



Tugas Akhir – TM141585

PERANCANGAN CETAKAN HELM ARUNG JERAM DENGAN PROSES MOLD INJECTION

HARIS FADILLAH ALHUDA
2108 100 098

Dosen Pembimbing:
Ir. Bambang Pramujati, MSc. Eng, Ph. D

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA - 2015



Final Paper – TM141585

DESIGNING WHITEWATER HELMET MOLD BY USING INJECTION MOLDING PROCESS

HARIS FADILLAH ALHUDA
2108 100 098

Supervisor Lecture:
Ir. Bambang Pramujati, MSc. Eng, Ph. D

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA - 2015

HALAMAN PENGESAHAN

**Perancangan Cetakan Helm Arung Jeram dengan
Proses *Mold Injection***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Haris Fadillah Alhuda

NRP. 2108 100 098

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Bambang Pramujati, MSc, Eng, Ph.D. (Pembimbing)
2. Prof. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng (Penguji 1)
3. Arif Wahyudi, ST, MT, Ph.D (Penguji 2)
4. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT (Penguji 3)

SURABAYA
Agustus 2015

DESIGNING WHITEWATER HELMET MOLD BY USING MOLD INJECTION PROCESS

Student Name : HARIS FADILLAH ALHUDA
NRP : 2108 100 098
Supervisor Lecture : Ir. Bambang Pramujati, MSc. Eng., Ph. D

Abstract

A helmet the work of the rafting is safety equipment whose principal. One of the ways to producing a helmet is with the process of injection molding .To get the product which is good quality then must to done planning a mold a helmet which good.

On this final paper, done the design and planning process of injection molding as well as an estimate of the cost the production of a mold a helmet rafting.An early stage that done is with a helmet model rafting in 3d using software solidwork.After that the simulation planning a mold that has been created using autodesk software moldflow adviser of. The purpose of this simulation was to get the process of injection of the parameters of a molding that best to products produced a helmet rafting and must be in accordance with the capacity of the machine used namely HAITIAN MA 900 / 260e.Mold base material that is used is steel aisi P20. The last stage is an estimate of the cost counting production from a mold a helmet rafting.

The results of the mold is this: the material used was HDPE. Mold used in the use of a plate and moveable plate fixed and the cavity used is one of them.Parameters injection is applicable in, mold temperature: 43,33 °c, melt temperature 246,3 °c, injection time 0.8 sec and maximum pressure injection, 180 MPA. Of the simulation menggunakam moldflow adviser acquired a defect in the traps and venting. A process for machining to making mould is milling and boring by using a computerized numerical control (CNC).

Key Words : *Helmet, Injection Process Parameter, Simulation, Machining Process*

PERANCANGAN CETAKAN HELM ARUNG JERAM DENGAN PROSES *MOLD INJECTION*

Nama Mahasiswa : HARIS FADILLAH ALHUDA
NRP : 2108 100 098
Dosen Pembimbing : Ir. Bambang Pramujati, MSc. Eng., Ph. D

Abstrak

Helm pada kegiatan arung jeram adalah peralatan keselamatan yang utama. Salah satu cara diproduksinya helm adalah dengan proses injection molding. Untuk mendapatkan produk yang berkualitas bagus maka perlalu dilakukan perencanaan cetakan helm yang baik.

Pada tugas akhir ini, dilakukan perencanaan desain dan proses injection molding serta estimasi biaya produksi cetakan helm Arung Jeram. Tahap awal yang dilakukan adalah dengan memodelkan helm arung jeram secara 3D menggunakan software solidwork. Setelah itu simulasi perencanaan cetakan yang telah dibuat menggunakan software Autodesk Moldflow adviser. Adapun tujuan dari simulasi ini adalah untuk mendapatkan parameter proses injection Molding yang terbaik agar dihasilkan produk helm arung jeram dan harus sesuai dengan kapasitas mesin yang digunakan yaitu HAITIAN MA 900/260e. Material Mold base yang digunakan adalah baja AISI P20. Tahap terakhir adalah menghitung estimasi biaya produksi dari cetakan helm Arung Jeram tersebut.

Hasil yang didapat dari perencanaan cetakan ini adalah: Material helm yang digunakan adalah HDPE. Jenis mold base yang digunakan menggunakan fixed plate dan moveable plat serta jumlah cavity yang digunakan adalah satu buah. Parameter injeksi yang digunakan adalah:

- *Mold Temperature: 43 °C*
- *Melt Temperature: 246,0 °C*
- *Injection Time: 0,8 sec*
- *Maximum Injection Pressure: 180 MPa*

Proses pemesinan untuk membuat cetakan yaitu proses milling dan boring dengan menggunakan mesin CNC (Computerized Numerical Control).

Kata Kunci : *Helm, Injection Molding, Simulasi, Proses Pemesinan*

KATA PENGANTAR

Puji syukur selalu terpanjatkan kepada Allah S.W.T atas segala limpahan nikmat dan karunia yang tidak mampu penulis hitung, karena hanya dengan limpah nikmat dari Allah S.W.T penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan segala lika-likunya.

Penulis telah mendapatkan banyak bantuan dan dukungan selama menyelesaikan tugas akhir, maka penulis sampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak dan Ibuk yang telah selalu mendoakan tanpa kenal lelah dan selalu menaruh harapan kepada saya.
2. Bapak Bambang Pramujati, Ph. D selaku ketua jurusan dan dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberi saran dan nasehat agar terselesainya tugas akhir dan masa studi saya di Jurusan Teknik Mesin ITS.
3. Bapak Londen, Bapak Arif dan Bapak Ari selaku dosen penguji yang telah banyak memberi saran agar tugas akhir ini dapat penulis selesaikan dengan baik.
4. Rulita Indari yang selalu setia menemani dan mendukung di saat malas dan lelah datang.
5. Keluarga besar PLH SIKLUS ITS khususnya angkatan DIKLAT 22 yang telah menjadi tempat pembelajaran terbaik selama masa kuliah.
6. Alvien yang telah banyak membantu keperluan teknis maupun non-teknis serta sebagai rival ngePES guna untuk menghilangkan sesaat penatnya kehidupan. Semoga juga menjadi Sarjana Teknik yang bermanfaat.
7. Laptop, PC dan GenFM yang telah amat sangat membantu dalam proses penyusunan laporan tugas akhir ini.

Mohon maaf yang sebesar-besarnya kepada pihak yang belum disebutkan, semoga apa yang telah diberikan kepada penulis dapat menjadi amal ibadah dan memperlancar segala urusan yang akan datang.

Penulis menyadari tugas akhir ini sangat jauh dari kata sempurna, semoga dari yang sedikit penulis ini bias menjadi hal yang bermanfaat bagi nusa dan bangsa.

Surabaya, Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
BAB 1: PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	1
I.3. Batasan Masalah	2
I.4 Tujuan Penelitian	2
I.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II: KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	3
II.1 Kajian Pustaka	3
II.2 Dasar Teori	3
II.2.1 Proses Injeksi Plastik	3
II.2.2 Konstruksi Cetakan	4
II.2.3 Mekanisame Pengeluaran Produk	5
II.2.4 Perencanaan <i>Cavity</i>	5
II.2.5 Sistem Saluran	7
II.2.5.1 <i>Sprue</i>	7
II.2.5.2 <i>Runner</i>	8
II.2.5.3 <i>Gate</i>	9
II.2.6 <i>Venting</i>	9
II.2.7 Tekanan Injeksi	10
II.2.7.1 <i>Internal Injection Pressure</i>	10
II.2.7.2 <i>Pressure Drop</i>	10
II.2.7.3 Tekanan Minimum Injeksi	11
II.2.8 Gaya Pencekaman	11
II.2.9 Gaya Pelepasan Produk	12

II.2.10 Pendinginan Cetakan	12
II.2.10.1 Keseimbangan Panas Pada Pendinginan <i>Mold</i>	12
II.2.10.2 Jumlah Panas Yang Diterima <i>Mold</i>	13
II.2.10.3 Panas Yang Dilepas Ke Udara Sekitar	14
II.2.11 Waktu Siklus Proses Injeksi	17
II.2.11.1 Waktu Gerak Cetakan	17
II.2.11.2 Waktu Penginjeksian	17
II.2.11.3 Waktu Pengeluaran Produk	18
II.2.11.4 Waktu Pendinginan	18
II.2.11.5 Waktu Siklus	19
II.2.12 Material Plastik Helm Arung Jeram	19
II.2.13 Perangkat Lunak	22
II.2.13.1 <i>Software</i> Solidworks	22
II.2.13.2 <i>Software</i> Autodesk Moldflow Adviser	22
II.2.14 Proses Pembuatan <i>Mold</i>	22
II.2.14.1 Pemilihan Material <i>Mold</i>	23
II.2.14.2 Proses Pengerjaan	24
II.2.14.3 <i>Cutting Operation Machining</i>	24
II.2.15 Perhitungan Biaya Produksi	24
II.2.15.1 Perhitungan Biaya Produksi Cavity	25
II.2.15.2 Perhitungan Biaya Produksi <i>Mold Base</i>	26
BAB III: METODOLOGI PENELITIAN	27
III.1 Diagram Alir Perencanaan Dan Pembuatan Cetakan	27
III.2 Tahap Perencanaan Dan Pembuatan Cetakan	29
III.3 Diagram Alir Simulasi Proses Injeksi	30
III.4 Tahap Simulasi Proses Injeksi	32
BAB IV: PERENCANAAN CETAKAN	33
IV.1 Pemilihan Material Helm	33
IV.2 Desain Helm Yang Digunakan	35
IV.3 Data Mesin Injection Molding	35

IV.4 Dasar Pertimbangan Perencanaan Cetakan.....	36
IV.4.1 Penentuan <i>Setting Parameter</i>	36
IV.4.2 Simulasi Untuk Menentukan Posisi dan Lokasi Gate Terbaik	37
IV.4.3 Perencanaan <i>Parting Line</i>	39
IV.5 Perencanaan Komponen Utama.....	40
IV.5.1 Perencanaan Cavity.....	40
IV.5.1.1 Volume <i>Cavity</i>	41
IV.5.1.2 Penentuan Jumlah <i>Cavity</i>	42
IV.5.2 Perencanaan Sistem Saluran	42
IV.5.2.1 Perencanaan <i>Sprue</i>	42
IV.5.2.2 Perencanaan <i>Runner</i>	43
IV.5.2.3 Perencanaan <i>Gate</i>	45
IV.6 Perhitungan Gaya Cekam Mesin yang Dibutuhkan.....	45
IV.7 Hasil Simulasi Moldflow Adviser	46
IV.7.1 Fill Time	46
IV.7.2 Injection Pressure.....	47
IV.7.3 Pressure Drop.....	47
IV.7.4 Orientation at Skin	48
IV.7.5 Weld Lines	49
IV.7.6 Air Traps	49
IV.8 Proses Permesinan Cetakan	50
IV.9 Perhitungan Biaya Pengerjaan Cetakan	51
IV.9.1 Biaya Material.....	51

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan.....	53
V.2 Saran	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor penyusutan beberapa material	6
Tabel 2.2 Harga faktor ketebalan dinding.....	10
Tabel 2.3 Koefisien gesek thermoplastik terhadap kekasaran permukaan <i>cavity</i>	12
Tabel 4.1 Physical properties of HDPE	34
Tabel 4.2 Klasifikasi Perencanaan Cetakan.....	40
Tabel 4.3 Karakteristik Standard Mold.....	40
Tabel 4.4 Rasio Keliling dan Luas Penampang Runner	43
Tabel 4.5 Rincian Proses Permesinan Cetakan.....	50

Halaman Ini Sengaja Dikосongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Unit mesin injeksi.....	4
Gambar 2.2 Konstriuksi cetakan plastik	5
Gambar 2.3 Konstruksi <i>sprue, runner dan gate</i>	7
Gambar 2.4 Dimensi <i>Sprue</i>	8
Gambar 2.5 Hubungan berat produk dengan diameter runner.....	9
Gambar 3.1 Diagram alir perencanaan dan pembuatan cetakan.....	28
Gambar 3.2 Diagram Alir Simulasi Proses Injeksi.....	31
Gambar 4.1 Diagram alir pemilihan material	33
Gambar 4.2 Penampang helm arung jeram.....	35
Gambar 4.3 Hasil Simulasi Molding Window.....	37
Gambar 4.4 Lokasi Gate Terbaik.....	37
Gambar 4.5 Lokasi Gate Terpilih.....	38
Gambar 4.6 Penentuan Quality Prediction.....	39
Gambar 4.7 Hasil Simulasi Quality Prediction.....	39
Gambar 4.8 Produk properties	41
Gambar 4.9 Dimensi <i>Runner</i>	44
Gambar 4.10 Fill Time	46
Gambar 4.11 Injection pressure	46
Gambar 4.12 Pressure Drop	47
Gambar 4.13 Orientation at Skin	47
Gambar 4.14 Weld Lines	48
Gambar 4.15 Air Traps.....	48

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Helm merupakan suatu alat perlindungan tubuh yang biasa digunakan ketika berkendara, berada dalam lingkungan suatu proyek atau pabrik, olahraga dan kegiatan lain yang memerlukan perlindungan kepala.

Arung jeram adalah salah satu olahraga yang populer pada dekade belakangan ini. Olahraga ini diminati oleh berbagai kalangan sosial maupun usia, dikarenakan sifatnya yang menantang mampu membuat para peminatnya merasa segar setelah melakukan olahraga ini. Namun olahraga ini adalah salah satu olahraga yang berbahaya yang ada, oleh karena itu persiapan teknis dan non-teknis sebelum melakukan olahraga ini harus matang. Adapun beberapa perlengkapan keamanan yang harus digunakan yaitu adalah helm dan pelampung. Helm yang digunakan untuk arung jeram sendiri memiliki standar yaitu terbuat dari plastik, ringan dan terdapat lubang untuk sirkulasi air.

Dewasa ini, terjadi pertumbuhan yang sangat pesat pada penggunaan produk plastik di industri manufaktur karena sangat serbaguna dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Dukungan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat diperlukan khususnya untuk pemanfaatan dan pengolahan polimer, sehingga dapat dihasilkan produk plastik dengan kuantitas yang cukup tinggi dan kualitas yang baik. Salah satu teknik yang cukup efektif dan banyak dipergunakan untuk pengolahan bahan thermoplastik adalah *injection molding*. *Injection Molding* banyak dipilih karena memiliki beberapa keuntungan diantaranya: kapasitas produksi yang tinggi, sisa penggunaan material (useless material) sedikit dan tenaga kerja minimal. Sedangkan kekurangannya, biaya investasi dan perawatan alat yang tinggi, serta perancangan produk harus mempertimbangkan untuk pembuatan disain *moldingnya*. Keyboard, mouse, panel TV, pesawat telepon merupakan hasil pengolahan plastik dengan menggunakan teknik *injection molding*.

Banyak metode yang digunakan untuk membuat sebuah helm, salah satu caranya adalah dengan *injection molding*. *Injection molding* sendiri digunakan karena dalam proses produksi lebih presisi dan lebih singkat sehingga mampu menekan biaya produksi dibandingkan dengan pembuatan helm secara *handmade*.

I.2. Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dari perancangan ini sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang cetakan helm arung jeram.
2. Bagaimana menentukan material helm.
3. Berapa biaya yang diperlukan untuk membuat cetakan helm arung jeram.
4. Bagaimana menentukan parameter-parameter dari cetakan helm arung jeram yang akan dibuat.
5. Bagaimana proses permesinan yang digunakan untuk membuat cetakan helm arung jeram.

I.3. Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan pembahasan agar lebih terarah maka adapun batasan masalah dari perancangan ini adalah sebagai berikut:

1. Bagian yang dibuat adalah tempurung helm paling luar.
2. Material *mold* yang digunakan adalah Baja ASTM P20.
3. *Mold base* tidak dirancang.
4. Sistem Pendinginan *mold* tidak dirancang.
5. Sitem pengeluaran produk idak dirancang.
6. Mesin yang digunakan adalah HAITIAN MA 900/260e.
7. Perangkat lunak yang digunakan adalah Solidworks untuk merancang tempurung helm arung jeram dan Autodesk Moldflow Adviser untuk simulasi proses injeksi.

I.4. Tujuan Perancangan

Tujuan dari perancangan cetakan helm arung jeram ni adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh desain cetakan helm arung jeram yang sesuai dengan standar Federasi Arung Jeram Indonesia (FAJI).
2. Memperoleh desain cetakan helm dalam bentuk gambar detail maupun susunan.
3. Memperoleh material helm yang sesuai untuk kegiatan arung jeram.
4. Mengetahui proses permesinan yang digunakan dalam membuat cetakan helm arung jeram.
5. Mengetahui biaya yang dibutuhkan dalam membuat cetakan helm arung jeram.

I.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari perancangan pembuatan cetakan helm arung jeram ini adalah:

1. Bagi mahasiswa, dapat menunjukkan manfaat dari simulasi perancangan dari suatu benda, dalam hal ini adalah cetakan helm arung jeram dan dapat sebagai data acuan dalam perancangan berikutnya.
2. Bagi industri, dapat digunakan suatu acuan model helm arung jeram jika ingin diproduksi secara masal.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

II.1. Kajian Pustaka

Perancangan cetakan helm dengan proses *injection molding* sebelumnya telah dilakukan oleh Handiawan Yappy pada tahun 2006 [1], pada perancangan ini digunakan material helm berupa HIPS (High Impact PolyStyrene) dan mesin yang digunakan adalah Japan Steel Work (JSW) J180AD-300HK. Jenis helm yang dirancang adalah helm sepeda motor yang sesuai dengan standar SNI. *Software* simulasi yang digunakan untuk menentukan parameter adalah C-Mold. Dan didapat hasil berupa parameter cetakan dan gambar susunan *mold base* helm. Handiawan Yappy hanya merancang sebuah cetakan helm tanpa memperhitungkan proses permesinan yang digunakan serta perhitungan biaya yang diperlukan untuk menghasilkan sebuah cetakan helm

Selanjutnya pada tahun 2010 Sugiyono melakukan perencanaan cetakan *lid* dan perhitungan biaya yang dibutuhkan untuk membuat *mold base* [2]. Material *lid* yang digunakan adalah HDPE (High Density PolyEthylene) dan mesin yang digunakan JSW J180AD-180H. Dan hasil yang didapatkan adalah perhitungan biaya dari cetakan *lid*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Sugiyono, material dari produk tidak dipilih melainkan sudah digunakan, karena Sugiyono membuat cetakan dari produk yang sudah jadi.

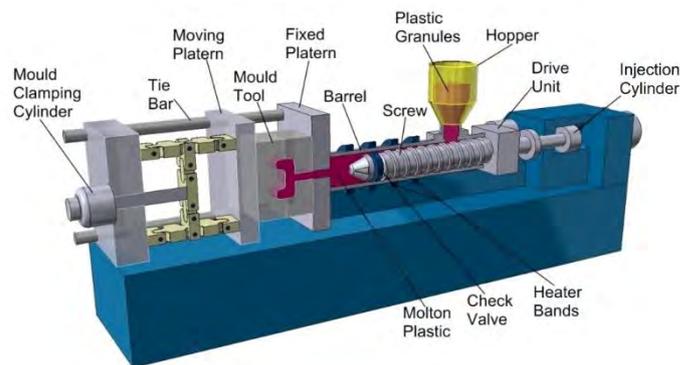
Sihama E. Salih pada tahun 2013 meneliti sifat mekanik dari PP, HDPE, LDPE dan paduan dari ketiganya [3]. Pengujian yang dilakukan adalah dengan uji tarik, uji kejut dan uji kekerasan. Dihasilkan bahwa HDPE murni memiliki nilai ketangguhan yang paling baik. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam menentukan proses pemilihan material helm.

Wardayani pada tahun 2015 merancang *mold base* untuk mesin HAITIAN MA 900/260e, mesin ini adalah mesin yang dimiliki oleh Jurusan Teknik Mesin ITS [4]. *Mold base* yang dirancang adalah untuk produk material uji Tarik. Penelitian ini yang akan diajukan untuk membuat *insert cavity* produk helm arung jeram.

II.2. Dasar Teori

II.2.1. Proses Injeksi Plastik

Pencetakan produk dalam perancangan ini menerapkan proses injeksi (*injection molding*), di mana proses ini sangat sesuai untuk material termoplastik, karena dengan pemanasan, material akan melunak dan akan mengeras kembali bila didinginkan. Material plastik yang berbentuk granulat/butiran ditempatkan dalam suatu corong (*hopper*) yang membuatnya masuk ke dalam silinder injeksi seperti ditunjukkan oleh gambar 2.1 [5].



Gambar 2.1. Unit mesin injeksi [6]

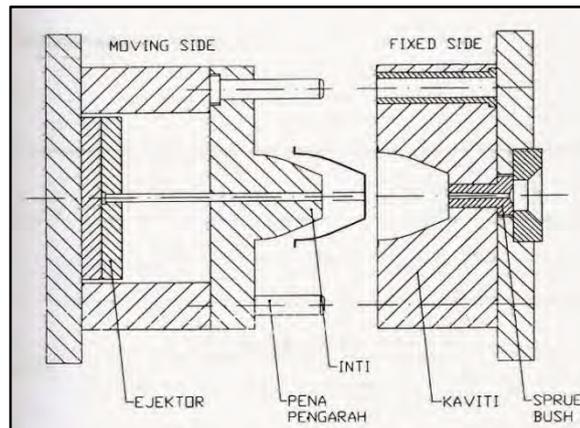
Material yang sudah dipanasi dan mencair ini akan terus didorong melalui *nozzle* dan melewati *sprue* bush ke dalam rongga cetak (*cavity*) dari cetakan yang sudah tertutup. Setelah beberapa saat didinginkan, cetakan dibuka dan benda jadi yang sudah mengeras dikeluarkan dengan suatu mekanisme tertentu.

Adapun *injection molding* merupakan suatu proses yang bersifat siklus, artinya langkah kerja yang sama dilakukan berulang-ulang dengan suatu urutan yang telah ditentukan, secara terus menerus. Langkah kerja utama pada proses injeksi dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Langkah 1: Cetakan menutup
- Langkah 2: Injeksi dimulai, unit injeksi maju hingga *nozzle* merapat ke cetakan
- Langkah 3: Screw mulai berputar sehingga material yang telah mencair bergerak maju dengan tekanan yang tinggi dan diinjeksikan ke dalam *cavity*.
- Langkah 4: Fase holding pressure, yaitu material plastik dibiarkan sesaat dalam rongga cetakan sehingga membeku dan siap dikeluarkan.
- Langkah 5: Unit injeksi kembali mundur dengan maksud agar *sprue* bush tidak terkena panas dari *nozzle*
- Langkah 6: Ulir *screw* berputar ke arah berlawanan sehingga material plastik terdorong kembali ke ruang pengumpul.
- Langkah 7: Cetakan terbuka, produk serta *runner* dikeluarkan.

