.
2. When the length of the PULLER BOLT not meet the dimensional requirements, drill a counter bore on the CAVITY PLATE for adjustment.

8

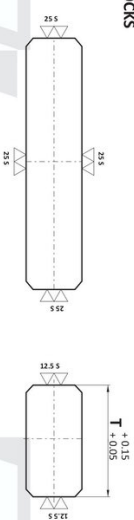
## ACCURACY of MOLD BASE STRUCTURE



NAME of PLATE	MATERIAL	PARALLELNESS of the "T" SIDES	DEVIATION of DATUM PLANE
Top Clamping Plate (T), Runner Stripper Plate (R), Cavity Plate (A) Stripper Plate (S), Core Plate (B) Support Plate (U), Ejector Plate (E) Bottom Clamping Plate (L)	S50C	0.008 per 100 mm	0.008 per 100 mm

"T" TOLERANCE	T	FLATNESS of the "T" SIDE per 100 mm	
		T	L
≤ 300	+0.10 ~ +0.20	> 5 ≤ 10	< 0.020
> 300 ≤ 600	+0.15 ~ +0.25	> 10 ≤ 20	< 0.015
> 600 ≤ 1150	+0.20 ~ +0.30	> 20 ≤ 40	< 0.010
		> 40 ≤ 350	< 0.008

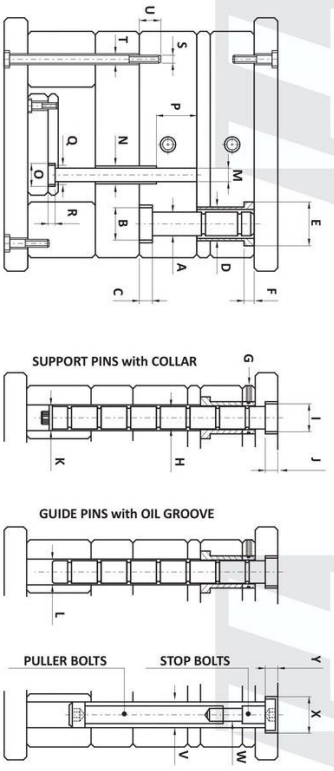
#### SPACER BLOCKS



NAME of PLATE	MATERIAL	PARALLELNESS of the "T" SIDES	DEVIATION of DATUM PLANE (When 2 Plates are Made into 1 Set)
Spacer Block (C)	S50C	0.008 per 100 mm	0.02

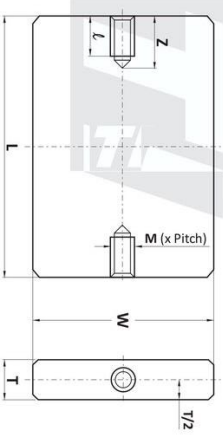
9





NOMINAL SIZE	GUIDE PINS			GUIDE BUSHING							SUPPORT PINS			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		
16	16	21	6	25	30	6	M5	16	20	8	24	19		
20	20	25	6	30	35	8	M6	20	25	10	29	24		
25	25	30	8	35	40	8	M6	25	30	12	34	29		
30	30	35	8	42	47	10	M8	30	35	14	42	34		
35	35	40	8	48	54	10	M8	35	40	16	47	39		
40	40	45	10	55	61	10	M8	40	45	18	52	44		
50	50	56	12	70	76	12	M10	50	56	20	65	54		

NOMINAL SIZE	HEX. SOCKET HEAD SCREW			RETURN PINS								STOP and PULLER BOLTS				
	S	T	U	M	N	O	P	Q	R	NOMINAL SIZE	V	W	X	Y		
M6	M6	6.6	1.5	12	12	13	18	50	17	4	13	14	9	19	9	
M8	M8	9	2.0	15	15	16	21	60	20	4	16	17	11	25	14	
M10	M10	11	2.8	20	20	21	26	80	25	4	20	21	13	30	14	
M12	M12	14	3.0	25	25	26	31	100	30	8	25	26	17	36	19	
M14	M14	16	3.5	30	30	31	36	120	35							
M16	M16	18	3.5													
M20	M20	22	4.0													



Available Standard Length (L), Wide (W), Thickness (T) of Core Plate are:  
 Length "L": 150, 180, 200, 230, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800.  
 Wide "W": 150, 180, 200, 230, 250, 270, 290, 300, 330, 350, 400, 450, 500, 550, 600.  
 Thickness "T": 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 200.