II.2.2. Konstruksi Cetakan

Cetakan terdiri dari komponen-komponen penyusun yang dirangkai membentuk satu konstruksi yang masing-masing komponen mempunyai fungsi penting dalam penggunaan cetakan. Berikut adalah bagian-bagian penting dalam penggunaan cetakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 [5].



Gambar 2.2 Konstruksi Cetakan Plastik [5]

Desain dan konstruksi cetakan sebenarnya hampir sama, sehingga ada bagian-bagian yang bentuk dan fungsinya sama meskipun ukurannya berbeda dan dikenal dengan istilah *mold base* . Beberapa komponen standar juga dijual bebas di pasaran sebagai pelengkap pekerjaan *molding* seperti *guide bush* , *guide pin* , *sprue bush* , *centering ring* dan *ejector* dari berbagai jenis maupun bentuk

II.2.3. Mekanisme Pengeluaran Produk

Untuk mengeluarkan produk dari dalam *cavity* , cetakan harus digerakkan membuka di mana gerakan ini merupakan gerakan mundur beberapa pelat dan bagian cetakan lainnya yang terbawa oleh gerak mundur *moving plate* . Sistem pengeluaran produk yang umum digunakan antara lain:

- Sistem *Stripper*
- Sistem *Ejector*
- Sistem *Unscrewing*
- Sistem kombinasi *Stripper, Ejector, Unscrewing*

Masing-masing sistem pengeluaran produk tersebut mempunyai karakteristik yang tergantung dari jenis dan bentuk produknya.

II.2.4. Perencanaan *Cavity*

Cavity merupakan rongga tempat di mana produk dicetak, karena itu dimensinya sama seperti dimensi produk. Hanya saja ketika mulai membeku, volume produk menyusut karena adanya faktor penyusutan atau *shrinkage* . Sebelum merencanakan jumlah *cavity* , harus diketahui terlebih dahulu dimensi dari produk, dengan demikian akan ditentukan volume produk serta volume *cavity* cetakan. Dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [6]:

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

- Dimana :
- V_{cav} = Volume *cavity*
 - V_p = Volume produk
 - S = *Shrinkage factor*

Tabel 2.1 Faktor penyusutan beberapa material [6]

Material	Shrinkage Factor	Density (gr/cm ³)
Polyvinyl chloride (PVC) keras	0,5-0,7	1,35
Polyvinyl chloride (PVC) lunak	1-2	1,1-1,4
Polystyrene(PS)	0,45	1,05
Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)	0,4-0,6	1,06-1,1
Styrene Acrylonitrile (SAN)	0,4-0,6	1,06-1,1
Polypropylene (PP)	1,2-2	0,91
Polyethylene (PE)	1,5-2	0,92-0,95
Polyamide (PA)	0,6-2,5	1,1-1,2
Polyurethane (PUR)	1-1,5	1,26
Polycarbonate (PC)	0,6-0,8	1,2
Polycarbonate, glas-filled	0,1-1,5	1,26
Polymethyl methacrylate (PMMA)	0,45-0,5	1,8
Polyaxymethylene (POM)	1,2-2	1,41
Cellulose acetate (PA)	0,4-0,7	1,3
Cellulose propionate (CP)	0,4-0,7	1,2
Cellulose acetate butyrate (CAB)	0,4-0,7	1,2

Dan masa produk dapat dicari dengan rumus [6]:

$$M_p = V_{cav} \times \rho \quad (2.2)$$

Dimana: M_p = Masa produk

ρ = Berat jenis

Penentuan jumlah *cavity* pada proses *injection molding* sangat menentukan proses selanjutnya. Ditinjau dari segi teknis, jumlah *cavity* bisa ditentukan berdasarkan

a. Gaya pencekaman

$$n_{t1} = \frac{10 \cdot f \cdot F_{cm}}{A \cdot P_{inj}} \quad (2.3)$$

Dimana: F_{cm} = Gaya pencekaman maksimum (kN)
 f = *safety factor againts flashing* (1,2-1,5)
 A = Luas proyeksi produk (mm²)
 P_{inj} = Tekanan injeksi maksimum (Mpa)

b. Kapasitas injeksi minimum

$$n_{t2} = 0,2 \frac{V_s}{V_p} \quad (2.4)$$

Dimana: V_s = Kapasits injeksi mesin (cm³)
 V_p = Volume produk dan *runner* (cm³)

c. Kapasitas injeksi maksimum

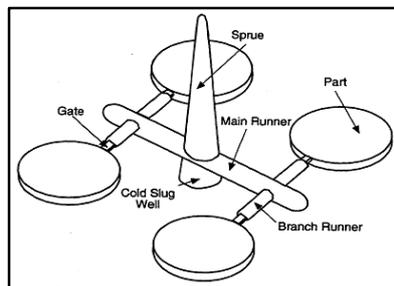
$$n_{t3} = 0,8 \frac{V_s}{V_p} \quad (2.5)$$

d. Ukuran pelat dari mesin

Jumlah *cavity* yang bisa dicakup oleh area proyeksi dalam ruang lingkup pelat mesin injeksi sesuai penampang horisontal dan vertikal.

II.2.5. Sistem Saluran

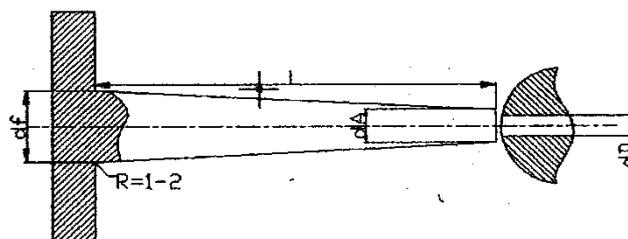
Pada proses pencetakan dengan sistem injeksi, aliran material plastik yang diinjeksikan akan melewati saluran yang terdiri dari *sprue*, *runner*, *gate* dan *cavity*. Seperti pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Konstruksi *sprue*, *runner* dan *gate* [7]

II.2.5.1. *Sprue*

Sprue adalah material plastik yang menghubungkan benda kerja dengan *nozzle*, yang bentuknya taper/konis karena dikeluarkan dari *sprue* bush. Bentuk *sprue* berupa konis ini dimaksudkan untuk mempermudah keluarnya sisa material dari *sprue* bush. Dari dimensi *nozzle* yang terdapat pada mesin injeksi, didapatkan besarnya radius *sprue* bush (R_A) dan diameter lubang *nozzle*.



Gambar 2.4 Dimensi *Sprue* [6]

Diameter pangkal *sprue* [6]:

$$d_F \geq S_{\max} + 1,5 \text{ mm} \quad (2.6)$$

Diameter ujung *sprue* [6]:

$$d_A \geq d_D + 1 \text{ mm} \quad (2.7)$$

Sudut *Sprue* [6]:

$$\alpha \geq 1^{\circ} \sim 2^{\circ} \text{ maka } \operatorname{tg} \alpha \geq \frac{d_F - d_A}{L} \quad (2.8)$$

dimana:

d_F : diameter pangkal *sprue* (mm)

d_A : diameter ujung *sprue* (mm)

d_D : diameter ujung *nozzle* (mm)

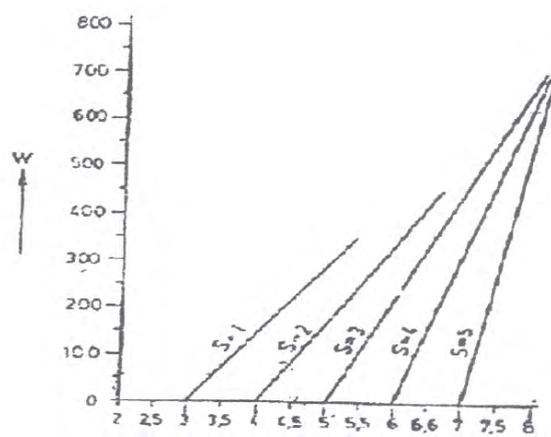
S_{\max} : tebal maksimum produk (mm)

L: Panjang *Sprue* (mm)

II.2.5.2. Runner

Runner adalah bagian pembagi berupa saluran yang biasanya berbentuk banyak cabang yang menghubungkan *sprue* dengan *gate* yang menuju *cavity*. *Runner* harus mampu meminimalkan pressure loss, tetapi cukup kecil untuk menghemat waktu siklus. Pada perancangan cetakan dikenal beberapa bentuk *runner*, diantaranya adalah:

1. Penampang lingkaran
Runner ini dibuat dengan cara kedua bagian *mold* difreis setengah lingkaran. Keuntungannya, luas penampang terkecil, laju pendinginannya lambat, heat loss dan friksinya rendah. Kekurangannya biaya permesinannya mahal.
2. Penampang parabolik
Model penampang ini merupakan pendekatan yang paling baik terhadap penampang lingkaran, lebih mudah dibuat karena hanya pada satu bagian *mold*. Kekurangannya adalah heat lossnya lebih besar dibandingkan dengan penampang setengah lingkaran.
3. Penampang trapesium
Merupakan bentuk alternative dari penampang parabolic, permesinannya lebih mudah tetapi *heat loss* dan friksinya lebih besar karena adanya sudut-sudut tajam.



Gambar 2.5 Hubungan berat produk dengan diameter *runner* [8]

II.2.5.3. Gate

Gate menghubungkan *runner* dengan *cavity*. *Gate* merupakan tempat mulainya penginjeksian material ke dalam *cavity*. Jenis-jenis *gate* yang digunakan adalah [6]:

- *Sprue gate* → *Fan gate*
- *Disk gate* → *Ring gate*
- *Submarine gate* → *Pinpoint gate*
- *Side gate*

II.2.6. Venting

Venting adalah pemberian jalan keluar pada udara yang terjebak pada cetakan saat proses penginjeksian. Rongga udara biasanya biasanya ditempatkan pada pojok *cavity* dari salah satu parting plain atau tempat di mana paling akhir terisi material plastik, yang diperkirakan merupakan tempat terjebaknya udara oleh material plastic.

Besarnya ukuran rongga udara didasarkan pada pertimbangan di mana udara dapat dengan mudah menerobos, tetapi material belum bisa melewatinya. Rongga udara dalam cetakan harus ada, namun keberadaannya tidak boleh menimbulkan cacat pada produk yang dihasilkan. Rongga udara biasa digunakan antara lain berupa celah-celah kecil, celah pada ejector pin dan sebagainya.

II.2.7. Tekanan Injeksi

II.2.7.1. Internal Injection Pressure

Pada proses injeksi, pangkal screw dihubungkan dengan piston di dalam slider yang bertekanan. Piston ini memberikan gaya dorong yang diteruskan ke ujung screw sehingga bila penampang screw akan timbul tekanan yang disebut tekanan injeksi luar. Sedangkan tekanan sesungguhnya yang diperlukan untuk mengisi *cavity* disebut tekanan isi spesifik.

Besarnya tekanan isi spesifik (P_i) dapat dicari dengan persamaan [6]:

$$P_i = F_p \times f_s \quad (2.9)$$

Dimana : F_p : panjang aliran dari *gate* (cm)

f_s : *factor* tebal dinding (N/cm^3)

Harga *factor* tebal dinding diperoleh oleh tabel 2.2 [6] di bawah ini yang nilainya tergantung dari ketebalan dinding produk minimum dalam satuan millimeter

Tabel 2.2 Harga faktor ketebalan dinding [6]

S (mm)	$f_s(N/cm^3)$	S (mm)	$f_s (N/cm^3)$
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	30	1,8	9
1,1	26	1,9	8
1,2	21	2	7

II.2.7.2. Pressure Drop

Plastik sebagai material yang diinjeksikan ke dalam *cavity* merupakan fluida non Newtonian. Dalam perjalanan dari *nozzle* hingga ke *cavity*, aliran plastik mengalami penurunan tekanan oleh karena adanya gesekan. Pressure drop yang terjadi pada *sprue*, *runner* dan *gate* dapat dihitung dengan persamaan [6]:

$$\Delta P = \frac{8 \times Q \times \eta \times L}{\pi \times R^4} \quad (\text{Untuk penampang bulat}) \quad (2.10)$$

$$\Delta P = \frac{12 \times Q \times \eta \times L}{\pi \times H^3} \quad (\text{Untuk penampang kotak}) \quad (2.11)$$

Dimana:

- Q = debit aliran plastik (cm³/s)
- η = viskositas fluida plastik (Pa.s)
- L = Panjang saluran (cm)
- R = radius saluran (cm)
- W = lebar saluran (cm)
- H = tebal saluran (cm)

Untuk menentukan besarnya viskositas aliran plastik, maka perlu dihitung besarnya apparent wall shear rate (γ) dengan persamaan [6]:

$$\gamma = \frac{4Q}{\pi R^3} \quad \text{untuk penampang bulat} \quad (2.12)$$

$$\gamma = \frac{6Q}{WH^2} \quad \text{untuk penampang bulat} \quad (2.13)$$

Besarnya *pressure drop* total adalah sebagai berikut :

$$\Delta P = \Delta P_{sprue} + \Delta P_{runner} + \Delta P_{gate} \quad (2.14)$$

II.2.7.3. Tekanan Minimum Injeksi

Besarnya tekanan injeksi minimum adalah jumlah besarnya tekanan pengisian dan pressure drop yang terjadi pada saluran [6]:

$$P_{\min} = P_i + \Delta P \quad (2.15)$$

II.2.8. Gaya Pencekaman

Tekanan injeksi yang terjadi pada *cavity* akan menimbulkan suatu gaya yang terhadap luasan proyeksinya. Gaya tersebut dinamakan gaya injeksi yang besarnya adalah [6]:

$$F_i = P_i \times A \quad (2.16)$$

Dimana: F_i = Gaya injeksi dari mesin (N)

P_i = Tekanan injeksi internal (N/m^2)

A = Luasan proyeksi produk (m^2)

Gaya injeksi ini harus mampu ditahan oleh gaya pencekaman mesin. Untuk keamanan perlu ditambahkan 10% dari gaya injeksi ini sehingga gaya pencekaman minimum yang diperlukan untuk menahan cetakan tetap tertutup rapat sebesar [6]:

$$F_c = F_i (1+10) \quad (2.17)$$

II.2.9. Gaya Pelepasan Produk

Untuk melepaskan produk dari permukaan *mold base* diperlukan gaya yang melawan gaya yang melawan gaya cengkraman produk terhadap cetakan. Tegangan tarik yang terjadi saat produk mencengkram cetakan besarnya [6]:

$$F_e \geq (1 + \mu_0) \times p_A \times A_c \quad (2.18)$$

$$p_A = \frac{\text{mass of plastik}}{\text{area}} \quad (2.19)$$

Dimana: F_e = Gaya pelepasan produk (N)

μ = Koefisien gesek antara plastik dan plat

A_c = Luas permukaan produk yang mencekam permukaan plat (m^2)

p_A = Tegangan kontak antara plastik dan *core*

Tabel 2.3 koefisien gesek thermoplastik terhadap kekasaran permukaan *cavity* [6]

<i>Material</i>	<i>Coefficient of friction for roughness height</i>		
	1μm	6μm	20μm
PE	0,38	0,52	0,7
PP	0,47	0,5	0,84
PS	0,37	0,52	1,82
ABS	0,35	0,46	1,33
PC	0,47	0,68	1,6

II.2.10. Pendinginan Cetakan

II.2.10.1. Keseimbangan Panas pada Pendinginan *Mold*

Keseimbangan panas terjadi dari aliran padan yang masuk dan aliran panas yang harus dikeluarkan dari *mold*. Dalam hal ini diambil nilai rata-rata dari tiap aliran panas yang dihasilkan dalam satu siklus injeksi. Hal yang akan dicapai dalam keseimbangan panas adalah jumlah panas yang harus dibuang oleh media pendingin.

Keseimbangan panas dalam *mold* adalah sebagai berikut [6]:

$$Q_{pl} + Q_{ol} + Q_{kv} + Q_{pd} + Q_{rd} = 0 \quad (2.20)$$

Dimana:

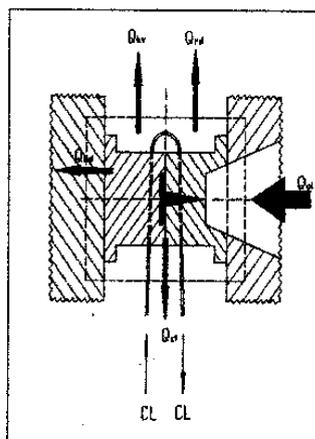
Q_{ol} = Perpindahan panas melalui media pendingin (W)

Q_{pl} = perpindahan panas dari plastik cair kedalam *mold* (W)

Q_{kv} = perpindahan panas ke sekeliling *mold* melalui konveksi (W)

Q_{kd} = perpindahan panas ke sekeliling *mold* melalui konduksi (W)

Q_{rd} = perpindahan panas ke sekeliling *mold* melalui radiasi (W)



Gambar 2.6 keseimbangan panas pada *mold* [6]

Dalam hal ini aliran panas yang menyebabkan *mold* menjadi panas dihitung positif (+) dan aliran panas yang menyebabkan *mold* menjadi dingin dihitung negative (-). Pada proses *injection molding* , material plastik diinjeksikan ke dalam cetakan sehingga Q_{pl} akan selalu positif (+) sedangkan perpindahan ke sekeliling *mold* dapat positif (+) atau negative (-) tergantung dari temperature *mold* .

II.2.10.2. Jumlah Panas yang Diterima *Mold*

Pengeluaran produk dari dalam *mold* tidak perlu menunggu sampai produk mencapai temperature kamar, tetapi pada temperature tertentu dimana produk sudah cukup kuat untuk dikeluarkan. Pengeluaran produk dari dalam *mold* sebaiknya dilakukan sedikit diatas temperature kamar sehingga jumlah kalor yang diterima oleh badan *mold* dapat dikurangi. Jumlah panas yang dilepaskan plastik kedalam *mold* tiap detiknya adalah sebagai berikut [6]:

$$Q_{pl} = \frac{m \cdot \Delta h}{t_e} \quad (2.21)$$

dimana:

m = berat produk (gr)

t_e = cycle time

Δh = selisih enthalpy pada temperature leleh plastik dan temperature pengeluaran produk (kl/kg)

Panas yang diterima *mold* sebesar Q_{pl} tersebut, sebagian akan terbuang ke sekeliling *mold* secara konveksi, konduksi dan radiasi. Sedangkan sisanya harus sibuat dengan bantuan media pendingin

II.2.10.3 Panas yang Dilepas ke Udara Sekitar

Panas yang dilepas *mold* ke sekeliling dapat berlangsung secara konveksi, konduksi maupun radiasi.

1. Panas yang dilepas secara konveksi

Pepindahan panas secara konveksi merupakan perpindahan panas melalui fluida yang bergerak. Panas yang dilepas secara konveksi dibedakan menjadi dua yaitu, melau permukaan vertikal dan permukaan horizontal.

a. Panas yang dilepas secara konveksi bebas (*free convection*) melalui permukaan vertikal

Perhitungan besarnya panas yang dilepas melalui permukaan vertikal adalah sebagai berikut:

Diketahui

Q_{kvv} = banyaknya panas yang dilepas oleh permukaan vertikal

T_u = temperatur udara sekeliling (°C)

T_w = temperatur badan *mold* (°C)

T_f = temeperatur film = $\frac{T_w + T_u}{2}$

ν = viskositas udara (m²/det)

β = konstanta ekspansi thermal

Pr = bilangan prandtl

L = tinggi *mold* (m)

A = diffusivitas thermal (m²/det)

k = konduktivitas panas (W/m.K)

bilangan Rayleigh (Ra_L) :

$$Ra_L = \frac{g \beta (T_w - T_u) L^3}{\nu \alpha} \quad (2.22)$$

Aliran konveksi bebas akan laminar bila harga Rayleigh $\leq 10^9$. Hubungan empiris antara bilangan Rayleigh dan bilangan Nusselt untuk aliran laminar adalah sebagai berikut [6]:

$$Nu_L = \frac{hL}{k} = C \cdot Ra_L^n \quad (2.23)$$

untuk aliran laminar harga $n = 1/4$.

Persamaan empiris bilangan Nusselt pada plat vertikal untuk aliran yang biasa dipakai pada perhitungan teknik adalah sebagai berikut:

$$Nu_L = \frac{0,68 + 0,670 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad Ra_L \leq 10^9 \quad (2.24)$$

Koefisien konveksi dapat dihitung dengan persamaan (2-23) di atas:

$$h = \frac{k \cdot Nu_L}{L} \quad (2.25)$$

Jadi, banyaknya panas yang dilepas oleh permukaan vertikal adalah sebagai berikut :

$$Q_{kvv} = h \cdot A_v \cdot (T_w - T_u) \quad (2.26)$$

b. Panas yang dilepas secara konveksi bebas (free convection) melalui permukaan horizontal

Pada permukaan horizontal, perhitungan banyaknya panas dibedakan menjadi dua bagian yaitu pada permukaan yang menghadap ke atas dan yang menghadap ke bawah. Pamjamb karakteristik didefinisikan sebagai [6]:

$$Lc = \frac{A_h}{P} \quad (2.27)$$

Dimana:

L_c = panjang karakteristik (m)

A_h = luas permukaan horizontal (m^2)

P = keliling permukaan horizontal (m)

Panas yang dilepas oleh permukaan horizontal yang menghadap ke atas

Bilangan Nusselt untuk permukaan horizontal yang menghadap ke atas adalah sebagai berikut [6]:

$$Nu_L = \frac{h \cdot L_c}{k} = 0,54 Ra_L^{1/4} \quad (10^4 < Ra_L < 10^7) \quad (2.28a)$$

$$Nu_L = \frac{h \cdot L_c}{k} = 0,15 Ra_L^{1/3} \quad (10^7 < Ra_L < 10^{11}) \quad (2.28b)$$

koefisien konveksinya adalah [6]:

$$h = \frac{k \cdot Nu_L}{L_c} \quad (2.29)$$

Sehingga banyaknya panas yang dilepas oleh permukaan horizontal yang menghadap ke atas adalah [6]:

$$Q_{kvha} = h \cdot A_h \cdot (T_w - T_u) \quad (2.30)$$

Bilangan Nusselt untuk permukaan horizontal yang menghadap ke atas adalah sebagai berikut [6]:

$$Nu_L = 0,27 Ra_L^{1/4} \quad (10^5 < Ra_L < 10^{10}) \quad (2.31)$$

Koefisien konveksinya adalah [6]:

$$h = \frac{k \cdot Nu_L}{L_e} \quad (2.32)$$

Sehingga banyaknya panas yang dilepas oleh permukaan horizontal yang menghadap ke atas adalah [6]:

$$Q_{kvhb} = h \cdot A_h \cdot (T_w - T_u) \quad (2.33)$$

Jadi, besarnya panas yang dilepaskan oleh *mold* secara konveksi bebas melalui permukaan *mold* adalah [6]:

$$Q_{kv} = Q_{kvv} + Q_{kvha} + Q_{kvhb} \quad (2.34)$$

2. Panas yang dilepaskan Secara Radiasi

Radiasi thermal merupakan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh suatu benda karena temperaturnya, perpindahan panas terjadi tanpa materi pembawa materi panas. Tiap

benda akan memancarkan panasnya dengan radiasi tertentu. Permasaan yang digunakan untuk menghitung besarnya perpindahan panas secara radiasi adalah sebagai berikut [6]:

$$Q_{rd} = A \cdot E \cdot C_3 [(T_w)^4 - (T_u)^4] \quad (2.35)$$

Dimana:

Q_{rd} = perpindahan panas secara radiasi (W)

A = luas sisi-sisi *modal* (m^2)

E = faktor emisi

C_3 = konstanta Stefan –Boltzman = $5,669 \cdot 10^4 W/m^2K$

II.2.11. Waktu Siklus Proses Injeksi

Waktu siklus merupakan waktu yang diperlukan untuk mencetak produk dari polimer leleh sampai menjadi produk jadi dalam satu kali langkah injeksi. Waktu siklus terdiri dari waktu gerak cetakan, waktu penginjeksian, waktu pengeluaran produk dan waktu pendinginan.

II.2.11.1. Waktu Gerak Cetakan (tb)

Waktu gerak cetakan adalah waktu untuk membuka cetakan, mengeluarkan produk plastik dari cetakan dan menutup kembali cetakan.

- Waktu gerak cetakan membuka (tbb)
Adalah waktu cetakan untuk membuka dan mengeluarkan produk plastik dari dalam cetakan.

$$T_{bb} = \frac{L}{v_{bb}} \quad (2.36)$$

- Waktu gerak cetakan menutup (tbt)
Adalah waktu gerak cetakan menutup kembali setelah produk dikeluarkan.

$$T_{bt} = \frac{L}{v_{bt}} \quad (2.37)$$

Dimana : v_{bb} = kecepatan gerak membuka (cm/s)
 v_{bt} = kecepatan gerak menutup (cm/s)

Jadi waktu gerak cetakan dihitung dengan :

$$T_b = T_{bb} + T_{bt} \quad (2.38)$$

II.2.11.2. Waktu Penginjeksian

Waktu penginjeksian adalah waktu yang diperlukan dari posisi menutup sampai plastik cair mengisi penuh rongga *cavity*.

$$t_i = t_{i^*} + t_h \quad (2.39)$$

a. Waktu injeksi sebenarnya (t_{i^*})

Adalah waktu yang diperlukan cairan plastik untuk mengisi rongga *cavity* sampai penuh.

$$t_{i^*} = \frac{V_p}{0,8 \cdot Q_{mesin}} \quad (2.40)$$

b. Holding time (t_h)

Holding time adalah waktu yang diperlukan agar polimer dalam rongga *cavity* benar-benar mampat, dengan cara *nozzle* tidak langsung bergerak mundur setelah penginjeksian tetapi diam selama 1-3 detik.

II.2.11.3. Waktu Pengeluaran Produk

Waktu pengeluaran produk adalah waktu yang diperlukan oleh ejector untuk mendorong produk keluar dari cetakan dan kembali ke tempat semula.

a. Waktu gerak mendorong (t_L)

Adalah waktu yang diperlukan oleh ejector untuk mendorong produk plastik dari dalam cetakan.

$$t_L = \frac{L}{v_{bb}} \quad (2.41)$$

b. Waktu gerak ejector kembali (t_K)

Adalah waktu yang diperlukan oleh ejector untuk kembali ke posisi semula.

$$t_K = \frac{L}{v_{kk}} \quad (2.42)$$

c. Waktu plastik jatuh

Setelah produk lepas dari cetakan maka mesin harus memberi kesempatan beberapa saat supaya produk jatuh dan tidak terjepit pada saat cetakan kembali.

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2.42)$$

$$T_j = \frac{h}{v} \quad (2.43)$$

Jadi waktu pengeluaran produk dihitung dengan :

$$T_e = t_L + t_K + t_j \quad (2.44)$$

II.2.11.4. Waktu Pendinginan

Waktu pendinginan adalah waktu yang diperlukan untuk menurunkan temperatur dinding cetakan dari temperatur pemasukan plastik ke dalam rongga cetakan hingga mencapai suhu yang diinginkan. Waktu pendinginan produk dapat dihitung dengan [6]:

$$t_c = \frac{S^2 \max}{\pi^2 \lambda_p} \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_m - T_w}{T_e - T_w} \right) \quad (2.45)$$

dimana: S = Tebal maksimal dinding produk (mm)
 T_m = Temperatur leleh (°C)
 Δp = Difusi panas produk (m²/det)
 T_w = Temperatur dinding *cavity* (°C)
 T_e = Temperatur pengeluaran produk (°C)

II.2.11.5. Waktu Siklus

Waktu siklus dijabarkan dengan persamaan [6]:

$$T_{\text{siklus}} = t_b + t_i + t_e + t_c \quad (2.46)$$

Dimana: t_b = waktu gerak cetakan (s)

 t_i = waktu injeksi (s)

 t_e = waktu ejection (s)

 t_c = waktu pendinginan (s)

II.2.12 Material Plastik Helm Arung Jeram

Dalam industri pembuatan helm, material yang sering digunakan adalah plastik. Seluruh plastik adalah polimer, tetapi tidak seluruh polimer adalah plastik. Beberapa polimer nonplastik yang dikenal ialah starches (polimer dari gula), protein (polimer dari asam amino) dan DNA (polimer dari nucleitides).

Plastik dapat dibagi kedalam dua kategori utama:

1. *Thermoseting*

Plastik tipe ini memiliki karakteristik keras, *durable*, mempertahankan bentuknya dan tidak dapat berubah /diubah kembali kedalam bentuk aslinya. Thermoset dapat digunakan untuk part dari mobil, pesawat terbang dan ban. Contoh *thermoset* ialah: Polyurethanes, Polyester, epoxy resins dan phenolic resin.

2. *Thermoplastic*

Plastik tipe ini memiliki karakteristik yaitu dapat kembali ke bentuk aslinya melalui pemanasan, mudah diolah dan dibentuk seperti dibentuk menjadi film, fiber, kemasan (*packaging*). Contoh material thermoplastik ialah: Polyethylene (PE), Polypropylene (PP) dan Polyvinyl Chloride (PVC). Beberapa plastik yang sudah dikenal secara luas diantaranya ialah :

· Polyethylene terephthalate (PET atau PETE). Material ini dihasilkan dari kondensasi antara ethylene glycol dengan asam terephthalic dan termasuk pada tipe thermoplastik. PET ini dapat dibentuk menjadi fiber seperti dacron dan film seperti mylar. Material PET ini merupakan plastik utama untuk pembuatan kantong kemasan makanan.

· Polystyrene (Styrofoam): Polystyrene dibentuk dari moleku molekul styrene. Ikatan rangkap antara bagian CH₂ dan CH dari molekul disusun kembali hingga membentuk ikatan dengan molekul molekul styrene berikutnya dan pada akhirnya membentuk polystyrene. Material ini diaplikasikan untuk pembuatan furniture (pelapis kayu), *cashing* monitor komputer, *cashing* TV, utensil , lensa (optik dari plastik). Bilamana polystyrene dipanaskan dan udara ditiupkan maka melalui pencampuran tersebut akan terbentuk styrofoam. Styrofoam memiliki sifat sangat ringan , moldable dan merupakan insulator yang baik.

· Polyvinyl Chloride (PVC): PVC merupakan tipe thermoplastik, dibentuk melalui polimerisasi vinyl chloride (CH₂=CH-Cl). Ketika dibuat sifatnya mudah pecah (brittle/fragile), maka para manufaktur menambahkan suatu cairan plastikizer supaya hasilnya memiliki sifat lunak dan mudah dibentuk (moldable). PVC umumnya digunakan untuk pipa dan plumbing(pemasangan pipa saluran air) karena tahan lama, tidak berkarat, dan lebih murah dari pipa besi. Namun demikian ada batas waktu kerja *plastikizer* pada PVC tersebut dan bila batas waktu itu telah dilewati maka PVC kembali menjadi mudah pecah dan mudah patah.

· Polytetrafluoroethylene(Teflon): dibuat melalui polimerisasi molekul molekul tetrafluoroethylene (CF₂=CF₂). Polimer ini bersifat stabil, tahan panas, kuat, tahan terhadap berbagai bahan kimia dan permukaannya sangat licin (hampir tidak ada gesekan). Teflon ini digunakan diantaranya untuk peralatan masak ,pelapis tahan air, film, bearing (bantalan poros) dan tabung/pipa.

· Polyvinylidene Chloride (Saran): material ini hasil polimerisasi dari molekul molekul vinylidene chloride (CH₂=CCl₂). Polimer ini dapat dibentuk kedalam bentuk film dan lembaran panjang. Plastik saran ini sangat populer digunakan untuk pembungkus makanan.

· Polyethylene, LDPE dan HDPE: Polimer yang paling umum dalam plastik ialah polyethylene yang dihasilkan (dibuat) dari monomer monomer ethylene (CH₂=CH₂). Pertama kali dibuat ialah LDPE (low density polyethylene), material ini mengambang pada larutan campuran air dan alkohol. Karakteristik LDPE ialah lunak dan fleksibel sehingga pertamakali diaplikasikan sebagai isolator kawat listrik, namun saat ini aplikasinya telah berkembang diantaranya untuk pembuatan film, wraps (pembungkus makanan), botol, kantong sampah, dan sarung tangan yang sekali pakai buang. HDPE (high density polyethylene) dibuat melalui polimerisasi ethylene dengan penambahan berbagai metal, dan dihasilkan polimer polyethylene yang tersusun hampir sebageian besar polimer polimer linier. Bentuknya yang linier menghasilkan sifat bahan yang bersifat kuat ,rapat dan strukturnya mudah diatur. Plastik HDPE ini keras dan memiliki titik lebur tinggi dibandingkan LDPE selain itu tenggelam dalam larutan campuran air dengan alkohol. Material ini diaplikasikan untuk pembuatan hula hoop dan kontainer.

· Polypropylene (PP): dibuat dari monomer monomer propylene (CH₂=CHCH₃). Variasi bentuk polypropylene memiliki kekerasan dan titik leleh yang berbeda beda. Material PP ini diaplikasikan untuk pembuatan hiasan mobil, *cashing* accumulator, botol, tabung, dan tas.

· Polymethylmethacrylate (PMMA) atau dikenal dengan nama Acrylic. Meskipun acrylic diketahui untuk digunakan dalam cat dan fiber sintetik seperti *fake fure*, dalam bentuk padatan

bahan ini memiliki sifat keras dan lebih transparan daripada gelas. Bahan ini sering dijual sebagai bahan pengganti gelas dengan merk dagang plexiglas atau lucite. Bahan ini diaplikasikan untuk pembuatan kanopi pesawat terbang .

· Polyurethane: diaplikasikan untuk pembuatan mattress, pelapisan dan bahan pengisi furniture, isolasi panas dan untuk bahan pakaian olah raga (lycra) [11].

Untuk meringkas akan ditampilkan perbandingan material plastik yang digunakan dalam bentuk tabel, seperti yang ditampilkan tabel 2.4 [12] berikut ini.

Tabel 2.4 Perbandingan material plastik [12]

Property	HDPE	PP	PVC	PVC-C*	PB*
Surface feel	Waxy	Waxy	Smooth	Smooth	Waxy
Appearance (water pipes)	Black	Pale grey-beige	Blue	Grey-beige	Black
Sound produced when dropped	Medium clatter	High clatter	High clatter	High clatter	Dull thud
Combustibility and appearance of flame	Bright flame; Drops continue to burn after falling	Bright flame; Drops continue to burn after falling	Carbonises in flame; Extinguishes away from flame	Carbonises in flame; Extinguishes away from flame	Bright flame; Drops continue to burn after falling
Odour of smoke after flame is extinguished	Like candles	Like resin	Pungent like hydrochloric acid	Pungent like hydrochloric acid	Like candles but more acrid than HDPE
Nail test (impression made by fingernail)	Impression possible	Very light impression possible	Impression not possible	Impression not possible	Impression easily produced
Special features					Smears when sawn
Floats in water	Yes	Yes	No	No	Yes
Notch sensitivity	No	Slight	Yes	Yes	Yes
Weather resistance	Stabilised, good	Stabilised, good	Stabilised, good	Stabilised, good	Stabilised, good
Method of permanent joining	Fusion	Fusion	Solvent cement	Solvent cement	Fusion
Suitable for mechanical jointing	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Stress crack sensitivity with regard to jointing with save media, e.g water	Some	Slight	None	None	None
Linear expansion mm/m/°C	0.2	0.15	0.08	0.07	0.12
Thermal conductivity kcal/mh°C	0.4	0.19	0.14	0.14	0.2
Specific heat kcal/mh°C	0.42	0.4	0.23	0.23	0.47
Specific weight kg/cm ³	0.955	0.905	1.42	1.5	0.92
Tensile strength at 20°C kp/cm ²	240	320	550	550	200
Modulus of elasticity at 20°C kp/cm ²	8000	15000	30000	30000	5000

II.2.13. Perangkat Lunak

II.2.13.1. *Software Solidworks*

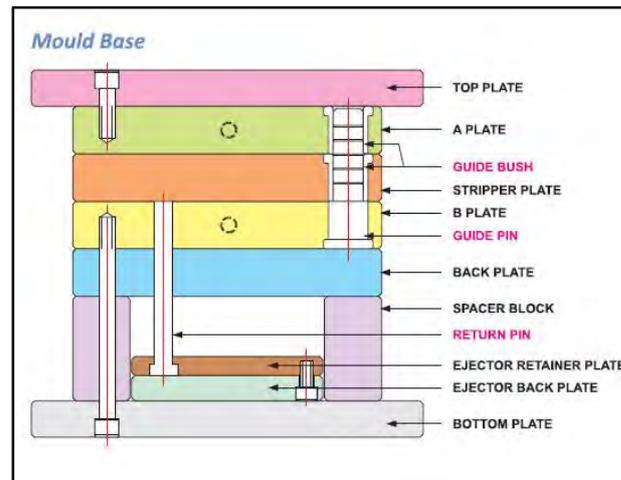
SOLIDWORKS adalah salah satu CAD *software* yang dibuat oleh DASSAULT SISTEMES dimana *software* ini digunakan untuk merancang part permesinan atau susunan part permesinan yang berupa assembling dengan tampilan 3D untuk merepresentasikan part sebelum real part nya dibuat atau tampilan 2D (drawing) untuk gambar proses permesinan. SolidWorks pertama kali diperkenalkan pada tahun 1995 sebagai pesaing untuk program CAD seperti Pro-ENGINEER, NX Siemens, I-Deas, Unigraphics, Autodesk Inventor, Autodeks AutoCAD dan CATIA. SolidWorks Corporation didirikan pada tahun 1993 oleh *Jon Hirschtick*, dengan merekrut tim insinyur profesional untuk membangun sebuah perusahaan yang mengembangkan perangkat lunak CAD 3D, dengan kantor pusatnya di Concord, Massachusetts, dan merilis produk pertama, *SolidWorks 95*, pada tahun 1995. Pada tahun 1997 *Dassault Systèmes*, yang terkenal dengan CATIA CAD *software*, mengakuisisi perusahaan dan sekarang ini memiliki 100% dari saham SoliWorks. SolidWorks dipimpin oleh John McEleney dari tahun 2001 hingga Juli 2007, dan sekarang dipimpin oleh Jeff Ray.

II.2.13.2. *Software Autodesk Moldflow Adviser*

Diantara perkembangan teknologi computer yang diterapkan pada bidang manufaktur adalah Computer Aided Engineering (CAE), penggunaannya dianggap sebagai alat bantu gambar yang mentransfer pekerjaan di atas meja gambar ke layar monitor. Kemajuan dalam bidang CAE telah membawa kemudahan dalam menghasilkan produk *injection molding* yang baik. Diantara *software* simulasi *injection molding* yang sering digunakan adalah Autodesk *moldflow adviser*. Pada simulasi ini digunakan autodesk *moldflow adviser* untuk simulasi perencanaan *sprue*, *runner*, *gate* dan proses injeksi secara keseluruhan. Sehingga, hal ini akan membantu *mold-designer* dalam melakukan analisa dari hasil yang ditampilkan dan mengetahui pengaruh dari perubahan ketebalan dinding, lokasi *gate*, material plastik, dan geometri terhadap kemampuan dari suatu produk untuk difabrikasi.

II.2.14. *Proses Pembuatan Mold*

Secara umum, *mold base* dibagi menjadi 2 bagian, yaitu : *stationary mold* dan *moving mold*. *Stationary mold* merupakan belahan dari *mold* yang berada pada sisi di mana plastik diinjeksikan. Sedangkan *moving mold* merupakan belahan *mold* yang berada pada sisi ejector mesin. Dimensi dari *mold base* membatasi jumlah *cavity* pada *mold* dan juga menunjukkan kapasitas mesin yang dibutuhkan. Gambar 2.7 [9] menunjukkan konfigurasi dari suatu *mold base* secara umum



Gambar 2.7 Konfigurasi umum *mold* base [9]

II.2.14.1. Pemilihan Material *Mold*

Diantara pertimbangan dalam menentukan material untuk pembuatan *mold* didasari oleh beberapa hal, yaitu : pertimbangan biaya produksi, sifat dasar dan kemampuan untuk dibentuk, keandalan yang tinggi, dapat dengan mudah diperoleh di pasaran, serta memenuhi untuk berbagai aplikasi.

Pada umumnya, material cetakan *mold* menggunakan bahan baku baja, karena baja merupakan material yang memiliki life time yang cukup lama sebagai bahan cetakan, dengan berbagai tingkatan baja sesuai kebutuhan. Diantara sifat baja adalah sebagai berikut :

- Karakteristik permesinan yang cukup ekonomis.
- Ketangguhan dan kekuatan yang cukup baik.
- Tahan terhadap panas.
- Konduksi panas yang baik.

Beberapa jenis baja yang sering digunakan untuk material cetakan adalah sebagai berikut :

- AISI 1030
AISI 1030 merupakan *low carbon steel* dengan sifat medium tensile dan *low hardenability*. Dengan kandungan 0,3% karbon, memiliki tensile strength 500-850 Mpa, sehingga mudah dilakukan proses permesinan, akan tetapi unsur karbon yang rendah menyebabkan material ini ductile.
- AISI P20
AISI P20 merupakan chrom-moly tool steel kualitas tinggi, biasa digunakan sebagai *cavity* dengan sifat material berkekuatan tinggi, dengan kandungan 0,5% karbon, proses permesinan yang mudah, dan tahan terhadap pemakaian yang lama.
- AISI 4130
AISI 4130 merupakan baja paduan dengan unsur paduan molybdenum dan chromium serta 0,3% karbon. Material ini mudah diproses *machining*, keras dan tahan panas, akan tetapi material ini ductile dan lebih mahal dari carbon steel.

II.2.14.2. Proses Pengerjaan

Secara umum proses pengerjaan pembuatan *mold* dibagi menjadi dua jenis proses permesinan, yaitu:

1. Proses Permesinan Tradisional

Proses permesinan tradisional merupakan proses pembuangan material dengan terjadinya kontak langsung antara pahat dan benda kerja.

Contoh : turning, milling dan drilling

2. Proses Permesinan Non-Tradisional

Proses permesinan non-tradisional merupakan proses pembuangan material tanpa terjadi kontak langsung antara pahat dan benda kerja, akan tetapi memanfaatkan suatu energy.

Contoh : *Electrochemical Machining* dan *Electrochemical Grinding*.

Pada pembuatan *mold* helm arung jeram ini digunakan teknik permesinan tradisional untuk proses turning, milling dan drilling.

II.2.14.3. Cutting-Operation Machining

Proses pemotongan pada pembuatan *mold* adalah menggunakan turning, milling dan drilling, sedangkan untuk mendapatkan kekerasan yang baik dilakukan proses hardening.

Setelah melalui proses pemotongan, maka akan didapatkan hasil berupa permukaan *mold* yang mungkin lebih halus atau mungkin lebih kasar, tergantung dari proses pengerjaan yang dilakukan, sehingga dilakukan proses *polishing* .