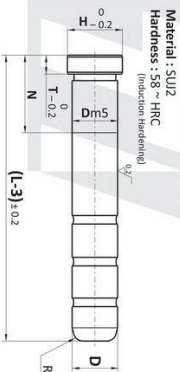
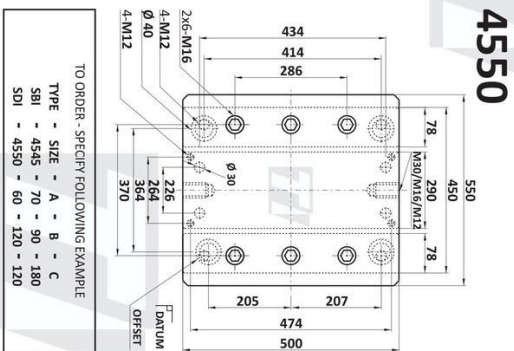
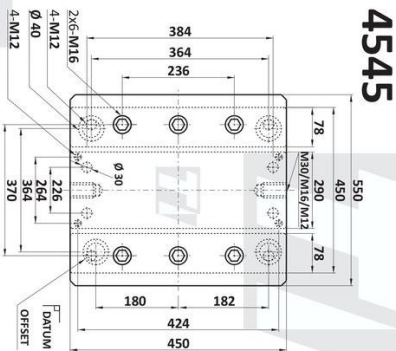
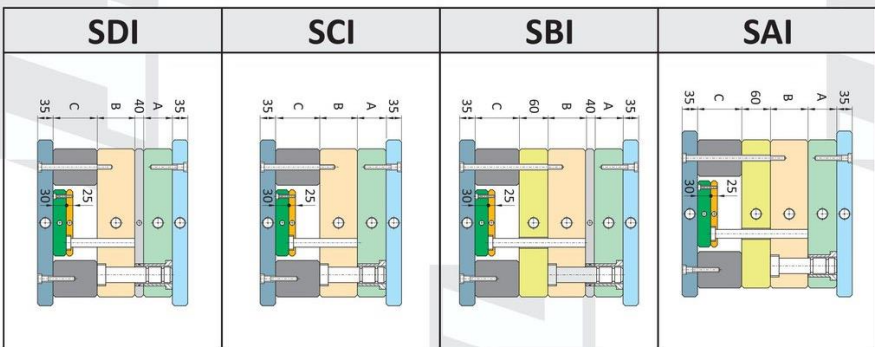
M (x Pitch)	L	Z
M12 x 1.75	24	33
M15 x 2.00	29	39
M20 x 2.50	33	46
M24 x 3.00	41	56
M30 x 3.50	49	67
M36 x 4.00	59	82

Tapped hole for eye bolt on the sides length of the cavity or core plate to secure safety and convenience in lifting the mold base set. The screw is chosen in reference to the maximum weight of the mold base.

W	L	T																		
		25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	200
150	150 ~ 300																			
180	180 ~ 350																			
200	200 ~ 350																			
200	400 ~ 450																			
230	230 ~ 400																			
250	250 ~ 500																			
270	300 ~ 400																			
290	300 ~ 400																			
300	300 ~ 350																			
300	400 ~ 500																			
300	550 ~ 600																			
330	350 ~ 500																			
350	350 ~ 400																			
350	450 ~ 700																			
400	400 ~ 500																			
400	550 ~ 700																			
450	450 ~ 700																			
500	500 ~ 700																			
550	550 ~ 700																			
550	750 ~ 800																			
600	600 ~ 800																			

**THICKNESS TABLE**

A	50	60	70	80	90	100	110	120	~	180
B										
C										



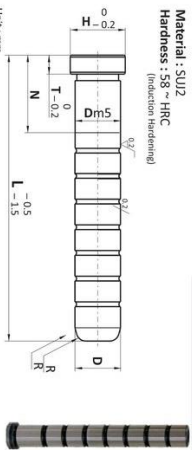
D	T	H	N
16 -0.020	6	20	19 ~ 39
20 -0.025	6	25	19 ~ 49
25 -0.025	8	30	24 ~ 59
30 -0.030	8	35	29 ~ 69
35 -0.030	8	40	39 ~ 79
40 -0.040	10	45	39 ~ 79
50	12	56	45 ~ 89

Unit: mm

L (5 mm increments)

TYPE	D	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	~200	~250	~300	~350	~400	~500
D	16	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	25	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	30	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
GPN	35	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Special Specification, Modification and Design available on request.



D	T	H	N
16 -0.020	8	19	8 ~ 20
20 -0.025	8	23	8 ~ 20
25 -0.025	8	28	8 ~ 25
30 -0.030	8	35	8 ~ 30
35 -0.030	8	40	8 ~ 35
40 -0.040	8	45	8 ~ 45

Unit: mm

L (10 mm increments)

TYPE	D	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	~280	~360	~400	~480	~500
D	16	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	25	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	30	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
GPG	35	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Special Specification, Modification and Design available on request.