II.2.15. Perhitungan Biaya Produksi

Apabila perhitungan total dari biaya pembuatan *mold* dikelompokkan berdasarkan fungsinya yang saling terkait, kemudian dijabarkan untuk biaya pada setiap parameter dengan perhitungan secara tersendiri, maka akan memberi kemudahan dalam melakukan perhitungan biaya pembuatan *mold* . Pengelompokkan tersebut dibagi seperti berikut:

1. *Mold Cavity*
2. *Mold Base*

Maka, perhitungan total biaya produksi pembuatan *mold* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$C_{moldtotal} = C_{cavity} + C_{moldbase} \quad (2.47)$$

II.2.15.1. Perhitungan Biaya Produksi *Cavity*

Perhitungan biaya *cavity* meliputi pembuatan *cavity* dan core insert. pembuatan *cavity* memiliki pengaruh yang sangat besar dalam perhitungan biaya produksi cetakan. Hal ini karena *cavity* dan core insert memiliki geometri detail seperti produk yang dicetak, terbuat dari

material yang sangat keras, dan membutuhkan proses finishing yang memiliki tingkat akurasi dan kualitas yang sangat tinggi. Perhitungan biaya pembuatan *cavity* dipengaruhi oleh jenis material, proses permesinan dan proses finishing. Sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut [8]:

$$C_{cavity} = C_{cavity_material} + C_{cavity_machining} + C_{cavity_finishing} \quad (2.48)$$

Dimana:

$C_{cavity_material}$: Biaya material *cavity*

$C_{cavity_machining}$: Biaya pembuatan *cavity*

$C_{cavity_finishing}$: Biaya finishing *cavity*

Adapun biaya dari material untuk pembuatan *cavity* adalah sebagai berikut :

$$C_{cavity_material} = V_{cavity_material} \times \rho_{cavity_material} \times K_{cavity_material} \quad (2.49)$$

Dimana:

$V_{cavity_material}$: volume *cavity*

$\rho_{cavity_material}$: massa jenis material dari *cavity*

$K_{cavity_material}$: biaya material per kilogram

Untuk biaya permesinan dalam pembuatan *cavity* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$C_{cavity_machining} = t_{cavity_machining} \times R_{machining_rate} \quad (2.50)$$

Dimana:

$t_{cavity_machining}$: waktu untuk proses permesinan

$R_{machining_rate}$: upah pekerja untuk proses permesinan

Selanjutnya untuk biaya proses finishing dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$C_{cavity_finishing} = t_{cavity_finishing} \times R_{finishing_rate} \quad (2.51)$$

Dimana:

$t_{cavity_finishing}$: waktu untuk proses finishing

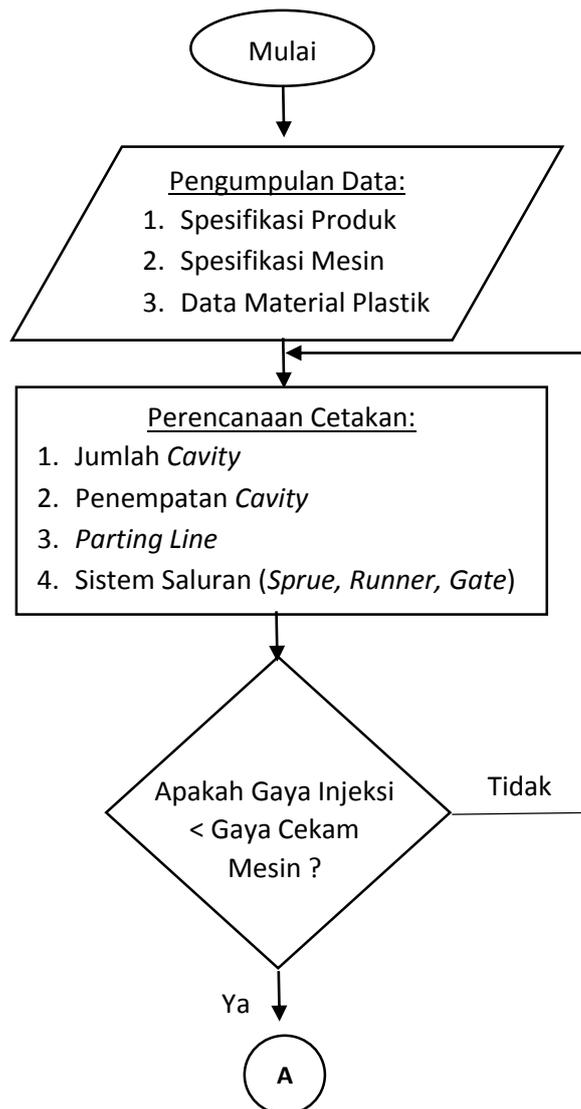
$R_{finishing_rate}$: upah pekerja untuk proses finishing

BAB III

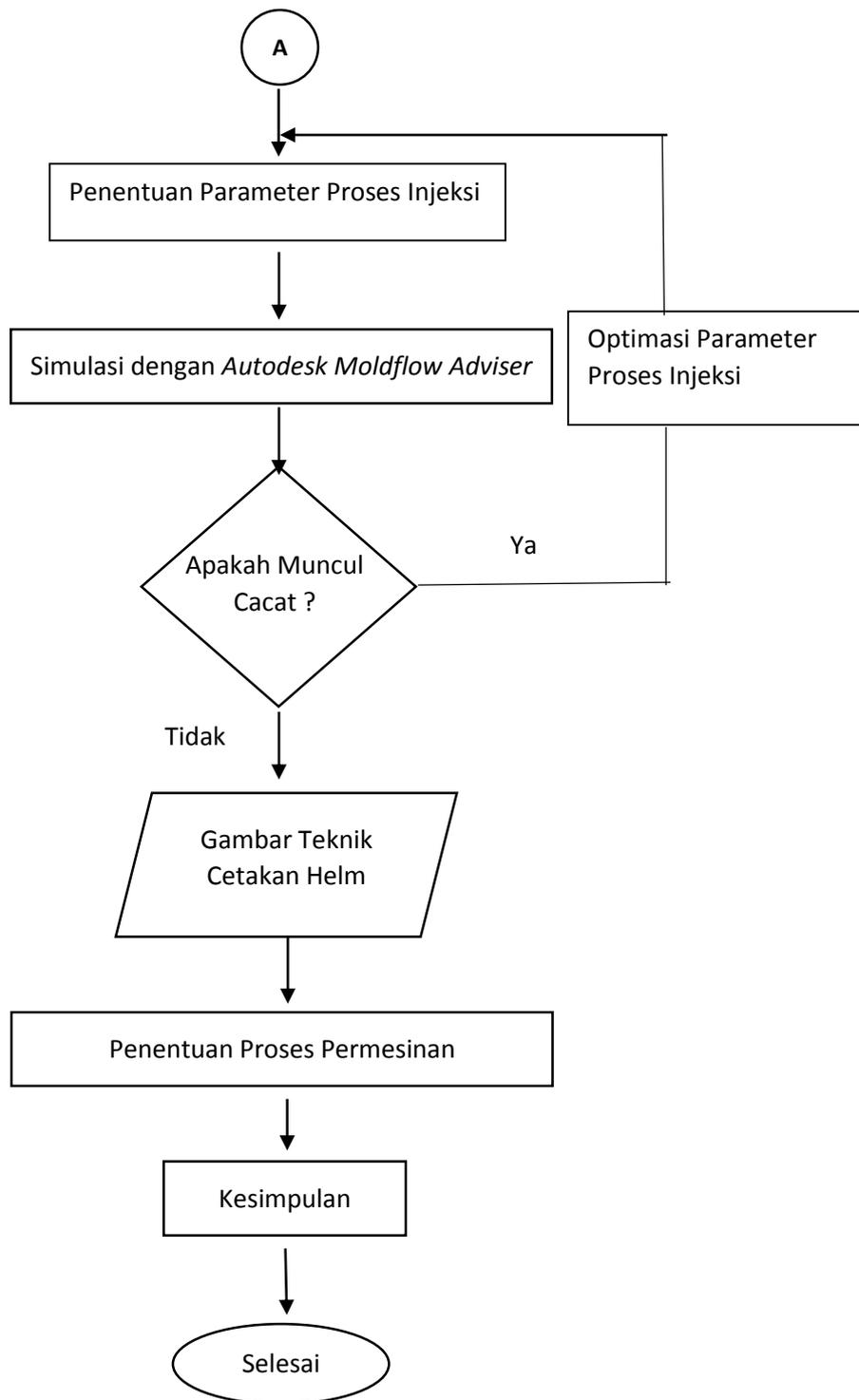
METODOLOGI PERANCANGAN

III.1. Diagram Alir Perencanaan dan Pembuatan Cetakan

Di bawah ini pada gambar 3.1 akan dijelaskan diagram alir dari proses perencanaan dan pembuatan cetakan helm arung jeram



Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan dan Pembuatan Cetakan



Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan dan Pembuatan Cetakan (Lanjutan)

III.2. Tahap Perencanaan dan Pembuatan Cetakan

Tahap-tahap yang dilaksanakan dalam perencanaan cetakan helm arung jeram adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam perencanaan cetakan dan sistem saluran sebagai berikut.

- a. Data Produk

Data produk merupakan kumpulan data dan spesifikasi dari produk yang akan dicetak meliputi geometri dan material plastik yang akan digunakan.

- b. Data Mesin

Data mesin merupakan kumpulan data dan spesifikasi dari mesin *injection molding* yang akan digunakan meliputi kapasitas tekanan, gaya cekam, kapasitas penginjeksian, ukuran cetakan dan sebagainya. Mesin yang akan digunakan adalah tipe HAITIAN MA 900/260E.

- c. Data Material Plastik

Data material plastik merupakan kumpulan data dari material plastik yang akan digunakan meliputi jenis material plastik, sifat fisik, sifat mekanik, sifat termik dan kemampuannya untuk digunakan dalam proses *injection molding*.

2. Perencanaan cetakan

Perencanaan komponen utama meliputi *parting line*, *cavity*, dan sistem saluran (*sprue*, *runner*, dan *gate*)

3. Simulasi cetakan dan sistem saluran

Simulasi terhadap cetakan, sistem saluran, dan sistem pendinginan dilakukan setelah diketahui tipe dan dimensi yang sebaiknya digunakan dari *cavity*, *sprue*, dan *gate*. Simulasi dari proses *injection molding*, secara keseluruhan akan dilakukan dengan menggunakan *software autodesk moldflow adviser*. Jika terjadi cacat maka dilakukan optimasi parameter proses injeksi.

yang menyesuaikan dengan produk yang dibuat

4. Pembuatan gambar teknik *mold*

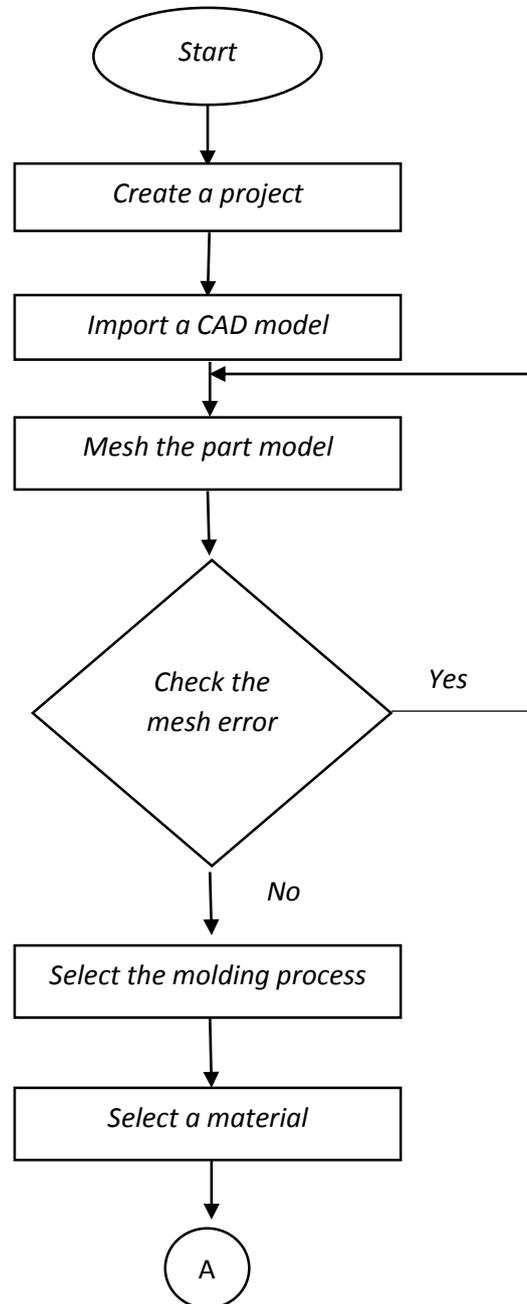
Membuat gambar teknik dari perencanaan cetakan untuk produk helm arung jeram yang meliputi gambar susunan dan gambar detail

5. Penentuan proses pemesinan

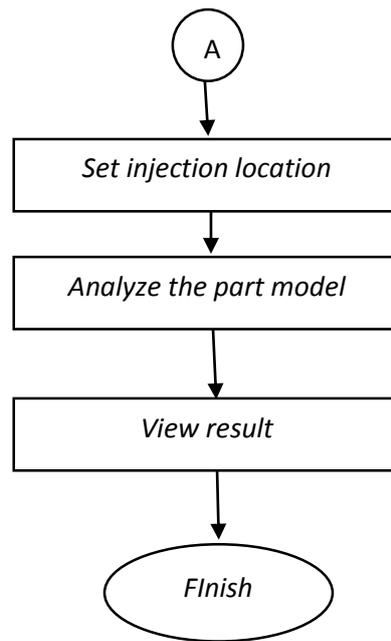
Proses manufaktur yang digunakan untuk membuat cetakan helm arung jeram.

III.3. Diagram Alir Simulasi Proses Injeksi

Berikut di bawah ini pada gambar 3.2 [10] adalah diagram alir proses simulasi proses injeksi.



Gambar 3.2 Diagram Alir Simulasi Proses Injeksi [10]



Gambar 3.2 Diagram Alir Simulasi Proses Injeksi [10] (Lanjutan)

III.4. Tahap Simulasi Proses Injeksi

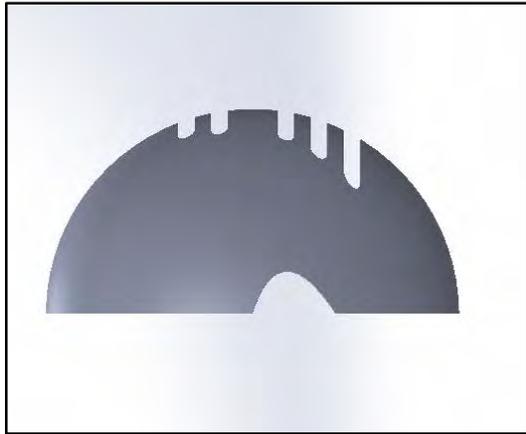
Tahap-tahap yang dilaksanakan pada saat simulasi proses injeksi menggunakan *software autodesk moldflow adviser* adalah sebagai berikut [10].

1. *Create a project*
Untuk memulai sebuah *project* pada *software* ini, maka diawali dengan *create a project* menggunakan perintah *new project*
2. *Import a CAD Model*
Melakukan langkah import untuk membuka model produk yang telah dibuat dengan *software* CAD dalam format *.stl.
3. *Mesh the part model*
Melakukan proses meshing pada model yang telah di-import sebelumnya
4. *Check the mesh error*
Melakukan evaluasi terhadap kemungkinan terjadinya error pada waktu dilakukan meshing
5. *Select the molding process*
Pada tahap ini ditentukan jenis proses yang akan dilakukan, yaitu *thermoplastiks injection molding* dan menentukan rangkaian analisis yang disebut *analysis sequence*
6. *Select a material*
Select a material dilakukan untuk menentukan material plastik yang akan digunakan pada proses analisa yang akan dilakukan
7. *Set injection location*
Menentukan lokasi *gate*, sebagai titik injeksi material plastik
8. *Analyze the part model*
Analyze the part model merupakan perintah untuk menjalankan analisa terhadap model yang dirancang
9. *View the result*
View result dilakukan untuk mengetahui hasil dari analisa yang telah dijalankan

BAB IV PERENCANAAN CETAKAN

IV.1. Spesifikasi Helm yang Digunakan

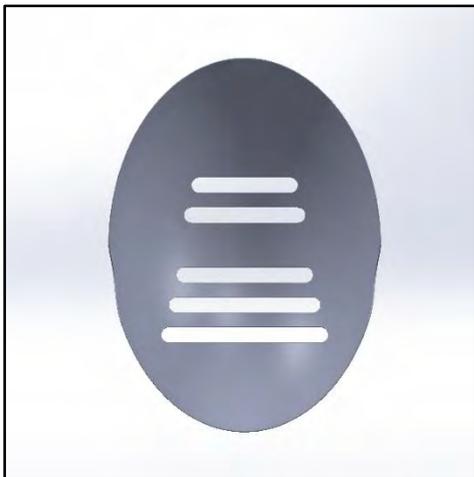
Pada gambar 4.2 di bawah ini adalah desain helm yang digunakan untuk dirancang cetakannya. Helm tersebut memiliki ukuran 250 mm x 180mm x 150mm.



(a) Tampak Depan



(b) Tampak Samping Kanan



(c) Tampak Atas

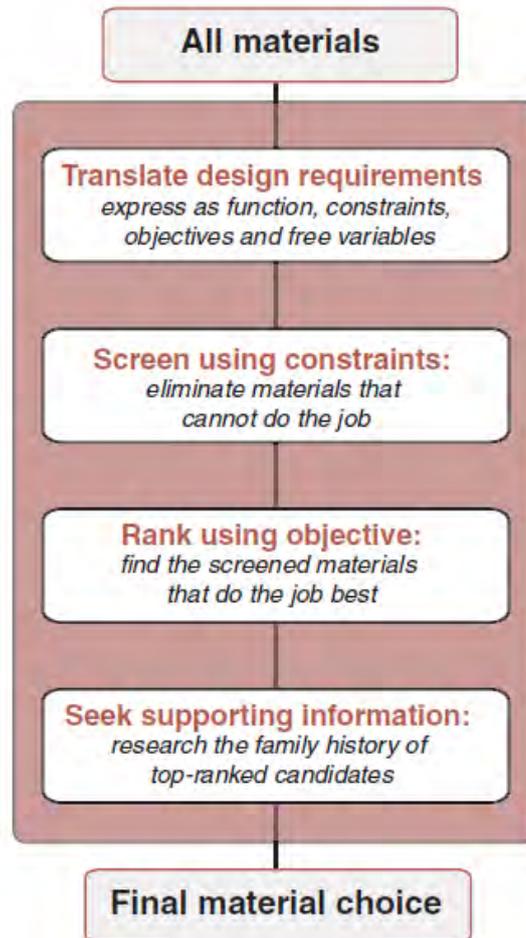


(d) Tampak Samping Kiri

Gambar 4.1 Penampang helm arung jeram

IV.2. Pemilihan Material Helm

Dalam melakukan pemilihan material untuk suatu produk dapat digunakan alur seperti yang ditampilkan pada gambar 4.1 [13] di bawah ini.



Gambar 4.2 Diagram alir pemilihan material [13]

Menurut standar dari FAJI (Federasi Arung Jeram Indonesia) maupun AWA (American Whitewater Association), helm arung jeram harus memiliki sifat yang solid atau kuat dan pas ketika digunakan [15]. Dari berbagai macam jenis plastik yang telah diketahui, maka material yang paling cocok untuk membuat helm adalah HDPE (High Density Polyethylene), karena memiliki sifat sebagai berikut:

- Ketahanan impak yang bagus [14].
- *Stress crack resist* [14].
- Ketangguhan yang baik dibandingkan LDPE dan PP [3].
- Mengambang di air [12].
- Titik leleh yang tidak setinggi PP [15].

Karakteristik diatas sesuai dengan yang dibutuhkan oleh helm arung jeram. Adapun *properties* dari HDPE akan ditampilkan pada tabel 4.2 [12] di bawah ini.

Tabel 4.1 *Physical properties of HDPE* [12]

Property		Value	Unit	Test Method	Test Specimen
Density at 23°C		0.958	g/cm ³	ISO 1183	10mm x 10mm x 4mm
Viscosity Number		380	ml/g	ISO 1628-3	0.1% solution of granules in decahydronaphthalene
Melt Flow Rate	MFR 190/5	0.23	g/10min	ISO 1133	granules sample weight 3g to 6g
	MFR 190/21.6	6.5	g/10min		
Tensile Properties	Yield Stress	26	N/mm ²	ISO 527, Test Rate 50mm/min	ISO 3167, 4mm thick (test specimen no. 3, 4mm thick according to DIN 53 455)
	Enlonggation at Yield Stress	10	%	ISO 527, Test Rate 50mm/min	
	Tensile modulus of Elasticity (secant between 0.05 & 0.25% strain)	900	N/mm ²	ISO 527	
	Tensile Creep Modulus (1 hour value)	650	N/mm ²	ISO 899, Test Load 2M/mm ²	
	Tensile Creep Modulus (1000 hour value)	350	N/mm ²		
Flexural Properties	Flexural Creep Modulus (1 min value)	1100	N/mm ²	DIN 54852-Z4 $\sigma_b=2N/mm^2$	110mm x 10mm x 4mm loaded flat
	Flexural Stress (3.5% deflection)	20	N/mm ²	ISO 178, Test Rate 2mm/min	80mm x 10mm x 4mm
Stiffness in Torsion		180	N/mm ²	DIN 53447	60mm x 6.35mm x 3mm
Hardness	Ball Indentation Hardness	41	N/mm ²	ISO 2039 part 1 Test Load 132N	4mm sheet
	Shore Hardness D (3 sec value)	61	~	ISO 868	6mm sheet
	Shore Hardness D (15 sec value)	59	~		
Notched Impact Strength acN (test specimen from compression moulded sheet)	at 23°C	20	kJ/m ²	ISO 179/1eA	80mm x 10mm x 4mm
	at -30°C	10	kJ/m ²		
Vicat softening Point VST/B/50		67	°C	ISO 306	4mm sheet
Oxidation Induction Time	200°C in O ₂	>=60	min	ISO TR 10837	granules

IV.3 Data Mesin Injection Molding

Spesifikasi dari mesin injeksi molding yang akan digunakan pada perencanaan cetakan ini adalah [16]:

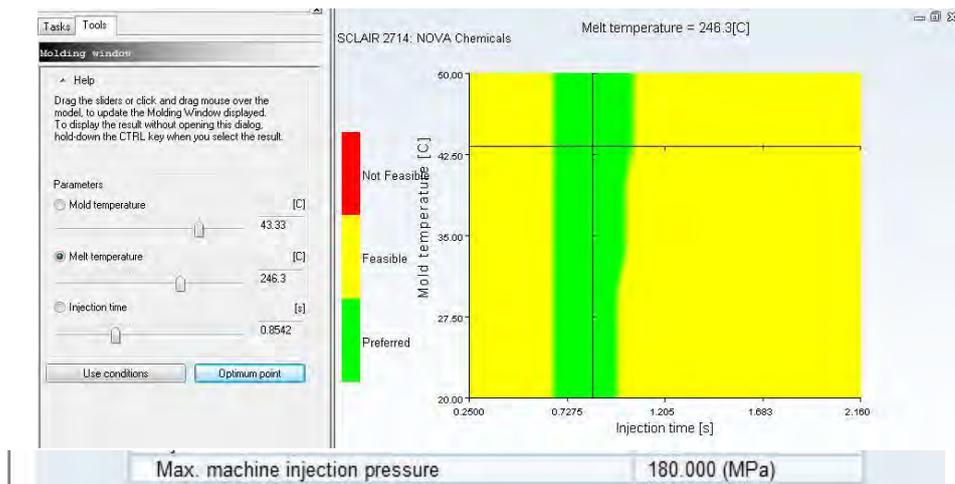
- Merk: HAITIAN
- Model: MA 900/620e
- Injection Unit
- Screw diameter: 56 mm
- Theoretical injection capacity: 176 cm³
- Injection capacity: 139 g
- Injection pressure: 173 mpa
- Holding pressure: 181 mpa
- Injection speed: 350 mm/s
- Injection rate: 98 g/s
- Plasticizing rate: 40,68 Kg/h
- Screw speed: 0-230 rpm
- Clamping Unit
- Clamping force: 900 kn
- Daylight opening: 950 mm
- Opening stroke (Max): 450 mm
- Mold height: 200-500 mm
- Distance between tie-bars: 360x360 mm
- Ejector point: 5 point
- Ejector force: 33 kN
- Ejector stroke: 100 mm

IV.4 Dasar Pertimbangan Perencanaan Cetakan

Beberapa langkah yang langkah yang perlu diperhatikan dalam perencanaan cetakan adalah sebagai berikut:

IV.4.1 Penentuan setting parameter

Untuk mendapatkan setting parameter proses yang baik pada perencanaan ini, maka dilakukan simulasi *molding window* menggunakan *software moldflow*. *Molding window* atau disebut dengan *process window* merupakan batas bawah parameter kondisi injeksi yang diijinkan agar produk dapat dibuat.



Gambar 4.3 Hasil simulasi *Molding window*

Dari hasil simulasi *molding window* yang ditunjukkan pada gambar 4.3, maka diperoleh setting parameter optimal untuk perencanaan proses injeksi yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

Mold Temperature: 43 °C

Melt Temperature: 246,0 °C

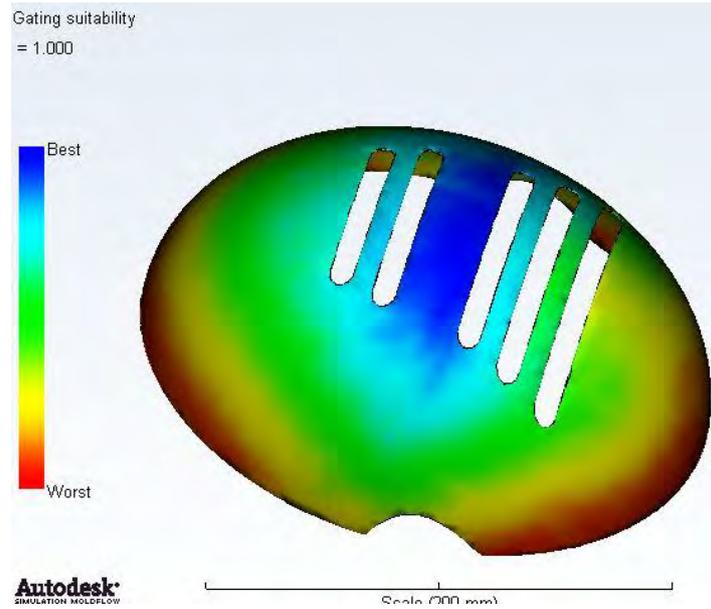
Injection Time: 0,8 sec

Maximum Injection Pressure: 180 MPa

Pada grafik *Molding Window* dapat dilihat bahwa garis yang berpotongan pada lokasi yang berwarna hijau adalah lokasi *setting parameter* terbaik.

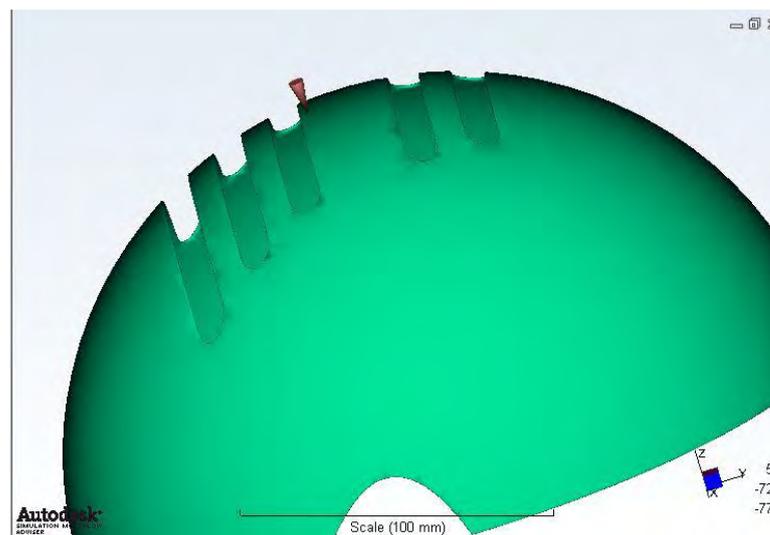
IV.4.2 Simulasi Untuk Menentukan Posisi dan Lokasi Gate Terbaik

Penentuan lokasi gate merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan sebuah cetakan. Selain berpengaruh pada perencanaan layout cavity, penentuan lokasi gate juga dilakukan untuk menghindari terjadinya cacat produk atau bahkan terjadinya kegagalan dalam proses injeksi. Diantara cacat yang bisa timbul sebagai akibat dari penempatan lokasi dan posisi gate ialah terperangkapnya udara dalam cetakan (*air traps*), hesitasi, dan aliran yang tidak seimbang (*unbalanced flow*). Lokasi gate terbaik seperti ditunjukkan pada gambar 4.4. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa hasil simulasi yang menunjukkan warna biru adalah lokasi penempatan gate yang paling baik.



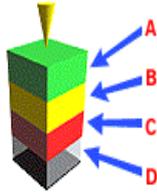
Gambar 4.4 Lokasi Gate Terbaik

Setelah mendapatkan luasan lokasi gate terbaik dan setting parameter proses yang optimal, maka dapat dilakukan simulasi pada masing-masing alternatif pemilihan lokasi gate untuk mendapatkan prediksi kualitas (*quality prediction*) terbaik berdasarkan setting parameter terpilih. Dikarenakan luasan dimensi yang terbatas untuk menentukan posisi gate, maka hanya dipilih satu lokasi gate yang ditentukan. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.5 Lokasi Gate Terpilih

Hasil dari *quality prediction* dapat ditentukan dengan melihat variasi warna yang terjadi setelah dilakukan simulasi, dengan ketentuan seperti pada gambar 4.5.

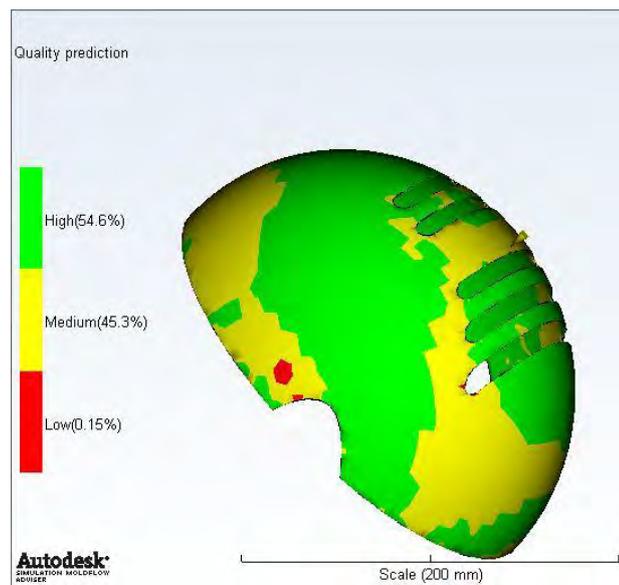


Keterangan :

- a. Warna hijau, kualitas yang sangat tinggi
- b. Warna kuning, kualitas yang kurang baik
- c. Warna Merah, kualitas sangat buruk
- d. Tidak berwarna, terjadi *short shoot* (tidak terisi penuh)

Gambar 4.6. Penentuan *quality prediction* [10]

Hasil simulasi *quality prediction* dapat dilihat pada gambar 4.6 di bawah ini. Berdasarkan lokasi gate yang dipilih, tidak terjadi *short shot*, dengan kata lain seluruh cavity terisi oleh material plastik. Secara keseluruhan memiliki hasil yang bagus dengan ditunjukkan warna hijau dan kuning, namun ada sedikit lokasi di samping helm yang memiliki warna merah. Produk yang baik seharusnya tidak memiliki warna merah pada proses simulasi, namun pada simulasi ini telah digunakan *setting parameter* terbaik pada proses injeksi dan tetap dihasilkan warna merah, yang artinya pada lokasi tersebut terisis oleh plastik leleh lebih sedikit daripada lokasi lainnya. Jika *setting parameter* diubah maka warna merah pada simulasi *quality prediction* akan lebih besar lagi luasannya.



Gambar 4.7 Hasil Simulasi *Quality Prediction*

IV.4.3 Perencanaan *parting line*

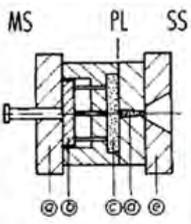
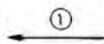
Pada perencanaan sebuah cetakan, harus dilakukan penentuan jenis cetakan sesuai geometri produk plastik yang akan dicetak. Berdasarkan karakteristik perencanaan cetakan, maka macam-macam cetakan dapat dibedakan seperti pada table 4.1.

Tabel 4.2 Klasifikasi perencanaan cetakan [8]

Designation	Criteria
1. Standard mold	Simplest design ("standard"): one parting line; one-directional opening motion, demolding primarily by gravity, with ejector pins or sleeves
2. Slide mold	One parting line; opening motion in main direction and transverse with slide actuated by cam pin
3. Stripper mold	Similar to 1., but demolding with stripper plate
4. Mold designed for cutting off molding	Similar to 1., but separation of runner and molding by cutting with additional plate moving transverse (like 3.)
5. Split-cavity mold	One parting line; opening motion in main direction and transverse; cavity halves slide on inclined planes and can withstand lateral forces
6. Unscrewing mold	Rotational motion for automatically demolding a thread is mechanically actuated
7. Mold designed for tearing off molding	Two parting lines for demolding runner and molding separately after they have been torn apart; one-directional opening motion in two stages
8. Stack mold	Cavity plates stacked with several parting lines
9. Insulated-runner mold	Two parting lines; no conventional runner system but channels with enlarged cross section permitting formation of a hot core insulated by a surrounding frozen skin
10. Hot-runner mold	Runner is located in an electrically heated manifold
11. Special molds	Combinations of 2. to 10. for moldings with special requirements which do not permit a simple solution

Jenis cetakan yang akan digunakan pada perencanaan ini ialah tipe standard mold, karena sesuai dengan geometri produk lid yang direncanakan. Untuk mengetahui secara lebih detail tentang sistem cetakan standard mold, dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.3 Karakteristik standard mold [8]

Schematic Diagram	Major component	Characteristic	Moldings	Opening Path
	a. Clamping plate MS b. Ejector system c. Cavity d. Sprue e. Clamping plate SS	Most simple design; Two mold halves; One parting line; One Opening direction; Demolding by gravity; Ejector pins or sleeve	For all kinds of moldings without undercut	

Keterangan :

MS = Movable Side PL = Parting Line SS : Stationary Side

Berdasarkan karakteristik sistem cetakan *standard mold* pada tabel 4.3, maka didapatkan perencanaan cetakan dengan satu *parting line* yang memiliki dua plat (*two plate*), yaitu *moving plate* dan *fixed plate*.

IV.5 Perencanaan Komponen Utama

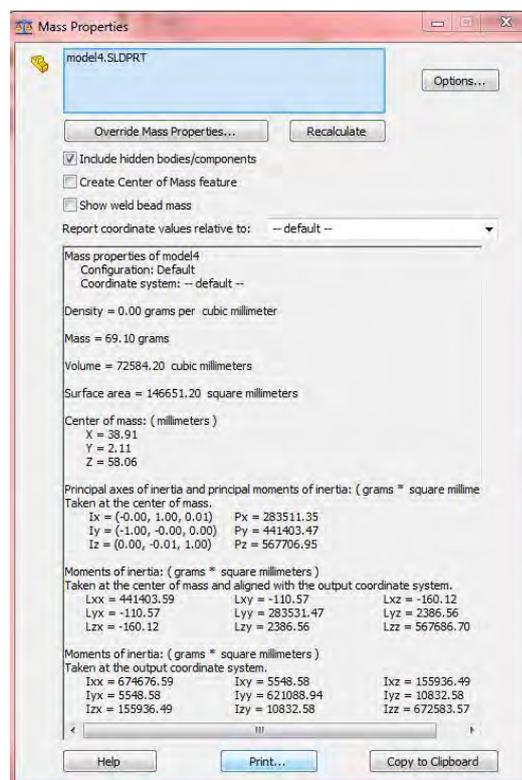
Perencanaan komponen utama yang akan dilakukan meliputi perencanaan cavity, dan perencanaan sistem saluran.

IV.5.1 Perencanaan Cavity

Cavity merupakan rongga kosong yang berfungsi sebagai tempat dimana cairan plastik akan dicetak yang berupa bagian negatif dari geometri produk. Perencanaan cavity yang dilakukan meliputi perhitungan volume cavity dan penentuan jumlah cavity.

IV.5.1.1 Volume Cavity

Besarnya volume produk dapat diketahui dengan bantuan software Solidworks. Sehingga diperoleh volume produk seperti yang terlihat pada gambar 4.7 sebesar 72584,4 mm³. Sedangkan material yang digunakan untuk perencanaan produk lid ialah High Density Polyethylene yang memiliki faktor shrinkage sebesar 2 persen dan massa jenis sebesar 0,952 gr/cm³.



Gambar 4.8 Produk *properties*

Sehingga dengan menggunakan persamaan 2-1 dapat ditentukan volume cavity sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{cav} &= V_p (1 + S \%) \\ &= 72,58 \text{ cm}^3 (1 + 2 \%) \\ &= 74,03 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Sedangkan massa dari produk dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.2.

$$M_p = V_{cav} \cdot \rho$$

$$= 72,58 \text{ cm}^3 \cdot 0,952 \text{ gr/cm}^3$$

$$= 69,09 \text{ gram.}$$

IV.5.1.2 Penentuan Jumlah Cavity

Dalam menentukan jumlah cavity, maka harus disesuaikan dengan kapasitas maksimum yang mampu ditempatkan pada mesin, yaitu tidak melebihi kapasitas cavity pada mesin yang telah ditentukan. Dalam perencanaan ini, digunakan mesin yang memiliki ukuran base mold 350mm x 300mm x 250mm.

Jumlah dari cavity dapat ditentukan berdasarkan dua pertimbangan, yaitu: kapasitas injeksi minimum, dan kapasitas injeksi maksimum.

a. Kapasitas injeksi minimum.

Kapasitas injeksi teoritis dari mesin (V_s) sebesar 176 cm^3 dan volume produk $72,58 \text{ cm}^3$ dengan asumsi volume runner sebesar 10% dari volume produk, yaitu $7,25 \text{ cm}^3$. Maka jumlah cavity yang diperoleh berdasarkan kapasitas injeksi minimum adalah sebagai berikut :

$$n_{t2} = 0,2 \frac{V_s}{V_p}$$

$$= 0,2 \frac{176 \text{ cm}^3}{72,58 + 7,25} = 0,4 \text{ cavity}$$

b. Kapasitas injeksi maksimum:

Berdasarkan kapasitas injeksi maksimum, maka jumlah cavity diperoleh sebagai berikut :

$$n_{t3} = 0,8 \frac{V_s}{V_p}$$

$$= 0,8 \frac{176 \text{ cm}^3}{72,58 + 7,25} = 1,76$$

Ukuran base mold yang dipakai adalah 300mm x 350mm x 250mm. Ukuran produk yang digunakan adalah 250mm x 180mm x 130mm, maka dengan ukuran tersebut jumlah cavity yang mungkin adalah 1.

IV.5.2 Perencanaan Sistem Saluran

Perencanaan sistem saluran untuk *injection molding* meliputi tiga komponen utama, yaitu : *sprue*, *runner*, dan *gate*.

IV.5.2.1 Perencanaan *Sprue*

Sprue adalah saluran masuk pertama menuju rongga cetakan yang dilalui oleh cairan plastik setelah diinjeksikan oleh *nozzle*. Melalui *sprue*, material akan didistribusikan menuju *runner*. Ukuran dari *sprue* ditentukan dari ketebalan maksimum produk yang diinginkan.

Diameter pangkal sprue.

$$\begin{aligned}d_F &\geq S_{\max} + 1,5 \text{ mm.} \\ &= 2,45 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} \\ &= 3,95 \text{ mm}\end{aligned}$$

Diameter ujung sprue.

$$\begin{aligned}D_A &\geq d_D + 1 \text{ mm.} \\ &= 3 \text{ mm} + 1 \text{ mm} \\ &= 4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sudut sprue

$$\begin{aligned}\text{Tg } 2 &\geq \frac{d_F - d_S}{2L} \\ &= \frac{3,45 - 3,5}{2L}\end{aligned}$$

$$L = 0.7 \text{ mm}$$

IV.6 Perhitungan Gaya Cekam Mesin yang Dibutuhkan

Tekanan injeksi yang terjadi pada luasan proyeksi dari produk akan menghasilkan suatu gaya tertentu yang disebut dengan gaya injeksi sebesar :

$$\begin{aligned}F_i &= P_{\text{out}} \times A \\ &= 180 \text{ MPa} \times 0,1457 \text{ m}^2 \\ &= 3,2 \text{ kN}\end{aligned}$$

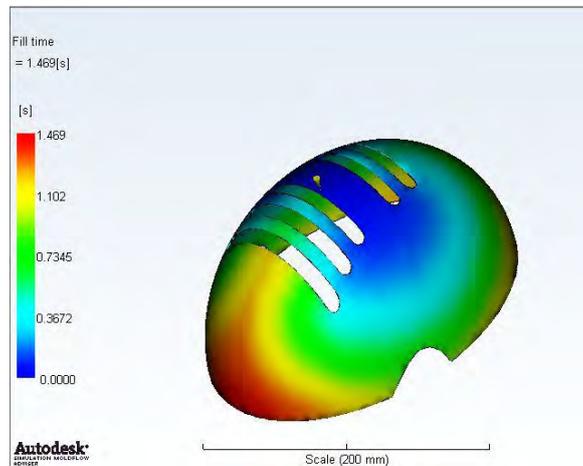
Gaya injeksi ini harus mampu ditahan oleh gaya pencekaman mesin. Untuk keamanan maka perlu ditambahkan safety factor sebesar 10% dari gaya injeksi ini. Sehingga gaya pencekaman minimum yang diperlukan untuk menahan cetakan tetap tertutup adalah:

$$\begin{aligned}F_C &= F_i (1+10\%) \\ &= 3,2 \text{ kN} (1+10\%) \\ &= 26,226 \text{ kN}\end{aligned}$$

Didapatkan gaya yang diperlukan untuk mencekam cetakan selama proses berlangsung adalah 26,226 kN. Sedangkan gaya pencekaman maksimum mesin (F_{cm}) sebesar 900 kN, dengan demikian gaya pencekaman mesin masih mampu menahan besar gaya injeksi yang diberikan pada cetakan.

IV.7 Hasil Simulasi Moldflow Adviser

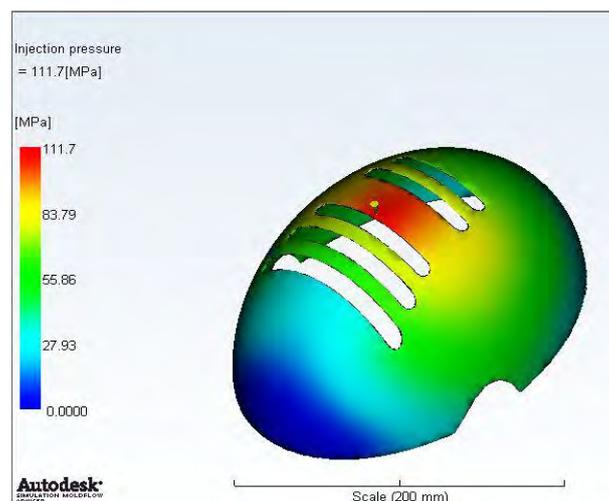
IV.7.1 Fill Time



Gambar 4.10 Fill Time

Hasil simulasi *fill time* menunjukkan waktu yang dibutuhkan cairan plastik untuk mengisi semua rongga *cavity* dari *sprue* hingga produk. Pengisian paling awal dimulai dari warna biru, sedangkan akhir dari proses pengisian ditunjukkan dengan warna merah. Dari gambar 5.10 dapat diketahui yang dibutuhkan untuk mengisi semua rongga produk yang meliputi saluran dan produk ialah selama 1,469 detik.

IV.7.2 Injection Pressure

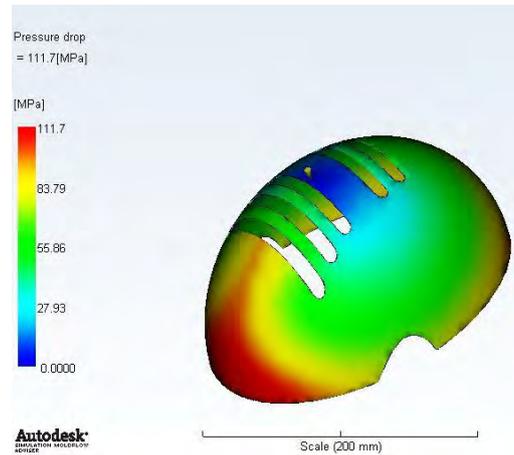


Gambar 4.11 Injection Pressure

Hasil dari simulasi injection pressure menunjukkan besarnya tekanan yang terjadi selama proses injeksi sedang berlangsung. Pada gambar 4.11 dapat dilihat bahwa tekanan

terbesar terjadi pada saat material plastik berada dekat dengan gate yang ditunjukkan warna merah dengan tekanan sebesar 111,7 Mpa, sedangkan untuk tekanan injeksi paling rendah terletak pada lokasi terjauh dari gate yang ditunjukkan oleh warna biru dengan tekanan sebesar 0 Mpa atau tidak ada tekanan sama sekali.

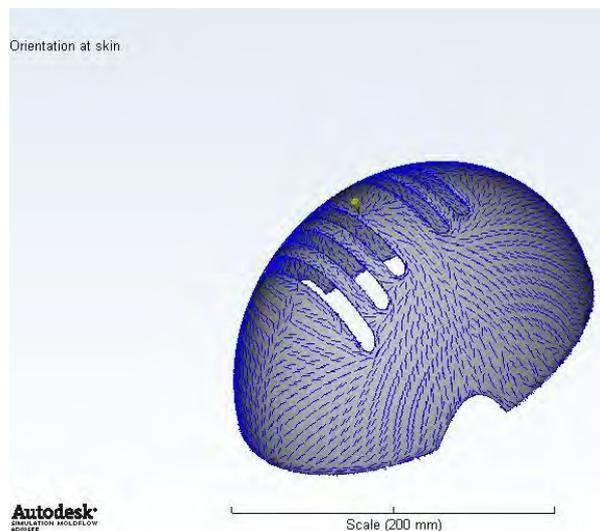
IV.7.3 Pressure Drop



Gambar 4.12 Pressure Drop

Hasil simulasi pressure drop dapat menunjukkan besarnya penurunan tekanan yang terjadi selama proses injeksi. Pada gambar 4.12 dapat diketahui besarnya pressure drop yang terjadi melalui warna yang ditampilkan. Pada warna biru menunjukkan bahwa pressure drop yang terjadi adalah yang terendah yaitu sebesar 0 Mpa, sedangkan warna merah adalah pressure drop terbesar yaitu 111,7 Mpa.