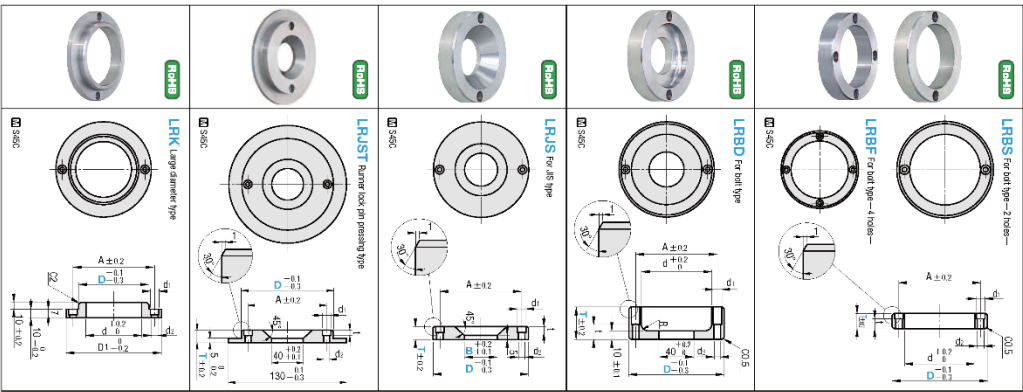






# LOCATING RINGS

Combination examples of locating rings **PF 735**



Nominal Bolt hole bolts $d_2$ $d_1$	t	d	A	Part Number		URPrice	
				Type	D	LRBS LRBF	1-9
M5 5.5	9	5	40	50	LRBS	10	1-9
						15	1-9
						20	1-9
M6 6.5	11	8	70	85	LRBS	10	1-9
						15	1-9
						20	1-9
M8 8	14	8	90	105	LRBF	10	1-9
						15	1-9
						20	1-9
M8 9	14	6	110	130	LRBD	10	1-9
						15	1-9
						20	1-9

\* Which marked with \* is available for LRBS-509

Nominal Bolt hole bolts $d_2$ $d_1$	t	R	d	A	Part Number		URPrice	
					Type	D	LRIS LRBD	1-9
M6 6.5	11	20	10	70	85	100	35	
						20	40	
						20	45	
M8 9	14	20	10	50	105	120	25	
						20	40	
						20	45	

Nominal Bolt hole bolts $d_2$ $d_1$	t	A	Part Number		URPrice	
			Type	D	LRJST	1-9
M6 6.5	11	85	85	100	20	35
				20	25	40
				20	25	40
M8 9	14	85	100	150	15	40
				20	15	40
				20	15	40

Nominal Bolt hole bolts $d_2$ $d_1$	t	A	Part Number		URPrice	
			Type	D	LRK	1-9
M6 6.5	11	85	115	100	10	1-9
				150	105	135
				120	1-9	

Nominal Bolt hole bolts $d_2$ $d_1$	D <sub>1</sub>	D	A	Part Number		URPrice	
				Type	D	LRK	1-9
M6 6.5	11	130	85	115	100	1-9	
					150	105	135
					120	1-9	

## BIODATA PENULIS



Penulis Robertus Wisnu Galang Samudra atau biasa dipanggil Galang, dilahirkan di Batam, 18 September 2001, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Puspipstek Tangerang Selatan, SMPN 1 Tangerang Selatan dan SMAN 2 Tangerang Selatan. Penulis kemudian mendaftar di Departemen Teknik Mesin FTIRS - ITS pada tahun 2020 dan terdaftar dengan NRP 5007201104.

Di Departemen Teknik Mesin, penulis aktif sebagai Koordinator Praktikum sekaligus Asisten Praktikum Instrumentasi, Pengukuran, dan Metrologi Industri. Pada tahun 2022, penulis menjalani kerja praktik di PT Knauf Gypsum Indonesia di divisi Engineering yang berlokasi di Gresik, kemudian pada tahun 2023, penulis terdaftar sebagai peserta magang di tim ITS Sapuangin pada divisi *Frame and Body* selama satu bulan. Pada tahun 2024, penulis menjalani magang di PT Honda Prospect Motor pada divisi Maintenance dan Tool Control.

Apabila terdapat informasi, pertanyaan, maupun saran yang ingin disampaikan kepada penulis, dapat disampaikan melalui email pribadi pada alamat galang.180901@gmail.com maupun WhatsApp pada nomor 082210215530.