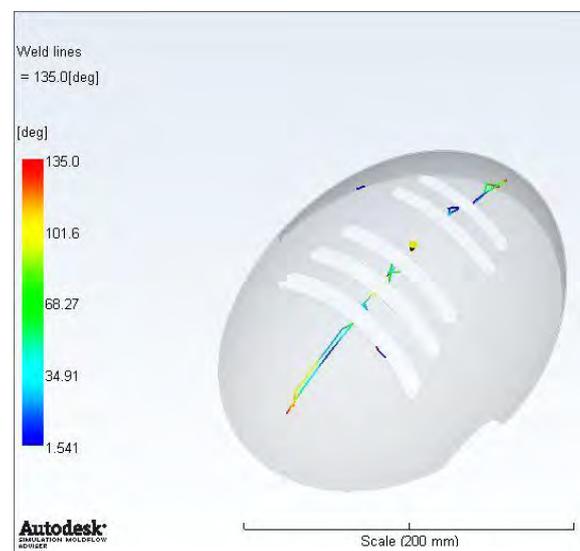
IV.7.4 Orientation at Skin



Gambar 4.13 Orientation at Skin

Hasil dari simulasi *orientation at skin* menunjukkan arah orientasi dari molekul cairan plastik yang tampak pada bagian terluar produk. Arah orientasi yang sama akan menghasilkan permukaan produk yang baik. Apabila terjadi perbedaan arah orientasi yang cukup besar, maka dapat menyebabkan terjadinya penyusutan yang tidak seragam. Disamping itu, area bertemunya arah orientasi yang berbeda akan menimbulkan cacat weldline. Dari gambar 4.13 tampak bahwa arah orientasi seragam dari in gate menuju daerah terluar produk, akan tetapi ada area yang memungkinkan bertemunya dua arah orientasi yang berbeda sehingga menyebabkan *weld lines*.

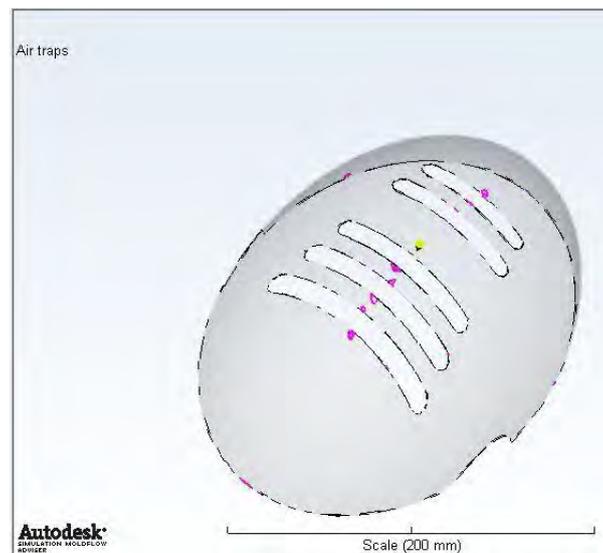
IV.7.5 Weld Lines



Gambar 4.14 Weld Lines

Weld lines dapat terjadi ketika bertemunya dua atau lebih arah aliran cairan plastik. Bertemunya dua atau lebih arah aliran cairan plastik. Dari gambar 4.14 menunjukkan adanya kemungkinan cacat weld lines yang terjadi pada produk.

IV.7.6 Air Traps



Gambar 4.15 Air Traps

Hasil simulasi *air traps* merupakan visualisasi adanya udara terjebak dalam proses injeksi. Terjadinya udara terjebak dapat ditimbulkan karena kecepatan aliran dan tekanan yang terlalu tinggi, sehingga udara tidak sempat keluar dari rongga, serta holding pressure yang terlalu cepat. Adanya *air traps* dapat mengakibatkan burn marks dan short shot. Untuk menghindari cacat ini, maka perlu diletakkan *venting* atau celah sebagai tempat mengalirnya udara.

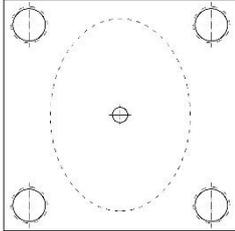
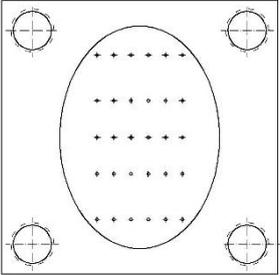
IV.8 Proses Pemesinan Cetakan

Proses pemesinan perencanaan cetakan akan ditampilkan pada table 4.5 di bawah ini. Dalam proses pemesinan pembuatan cetakan digunakan proses pemesinan CNC, karena memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut [14]:

Hasil produksi dapat diperbesar atau dikurangi

- Tingkat ketelitian pengukuran lebih akurat
- Tidak perlu dilakukan pemeriksaan secara terus menerus
- Waktu yang dibutuhkan untuk pabrikan lebih cepat
- Komponen yang diinventarisir dapat dikurangi
- Tidak membutuhkan tempat yang luas untuk mesin
- Operator tidak harus terampil seperti operator mesin bubut konvensional

Tabel 4.5 Rincian Proses Pemesinan Cetakan

No	Nama Bagian	Proses Pengerjaan	Jumlah
1	<p data-bbox="376 315 564 344"><i>Cavity Plate A</i></p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Milling: <ol style="list-style-type: none"> a. Pembuatan cavity helm dengan ukuran 250mm x 180mm x 130mm. b. Pembuatan saluran pendingin 2. Bor: <ol style="list-style-type: none"> a. Pembuatan lubang dengan $\varnothing 12\text{mm}$ x 125mm untuk pemasangan sprue bush. b. Pembuatan lubang $\varnothing 42\text{mm}$ x 125mm untuk pemasangan baut. 3. Ulir: <p>Pembuatan ulir M8</p> 	<p data-bbox="1331 349 1347 378">1</p> <p data-bbox="1331 495 1347 524">1</p> <p data-bbox="1331 607 1347 636">4</p> <p data-bbox="1331 719 1347 748">4</p>
2	<p data-bbox="376 792 564 822"><i>Cavity Plate B</i></p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Milling: <ol style="list-style-type: none"> a. Pembuatan cavity helm dengan ukuran 250mm x 180mm x 130mm 2. Bor: <ol style="list-style-type: none"> a. Pembuatan lubang dengan $\varnothing 3\text{mm}$ x 141,8mm untuk <i>ejector pin</i>. 3. Ulir: <p>Pembuatan Ulir M8</p> 	<p data-bbox="1331 831 1347 860">1</p> <p data-bbox="1331 976 1347 1005">31</p> <p data-bbox="1331 1050 1347 1079">4</p>

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Tugas akhir ini dapat disimpulkan menjadi beberapa poin sebagai berikut:

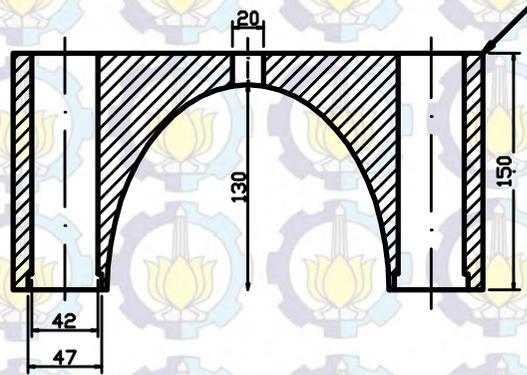
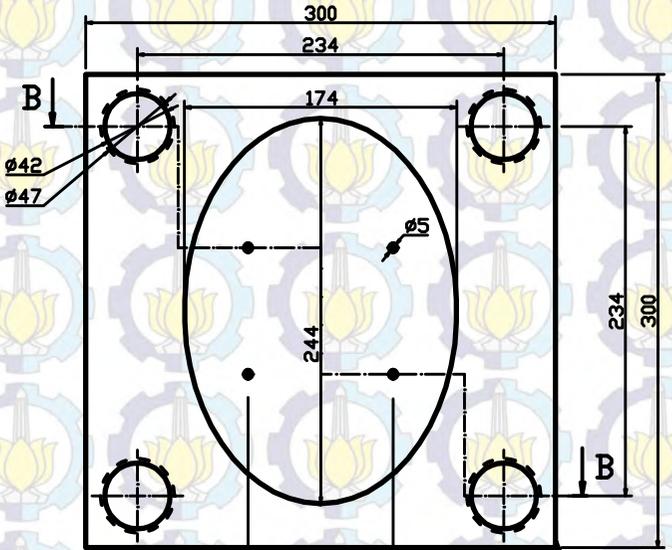
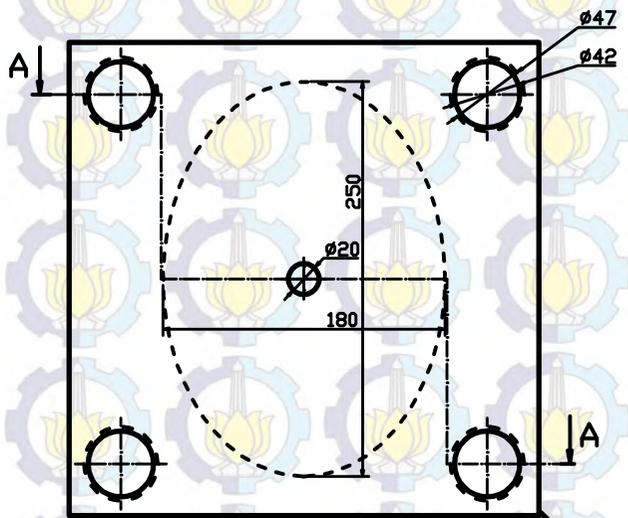
1. Material helm yang digunakan adalah *High Density Polyethylene*.
2. *Mold base* yang digunakan adalah dengan satu *parting line*, satu *cavity* dan dua plat yaitu *fixed plate* dan *moveable plate*. Gambar detail terlampir.
3. Parameter proses injeksi yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Mold Temperature: 43 °C
 - Melt Temperature: 246,0 °C
 - Injection Time: 0,8 sec
 - Maximum Injection Pressure: 180 MPa
4. Proses pemesinan untuk membuat cetakan adalah Non-Konvensional pemesinan yaitu dengan mesin CNC (*Computerized Numerical Control*)

V.2 Saran

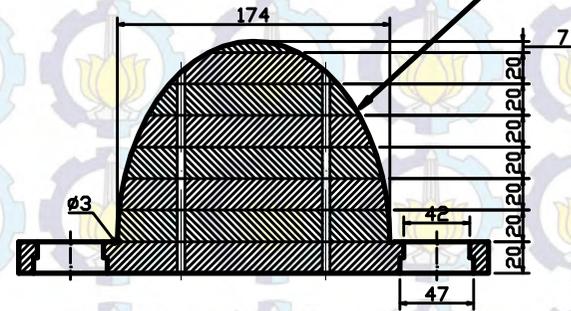
Dalam simulasi proses *mold injection* masih terdapat cacat meskipun telah menggunakan *setting parameter* terbaik. Seharusnya pada perancangan cetakan helm arung jeram menggunakan lebih dari satu desain helm yang digunakan. Desain helm dengan hasil simulasi terbaiklah yang akan dirancang cetakannya.

DAFTAR PUSTAKA

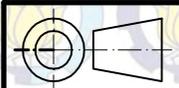
- [1] Yappy, H. 2006. *Tugas Akhir: Perancangan Cetakan Helm Dengan Injection Molding*. Surabaya: ITS.
- [2] Sugiyono. 2010. *Tugas Akhir: Perancangan Dan Estimasi Biaya Cetakan Lid*. Surabaya: ITS.
- [3] Sihama E. Salih. 2013. *Comparison of the Characteristics of LDPE : PP and HDPE : PP Polymer Blends*. Baghdad: University of Technology.
- [4] Wardayani. 2015. **Tugas Akhir: Perancangan Mold Base untuk Mesin Mold Injection HAITIAN MA 900/260e**. Surabaya: ITS.
- [5] <http://www.rutlandplastics.co.uk>. Diakses pada tanggal 11 Mei 2015.
- [6] www.sinotech.com. Diakses pada tanggal 18 April 2015
- [7] Budiarto SST. 2001. *Perancangan Peralatan Pencetak-Mould Lanjut*. Bandung: Teknik Perancangan Manufaktur-POLMAN Bandung.
- [8] www.mapeng.net. Diakses pada tanggal 18 April 2015.
- [9] Menges, G., and P. Mohren. 1986. *How To Make Injection Molds*. New York: Hanser Publisher New York
- [10] [ww.ashnaent.com](http://www.ashnaent.com). Diakses pada tanggal 18 April 2015.
- [11] Autodesk. 2013. *Autodesk Simulation Moldflow Tutorial*.
- [12] Sinaga, P., Drs., M Si. *MATERIAL PLASTIK*. Jakarta: PT. Sugitek Indo Tama
- [13] Marley Pipesystem. 2010. *HDPE Physical properties*. Nigel: O aliaxis company.
- [14] Ashby, Michael F. 1992. *Material Selection In Mechanical Design*. Burlington: Butterworth-Heinemann
- [15] <http://www2.ulprospector.com>. Diakses pada tanggal 18 April 2015.
- [16] <http://www.differencebetween.net/language/words-language/difference-between-pp-and-hdpe/>. Diakses pada tanggal 18 April 2015.
- [17] *HAITIAN Manual Book*
- [18] <https://www.dlswab.rmit.edu.au/>. Diakses pada tanggal 15 Juni 2015
- [19] Schey A. John. **Introduction To Manufacturing Process**. Ontario: University of Waterloo.



Cavity Plate A



Cavity Plate B



Skala : 1:4
 Ukuran : mm
 Tgl : 27-6-15

Digambar: Haris Fadillah Alhuda
 NRP : 2108100098
 Dilihat : Ir. Bambang P. MSc, Eng, Ph.D

Peringatan:

Teknik Mesin I T S

Insert Cavity

No. 01

A 4

BIODATA PENULIS



Haris Fadillah Alhuda adalah nama yang diberikan pada penulis pada tanggal 19 Maret 1990 di Samarinda oleh orang tua penulis. Nama penulis memiliki arti Penjaga Keutamaan dari Al Huda (Al-Qur'an).

Sekolah yang berpindah-pindah dari satu kota ke kota lain dan berasrama membuat penulis sangat mudah untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru. Menempuh sekolah dasar di SD Muhammadiyah 1 Sidoarjo dan lulus pada tahun 2002, kemudian melanjutkan di SMP Luqman Al Hakim dan lulus pada tahun 2005, dan menempuh sekolah menengah atas di SMA Darul Ulum 2 Jombang dan lulus pada tahun 2008. Tahun yang sama penulis diterima di Jurusan Teknik Mesin ITS.

Semasa kuliah penulis sangat aktif di kegiatan setingkat institut, dibuktikan dengan menjadi Ketua Umum Pencinta Lingkungan Hidup SIKLUS Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2011-2012. Di organisasi tersebut penulis banyak mendapat pembelajaran mengenai *self development* dan *human management*. Banyak mimpi penulis yang tercapai melalui organisasi tersebut. Diantaranya adalah mengunjungi 4 Taman Nasional di Jawa Timur dan Mendaki Gunung Rinjani.

Tugas akhir penulis yang berjudul **“Perancangan Helm Arung Jeam dengan Proses *Mold Injection*”** merupakan salah satu mimpi penulis untuk menggabungkan apa yang penulis dapat di organisasi dan di bangku perkuliahan. Tugas akhir ini sangat jauh dari kata sempurna, maka jika ditemukan ketidakcocokan atau kebingungan memahami dapat menghubungi penulis melalui +62 856 309 4548/+62 81 2321 8787 9 atau melalui alhuda.haisfadil@gmail.com, *feel free to talk*.

Perancangan Cetakan Helm Arung Jeram dengan Proses Mold Injection

Haris Fadillah Alhuda, Bambang Pramujati
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
pramujati@me.its.ac.id

Abstrak-Helm pada kegiatan arung jeram adalah peralatan keselamatan yang utama. Salah satu cara produksi helm adalah dengan proses *injection molding*. Untuk mendapatkan produk yang berkualitas bagus maka perlu dilakukan perencanaan cetakan helm yang baik.

Pada tugas akhir ini, dilakukan perencanaan desain dan proses *injection molding* serta estimasi biaya produksi cetakan helm Arung Jeram. Tahap awal yang dilakukan adalah dengan memodelkan helm arung jeram secara 3D menggunakan *software solidwork*. Setelah itu simulasi perencanaan cetakan yang telah dibuat menggunakan *software Autodesk Moldflow Adviser*. Adapun tujuan dari simulasi ini adalah untuk mendapatkan parameter proses *injection molding* yang terbaik agar dihasilkan produk helm arung jeram, dan harus sesuai dengan kapasitas mesin yang digunakan yaitu HAITIAN MA 900/260e. Material *mold base* yang digunakan adalah baja AISI P20. Tahap terakhir adalah menghitung estimasi biaya produksi dari cetakan helm arung jeram tersebut.

Hasil yang didapat dari perencanaan cetakan ini adalah: Material helm yang digunakan adalah HDPE. Jenis *mold base* yang digunakan menggunakan *fixed plate* dan *moveable plate* serta jumlah *cavity* yang digunakan adalah satu buah. Parameter injeksi yang digunakan adalah: *mold temperature* 43,3 °C, *melt temperature* 246,3 °C, *injection time* 0,8 sec dan *maximum injection pressure* 180 MPa. Proses pemesinan untuk membuat cetakan adalah dengan proses *milling* dan *boring* menggunakan mesin CNC (*Computerized Numerical Control*).

Kata Kunci: Helm, *Injection Molding*, Simulasi, Proses Pemesinan

I. PENDAHULUAN

Helm merupakan suatu alat perlindungan tubuh yang biasa digunakan ketika berkendara, berada dalam lingkungan suatu proyek atau pabrik, olahraga dan kegiatan lain yang memerlukan perlindungan kepala.

Arung jeram adalah salah satu olahraga yang populer pada dekade belakangan ini. Olahraga ini diminati oleh berbagai kalangan sosial maupun usia, dikarenakan sifatnya yang menantang mampu membuat para peminatnya merasa segar setelah melakukan olahraga ini. Namun olahraga ini adalah salah satu olahraga yang berbahaya yang ada, oleh karena itu persiapan teknis dan non-teknis sebelum melakukan olahraga ini harus matang. Adapun beberapa perlengkapan keamanan yang harus digunakan yaitu adalah helm dan pelampung. Helm yang digunakan untuk arung

jeram sendiri memiliki standar yaitu terbuat dari plastik, ringan dan terdapat lubang untuk sirkulasi air.

Dewasa ini, terjadi pertumbuhan yang sangat pesat pada penggunaan produk plastik di industri manufaktur karena sangat serbaguna dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Dukungan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat diperlukan khususnya untuk pemanfaatan dan pengolahan polimer, sehingga dapat dihasilkan produk plastik dengan kuantitas yang cukup tinggi dan kualitas yang baik. Salah satu teknik yang cukup efektif dan banyak dipergunakan untuk pengolahan bahan thermoplastik adalah *injection molding*. *injection molding* banyak dipilih karena memiliki beberapa keuntungan diantaranya: kapasitas produksi yang tinggi, sisa penggunaan material (*useless material*) sedikit dan tenaga kerja minimal. Sedangkan kekurangannya, biaya investasi dan perawatan alat yang tinggi, serta perancangan produk harus mempertimbangkan untuk pembuatan disain *moldingnya*. Keyboard, mouse, panel TV, pesawat telepon merupakan hasil pengolahan plastik dengan menggunakan teknik *injection molding*.

Banyak metode yang digunakan untuk membuat sebuah helm, salah satu caranya adalah dengan *injection molding*. *Injection molding* sendiri digunakan karena dalam proses produksi lebih presisi dan lebih singkat sehingga mampu menekan biaya produksi dibandingkan dengan pembuatan helm secara *handmade*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Perancangan cetakan helm dengan proses *injection molding* sebelumnya telah dilakukan oleh Handiawan Yappy pada tahun 2006 [1], pada perancangan ini digunakan material helm berupa HIPS (*High Impact PolyStyrene*) dan mesin yang digunakan adalah Japan Steel Work (JSW) J180AD-300HK. Jenis helm yang dirancang adalah helm sepeda motor yang sesuai dengan standar SNI. *Software* simulasi yang digunakan untuk menentukan parameter adalah C-Mold. Dan didapat hasil berupa parameter cetakan dan gambar susunan *mold base* helm. Handiawan Yappy hanya merancang sebuah cetakan helm tanpa memperhitungkan proses pemesinan yang digunakan serta perhitungan biaya yang diperlukan untuk menghasilkan sebuah cetakan helm

Selanjutnya pada tahun 2010 Sugiyono melakukan perencanaan cetakan *lid* dan perhitungan biaya yang dibutuhkan untuk membuat *mold base* [2]. Material *lid* yang digunakan adalah HDPE (*High Density PolyEthylene*) dan mesin yang digunakan JSW J180AD-180H. Dan hasil yang didapatkan adalah perhitungan biaya dari cetakan *lid*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Sugiyono, material dari produk tidak dipilih melainkan sudah digunakan, karena Sugiyono membuat cetakan dari produk yang sudah jadi.

Sihama E. Salih pada tahun 2013 meneliti sifat mekanik dari PP, HDPE, LDPE dan paduan dari ketiganya [3]. Pengujian yang dilakukan adalah dengan uji tarik, uji kejut dan uji kekerasan. Dihasilkan bahwa HDPE murni memiliki nilai ketangguhan yang paling baik. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam menentukan proses pemilihan material helm.

Wardayani pada tahun 2015 merancang *mold base* untuk mesin HATIAN MA 900/260e, mesin ini adalah mesin yang dimiliki oleh Jurusan Teknik Mesin ITS[4]. *Mold base* yang dirancang memiliki *insert cavity* produk uji tarik. Penelitian inilah yang dijadikan acuan untuk membuat *insert cavity* produk helm arung jeram.

III. METODOLOGI PERANCANGAN

A. Tahapan Perancangan Cetakan

Tahap-tahap yang dilaksanakan dalam perencanaan cetakan helm arung jeram adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam perencanaan cetakan dan sistem saluran sebagai berikut.

a. Data Produk

Data produk merupakan kumpulan data dan spesifikasi dari produk yang akan dicetak meliputi geometri dan material plastik yang akan digunakan.

b. Data Mesin

Data mesin merupakan kumpulan data dan spesifikasi dari mesin *injection molding* yang akan digunakan meliputi kapasitas tekanan, gaya cekam, kapasitas penginjeksian, ukuran cetakan dan sebagainya. Mesin yang akan digunakan adalah tipe HAITIAN MA 900/260E.

c. Data Material Plastik

Data material plastik merupakan kumpulan data dari material plastik yang akan digunakan meliputi jenis material plastik, sifat fisik, sifat mekanik, sifat termik dan kemampuannya untuk digunakan dalam proses *injection molding*.

2. Perencanaan cetakan

Perencanaan komponen utama meliputi *parting line*, *cavity*, dan sistem saluran (*sprue*, *runner*, dan *gate*)

3. Simulasi cetakan dan sistem saluran

Simulasi terhadap cetakan, sistem saluran, dan sistem pendinginan dilakukan setelah diketahui tipe dan dimensi yang sebaiknya digunakan dari *cavity*, *sprue*, *runner* dan *gate*. Simulasi dari proses *injection molding*, secara keseluruhan akan dilakukan dengan menggunakan *software autodesk moldflow adviser* yang menyesuaikan dengan produk yang dibuat

4. Pembuatan gambar teknik *mold*

Membuat gambar teknik dari perencanaan cetakan untuk produk helm arung jeram yang meliputi gambar susunan dan gambar detail

5. Perhitungan biaya produksi

Perhitungan biaya produksi untuk pembuatan cetakan berdasarkan proses manufaktur yang telah direncanakan.

B. Tahapan Simulasi Autodesk Moldflow

Tahap-tahap yang dilaksanakan pada saat simulasi proses injeksi menggunakan *software autodesk moldflow adviser* adalah sebagai berikut [5].

1. Create a project

Untuk memulai sebuah *project* pada *software* ini, maka diawali dengan *create a project* menggunakan perintah *new project*

2. Import a CAD Model

Melakukan langkah import untuk membuka model produk yang telah dibuat dengan *software* CAD dalam format *.stl.

3. Mesh the part model

Melakukan proses meshing pada model yang telah di-import sebelumnya

4. Check the mesh error

Melakukan evaluasi terhadap kemungkinan terjadinya error pada waktu dilakukan meshing

5. Select the molding process

Pada tahap ini ditentukan jenis proses yang akan dilakukan, yaitu *thermoplastics injection molding* dan menentukan rangkaian analisis yang disebut *analysis sequence*

6. Select a material

Select a material dilakukan untuk menentukan material plastik yang akan digunakan pada proses analisa yang akan dilakukan

7. Set injection location

Menentukan lokasi *gate*, sebagai titik injeksi material plastik

8. Analyze the part model

Analyze the part model merupakan perintah untuk menjalankan analisa terhadap model yang dirancang

9. View the result

View result dilakukan untuk mengetahui hasil dari analisa yang telah dijalankan

IV. PERHITUNGAN DAN SIMULASI

A. Spesifikasi Helm yang Digunakan

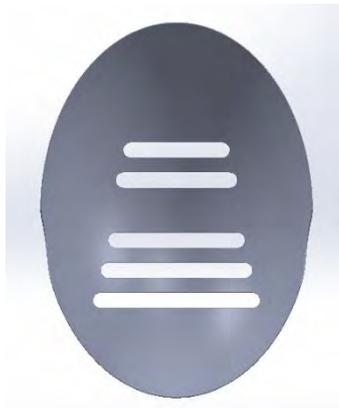
Model helm yang digunakan untuk dirancang cetakanannya memiliki dimensi 250 mm x 180 mm x 130 mm. Di bawah ini adalah gambar 1 sampai dengan 3 merupakan model helm yang akan dirancang cetakanannya.



(a)



(b)



(c)

Gambar 1 Model Helm (a) tampak depan, (b) tampak samping dan (c) tampak atas

B. Material Helm yang Digunakan.

Menurut standar dari FAJI (Federasi Arung Jeram Indonesia) maupun AWA (American Whitewater Association), helm arung jeram harus memiliki sifat yang solid atau kuat dan pas ketika digunakan. Dari berbagai macam jenis plastik yang telah diketahui, maka material yang paling cocok untuk membuat helm adalah HDPE (High Density Polyethylene), karena memiliki sifat sebagai berikut:

- Ketahanan impact yang bagus [6].
- *Stress crack resist* [7].
- Ketangguhan yang baik dibandingkan LDPE dan PP [3].
- Mengambang di air [8].
- Titik leleh yang tidak setinggi PP [8].

Karakteristik diatas sesuai dengan yang dibutuhkan oleh helm arung jeram

C. Penentuan Komponen Utama

1. Volume cavity

Besarnya volume produk dapat diketahui dengan bantuan software Solidworks. Sehingga diperoleh volume produk sebesar 72584,4 mm³. Sedangkan material yang digunakan untuk perencanaan produk lid ialah High Density Polyethylene yang memiliki faktor shrinkage sebesar 2 persen dan massa jenis sebesar 0,952 gr/cm³.

Sehingga dengan menggunakan persamaan 2-1 dapat ditentukan volume cavity sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_{cav} &= V_p (1 + S \%) \\
 &= 72,58 \text{ cm}^3 (1 + 2 \%) \\
 &= 74,03 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Sedangkan massa dari produk dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 M_p &= V_{cav} \cdot \rho \\
 &= 72,58 \text{ cm}^3 \cdot 0,952 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 69,09 \text{ gram.}
 \end{aligned}$$

2. Jumlah cavity

Dalam menentukan jumlah *cavity*, maka harus disesuaikan dengan kapasitas maksimum yang mampu ditempatkan pada mesin, yaitu tidak melebihi kapasitas *cavity* pada mesin yang telah ditentukan. Dalam perencanaan ini, digunakan mesin yang memiliki ukuran *base mold* 350mm x 300mm x 250mm.

Jumlah dari *cavity* dapat ditentukan berdasarkan dua pertimbangan, yaitu: kapasitas injeksi minimum, dan kapasitas injeksi maksimum.

a. Kapasitas injeksi minimum.

Kapasitas injeksi teoritis dari mesin (V_s) sebesar 176 cm³ dan volum produk 72,58 cm³. Maka jumlah *cavity* yang diperoleh berdasarkan kapasitas injeksi minimum adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 n_{t2} &= 0,2 \frac{V_s}{V_p} \\
 &= 0,2 \frac{176 \text{ cm}^3}{72,58} = 0,6 \text{ cavity}
 \end{aligned}$$

b. Kapasitas injeksi maksimum.

Berdasarkan kapasitas injeksi maksimum, maka jumlah *cavity* diperoleh sebagai berikut :

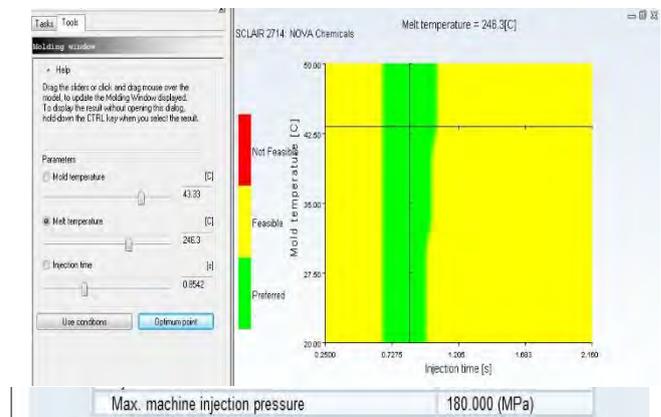
$$\begin{aligned}
 n_{t3} &= 0,8 \frac{V_s}{V_p} \\
 &= 0,8 \frac{176 \text{ cm}^3}{72,58} = 1,8
 \end{aligned}$$

Ukuran base mold yang dipakai adalah 300mm x 350mm x 250mm. Ukuran produk yang digunakan adalah 250mm x 180mm x 130mm, maka dengan ukuran tersebut jumlah *cavity* yang mungkin adalah 1.

D. Simulasi Autodesk Moldflow

1. Penentuan setting parameter

Untuk mendapatkan setting parameter proses yang baik pada perencanaan ini, maka dilakukan simulasi *molding window* menggunakan *software moldflow*. *Molding window* atau disebut dengan *process window* merupakan batas bawah parameter kondisi injeksi yang diijinkan agar produk dapat dibuat.



Gambar 2. *Molding Window*

Dari hasil simulasi *molding window* yang ditunjukkan pada gambar 2 maka diperoleh setting parameter optimal untuk perencanaan proses injeksi yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

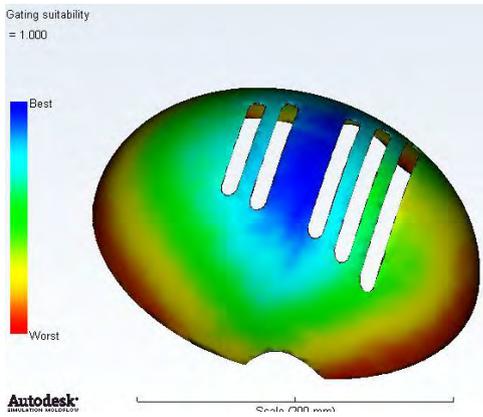
- Mold Temperature: 43 °C
- Melt Temperature: 246,0 °C
- Injection Time: 0,8 sec
- Maximum Injection Pressure: 180 MPa

Pada grafik *Molding Window* dapat dilihat bahwa garis yang berpotongan pada lokasi yang berwarna hijau adalah lokasi *setting parameter* terbaik.

2. Penentuan Lokasi Gate Terbaik

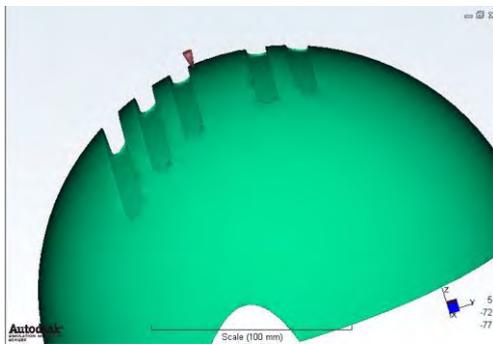
Penentuan lokasi gate merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan sebuah cetakan. Selain berpengaruh pada perencanaan *layout cavity*, penentuan lokasi gate juga

dilakukan untuk menghindari terjadinya cacat produk atau bahkan terjadinya kegagalan dalam proses injeksi. Diantara cacat yang bisa timbul sebagai akibat dari penempatan lokasi dan posisi gate ialah terperangkapnya udara dalam cetakan (*air traps*), hesitasi, dan aliran yang tidak seimbang (*unbalanced flow*). Lokasi *gate* terbaik seperti ditunjukkan pada gambar 3. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa hasil simulasi yang menunjukkan warna biru adalah lokasi penempatan *gate* yang paling baik.



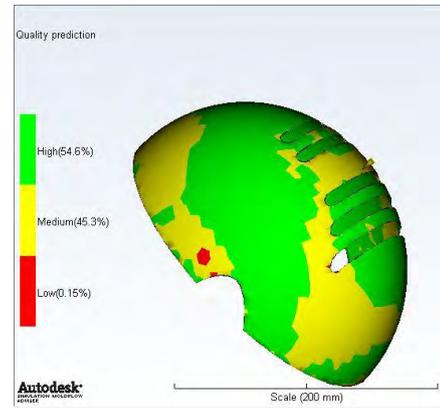
Gambar 3. Lokasi *Gate* Terbaik

Setelah mendapatkan luasan lokasi *gate* terbaik dan setting parameter proses yang optimal, maka dapat dilakukan simulasi pada masing-masing alternatif pemilihan lokasi *gate* untuk mendapatkan prediksi kualitas (*quality prediction*) terbaik berdasarkan setting parameter terpilih. Dikarenakan luasan dimensi yang terbatas untuk menentukan posisi *gate*, maka hanya dipilih satu lokasi *gate* yang ditentukan. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4 berikut



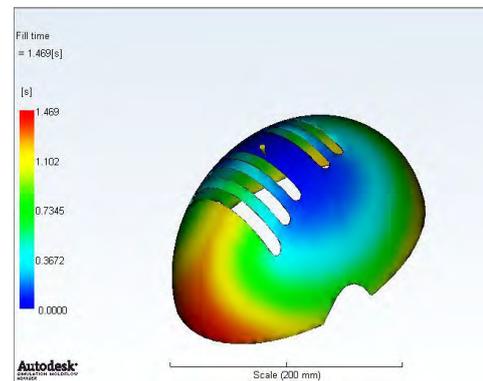
Gambar 4. Lokasi *Gate* Terpilih

Hasil simulasi *quality prediction* dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini. Berdasarkan lokasi *gate* yang dipilih, tidak terjadi *short shot*, dengan kata lain seluruh *cavity* terisi oleh material plastik. Secara keseluruhan memiliki hasil yang bagus dengan ditunjukkan warna hijau dan kuning, namun ada sedikit lokasi di samping helm yang memiliki warna merah. Produk yang baik seharusnya tidak memiliki warna merah pada proses simulasi, namun pada simulasi ini telah digunakan *setting parameter* terbaik pada proses injeksi dan tetap dihasilkan warna merah, yang artinya pada lokasi tersebut terisis oleh plastik leleh lebih sedikit daripada lokasi lainnya. Jika *setting parameter* diubah maka warna merah pada simulasi *quality prediction* akan lebih besar lagi luasannya.



Gambar 5. Hasil Simulasi *Quality Prediction*

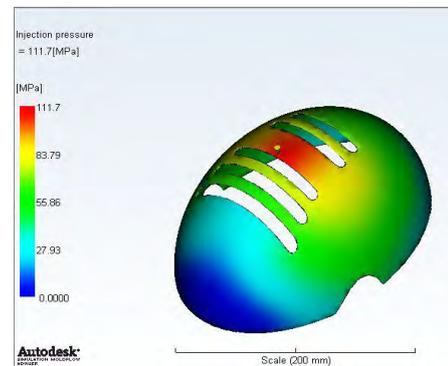
3. Simulasi *Fill Time*



Gambar 6. Simulasi *Fill Time*

Hasil simulasi *fill time* menunjukkan waktu yang dibutuhkan cairan plastik untuk mengisi semua rongga *cavity* dari *sprue* hingga produk. Pengisian paling awal dimulai dari warna biru, sedangkan akhir dari proses pengisian ditunjukkan dengan warna merah. Dari gambar 8 dapat diketahui yang dibutuhkan untuk mengisi semua rongga produk yang meliputi saluran dan produk ialah selama 1,469 detik.

4. Simulasi *Injection Pressure*

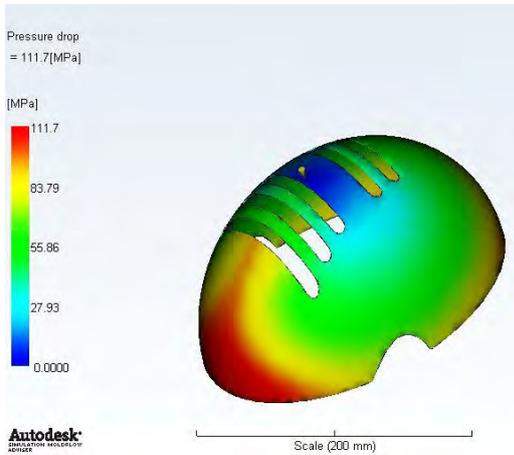


Gambar 7. Hasil Simulasi *Injection Pressure*

Hasil dari simulasi *injection pressure* menunjukkan besarnya tekanan yang terjadi selama proses injeksi sedang berlangsung. Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa tekanan terbesar terjadi pada saat material plastik berada dekat dengan *gate* yang ditunjukkan warna merah dengan tekanan sebesar 111,7 Mpa, sedangkan untuk tekanan injeksi paling rendah

terletak pada lokasi terjauh dari gate yang ditunjukkan oleh warna biru dengan tekanan sebesar 0 Mpa atau tidak ada tekanan sama sekali

5. Simulasi *Pressure Drop*

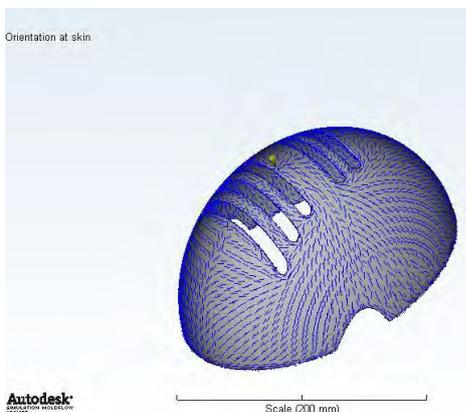


Gambar 8. Hasil Simulasi *Pressure Drop*

Hasil simulasi *pressure drop* dapat menunjukkan besarnya penurunan tekanan yang terjadi selama proses injeksi. Pada gambar 8 dapat diketahui besarnya *pressure drop* yang terjadi melalui warna yang ditampilkan. Pada warna biru menunjukkan bahwa *pressure drop* yang terjadi adalah yang terendah yaitu sebesar 0 Mpa, sedangkan warna merah adalah *pressure drop* terbesar yaitu 111,7 Mpa.

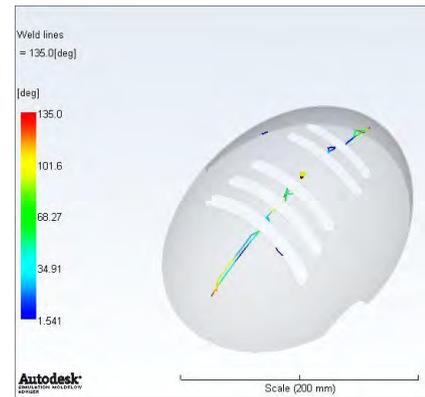
6. Simulasi *Orientation at Skin*

Hasil dari simulasi *orientation at skin* menunjukkan arah orientasi dari molekul cairan plastik yang tampak pada bagian terluar produk. Arah orientasi yang sama akan menghasilkan permukaan produk yang baik. Apabila terjadi perbedaan arah orientasi yang cukup besar, maka dapat menyebabkan terjadinya penyusutan yang tidak seragam. Disamping itu, area bertemunya arah orientasi yang berbeda akan menimbulkan cacat weldline. Dari gambar 8 tampak bahwa arah orientasi seragam dari *gate* menuju daerah terluar produk, akan tetapi ada area yang memungkinkan bertemunya dua arah orientasi yang berbeda sehingga menyebabkan *weld lines*.



Gambar 8. Hasil Simulasi *Orientation at Skin*

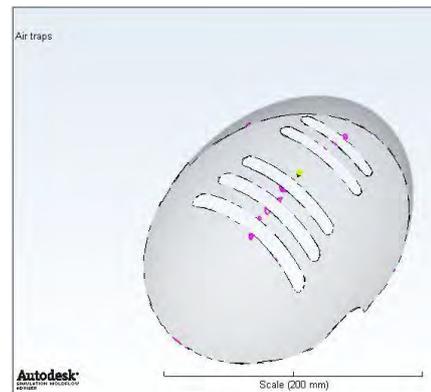
7. Simulasi *Weld Lines*



Gambar 9. Hasil Simulasi *Weld Lines*

Weld lines dapat terjadi ketika bertemunya dua atau lebih arah aliran cairan plastik. Bertemunya dua atau lebih arah aliran cairan plastik. Dari gambar 9 menunjukkan adanya kemungkinan cacat *weld lines* yang terjadi pada produk.

8. Simulasi *Air Traps*



Gambar 10. Hasil Simulasi *Air Traps*

Hasil simulasi *air traps* merupakan visualisasi adanya udara terjebak dalam proses injeksi seperti pada gambar 10. Terjadinya udara terjebak dapat ditimbulkan karena kecepatan aliran dan tekanan yang terlalu tinggi, sehingga udara tidak sempat keluar dari rongga, serta holding pressure yang terlalu cepat. Adanya *air traps* dapat mengakibatkan burn marks dan short shot. Untuk menghindari cacat ini, maka perlu diletakkan *venting* atau celah sebagai tempat mengalirnya udara.

9. Proses Pemesinan yang Digunakan

Dalam proses pemesinan pembuatan cetakan digunakan proses pemesinan CNC, karena memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut:

- Hasil produksi dapat diperbesar atau dikurangi
- Tingkat ketelitian pengukuran lebih akurat
- Tidak perlu dilakukan pemeriksaan secara terus menerus
- Waktu yang dibutuhkan untuk pabriaksi lebih cepat
- Komponen yang diinventarisir dapat dikurangi
- Tidak membutuhkan tempat yang luas untuk mesin
- Operator tidak harus terampil seperti operator mesin bubut konvensional

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Tugas akhir ini dapat disimpulkan menjadi beberapa poin sebagai berikut:

1. Material helm yang digunakan adalah *High Density Polyethylene*.
2. *Mold base* yang digunakan adalah dengan satu *parting line*, satu *cavity* dan dua plat yaitu *fixed plate* dan *moveable plate*. Gambar detail terlampir.
3. Parameter proses injeksi yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Mold Temperature: 43,3 °C
 - Melt Temperature: 246,3 °C
 - Injection Time: 0,8 sec
 - Maximum Injection Pressure: 180 MPa
4. Proses untuk membuat cetakan adalah Non-Konvensional pemesian yaitu dengan mesin CNC (*Computerized Numerical Control*)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh rekan angkatan M51 Jurusan Teknik Mesin ITS yang selalu memberi semangat, saudara PLH SIKLUS ITS yang selalu bersedia memberi bantuan dan kepada Bapak Bambang Pramujati selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dengan kesabaran dan pengertian, serta masukan yang sangat membantu agar terselesaikannya perancangan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yappy, H. 2006. *Tugas Akhir: Perancangan Cetakan Helm Dengan Injection Molding*. Surabaya: ITS.
- [2] Sugiyono. 2010. *Tugas Akhir: Perancangan Dan Estimasi Biaya Cetakan Lid*. Surabaya: ITS.
- [3] Sihama E. Salih. 2013. *Comparison of the Characteristics of LDPE : PP and HDPE : PP Polymer Blends*. Baghdad: University of Technology.
- [4] Wardayani. 2015. **Tugas Akhir: Perancangan Mold Base untuk Mesin Mold Injection HAITIAN MA 900/260e**. Surabaya: ITS.
- [5] Autodesk. 2013. *Autodesk Simulation Moldflow Tutorial*.
- [6] Budiarto SST. 2001. *Perancangan Peralatan Pencetak-Mould Lanjut*. Bandung: Teknik Perancangan Manufaktur-POLMAN Bandung.
- [7] Sinaga, P., Drs., M Si. *MATERIAL PLASTIK*. Jakarta: PT. Sugitek Indo Tama
- [8] Marley Pipesystem. 2010. *HDPE Physical properties*. Nigel: O aliaxis company.



Sidang Tugas Akhir
TM 141586

Perencanaan Cetakan Helm Arung Jeram dengan Proses *Mold Injection*

Dosen Pembimbing: Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng, Ph.D

Oleh:
Haris Fadillah Alhuda
2108 100 098

Latar Belakang



Rumusan Masalah

- Menentukan material helm
- Merancang cetakan helm arung jeram
- *Setting parameter* proses injeksi
- Biaya yang diperlukan dalam membuat cetakan
- Proses permesinan yang digunakan untuk membuat cetakan

Batasan Masalah

- Bagian yang dibuat adalah tempurung helm paling luar.
- Material *mold base* yang digunakan adalah Baja AISI 4130.
- Mesin yang digunakan adalah HAITIAN MA 900/260e.
- Perangkat lunak yang digunakan adalah: Solidworks dan Autodesk Moldflow Adviser.
- Sistem pendinginan cetakan tidak dirancang.
- Sistem pengeluaran cetakan tidak dirancang.

Tujuan Penelitian

- Memperoleh material helm yang sesuai untuk kegiatan arung jeram.
- Memperoleh desain cetakan helm.
- Mengetahui proses permesinan yang digunakan dalam membuat cetakan helm.
- Mengetahui biaya yang dibutuhkan dalam membuat cetakan helm.

Manfaat Penelitian

- Bagi mahasiswa, dapat menunjukkan manfaat dari simulasi perancangan dari suatu benda, dalam hal ini adalah cetakan helm arung jeram dan sebagai data acuan dalam perancangan berikutnya
- Bagi industri, dapat digunakan suatu acuan model helm arung jeram jika ingin diproduksi secara masal.

TINJAUAN PUSTAKA

Perencanaan Cetakan dan Estimasi Biaya
Produksi Cetakan *LID*

Sugiyono

2010

*Comparison of the Characteristics of LDPE :
PP and HDPE : PP Polymer Blends*

Salih Sihama E.

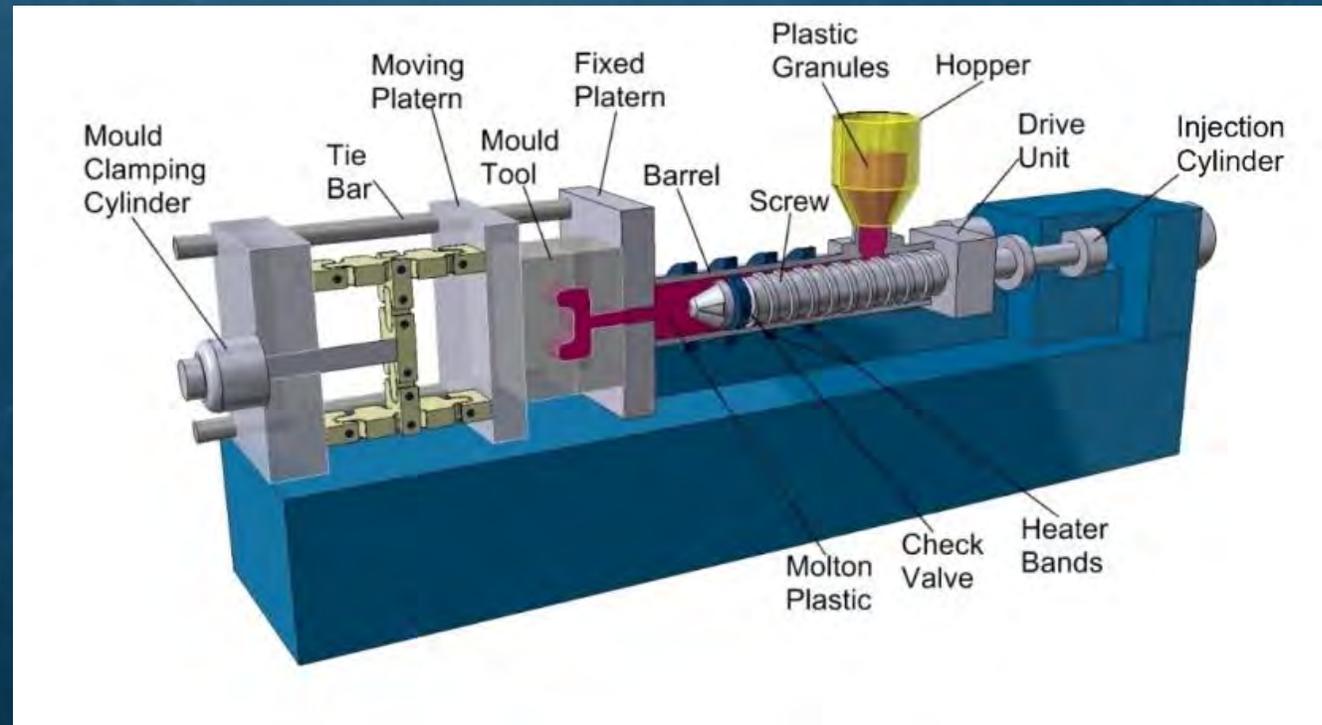
2013

Perancangan Mold Base untuk Mesin
Injection Molding HAITIAM MA 900/260e

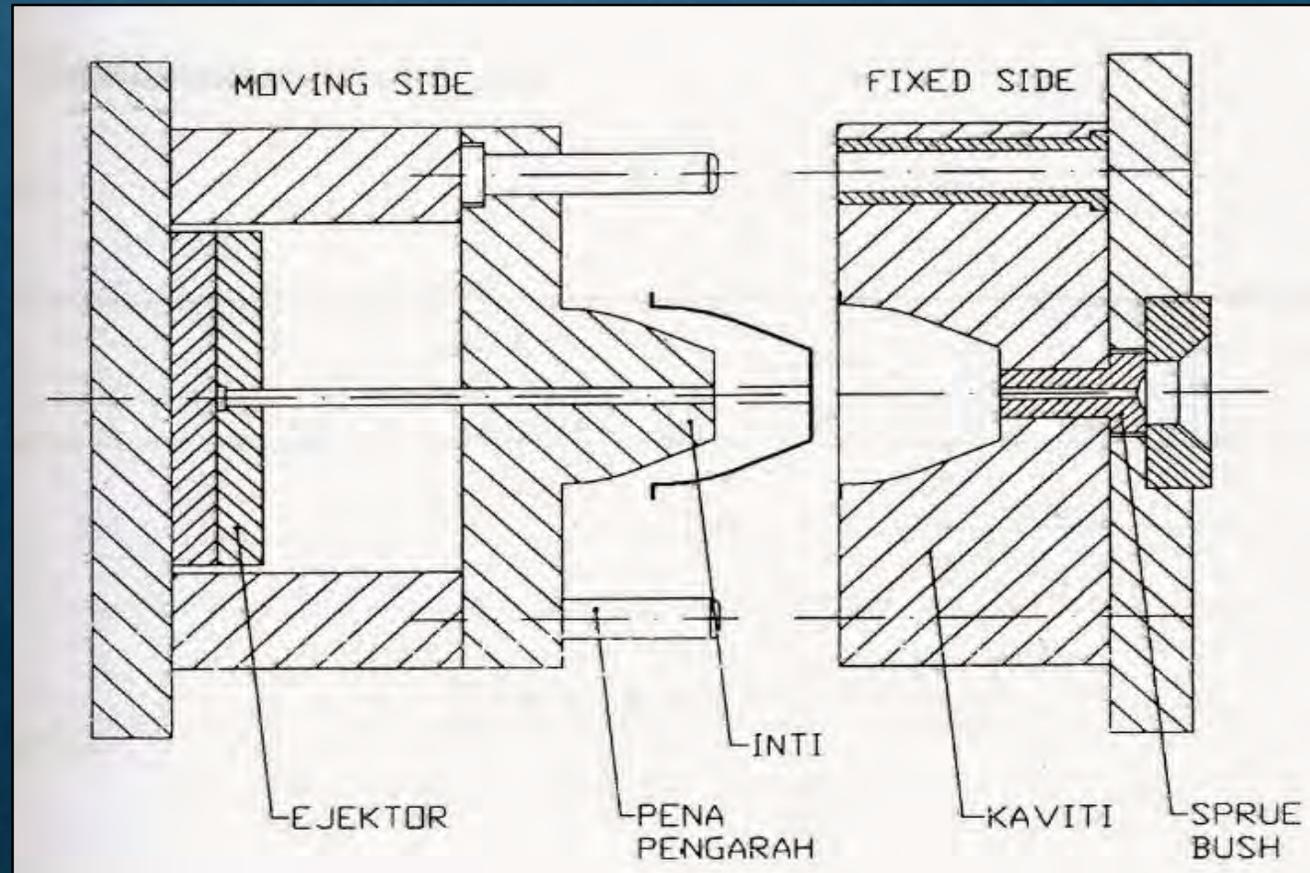
Wardayani

2015

Unit Mesin Injeksi



Konstruksi Cetakan Plastik



Parameter Untuk Merancang Cetakan

- Perencanaan Cavity:
 - Gaya pencekaman
 - Kapasitas Injeksi Minimum
 - Kapasitas Injeksi Maksimum
 - Ukuran plat dari mesin
- Perencanaan Saluran:
 - Dimensi Sprue
 - Penampang Runner
 - Gate

Estimasi Biaya Produksi

- Mold Cavity:
 - Material of Cavity
 - Machining of Cavity

Diagram Alir Proses Perencanaan Cetakan

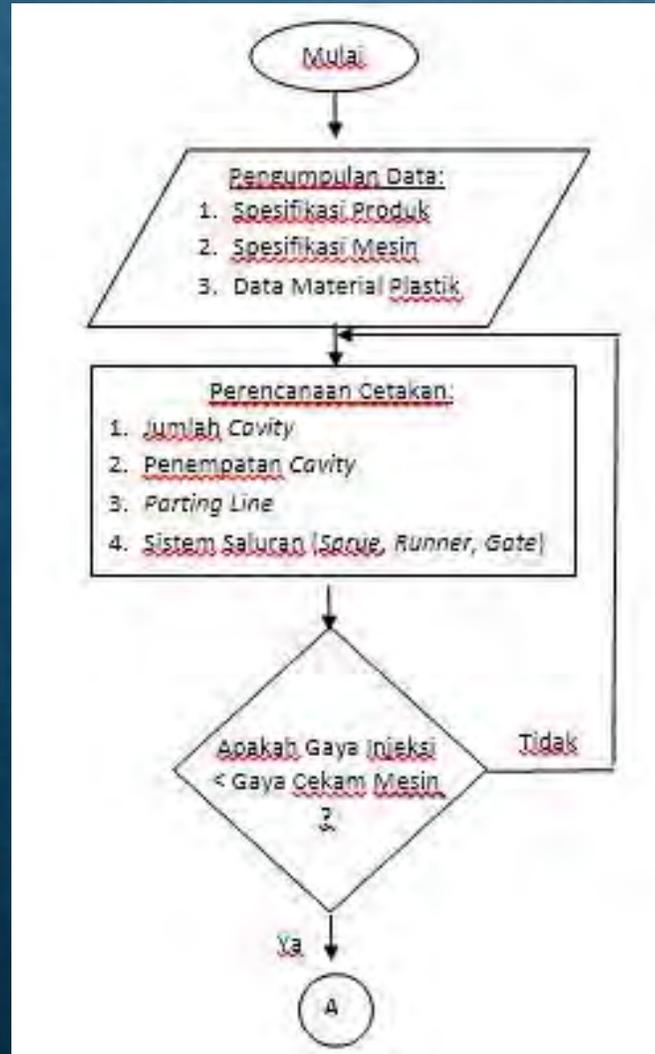
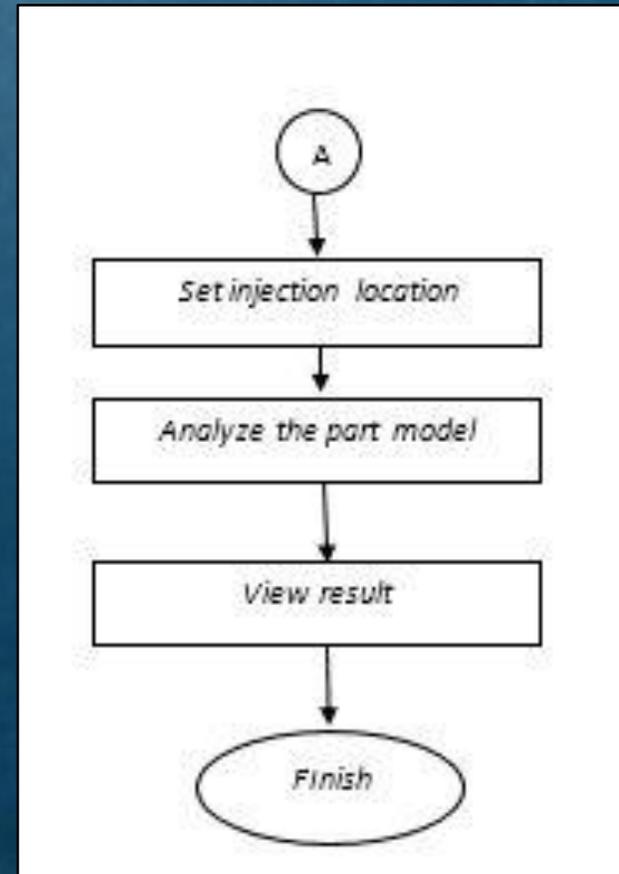
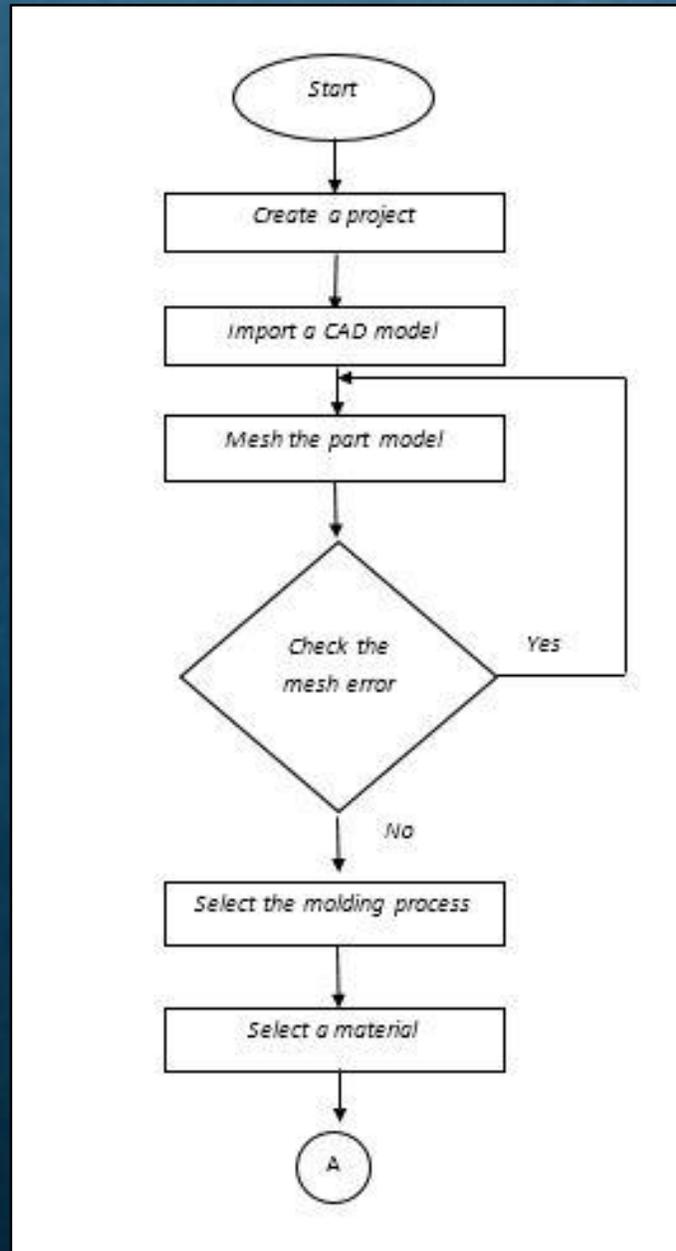
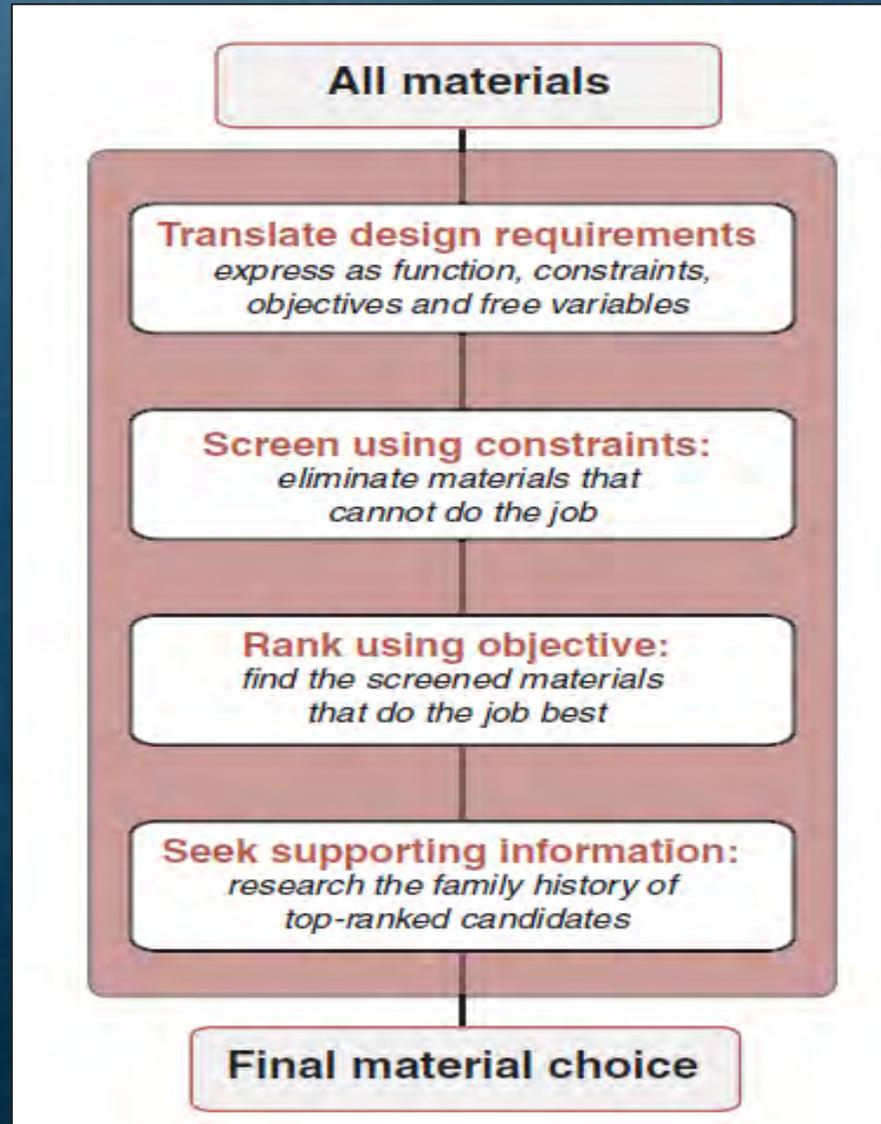


Diagram Alir Proses Simulasi Dengan Autodesk Moldflow

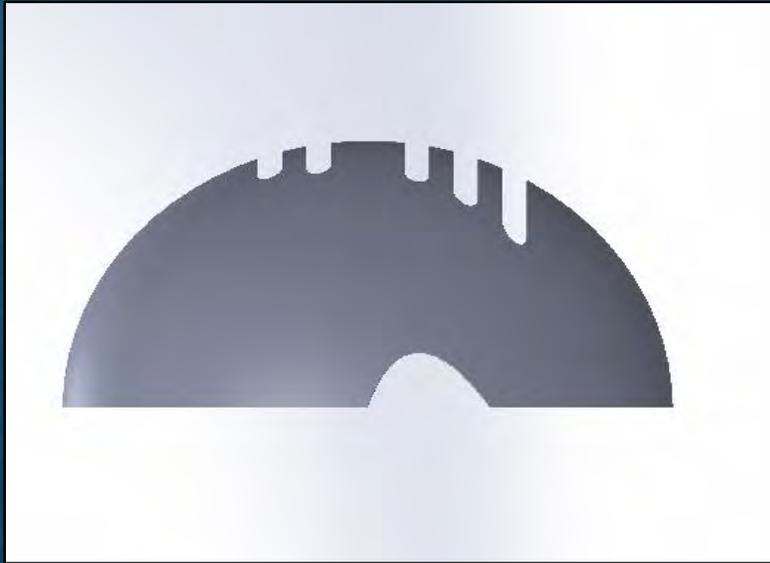


Pemilihan Material



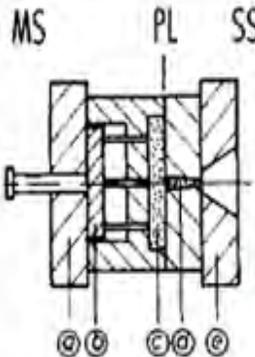
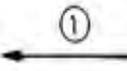
- Menurut standar dari FAJI (Federasi Arung Jeram Indonesia) maupun AWA (American Whitewater Association), helm arung jeram harus memiliki sifat yang solid atau kuat dan pas ketika digunakan.
- Dari berbagai macam jenis plastik yang telah diketahui, maka material yang paling cocok untuk membuat helm adalah HDPE (High Density Polyethylene), karena memiliki sifat sebagai berikut:
 1. Mengambang di air.
 2. Ketahanan impak yang bagus.
 3. *Stress crack resist*.
 4. Ketangguhan yang baik dibandingkan LDPE dan PP.
 5. Titik leleh yang tidak setinggi PP.

Desain Helm Yang Digunakan

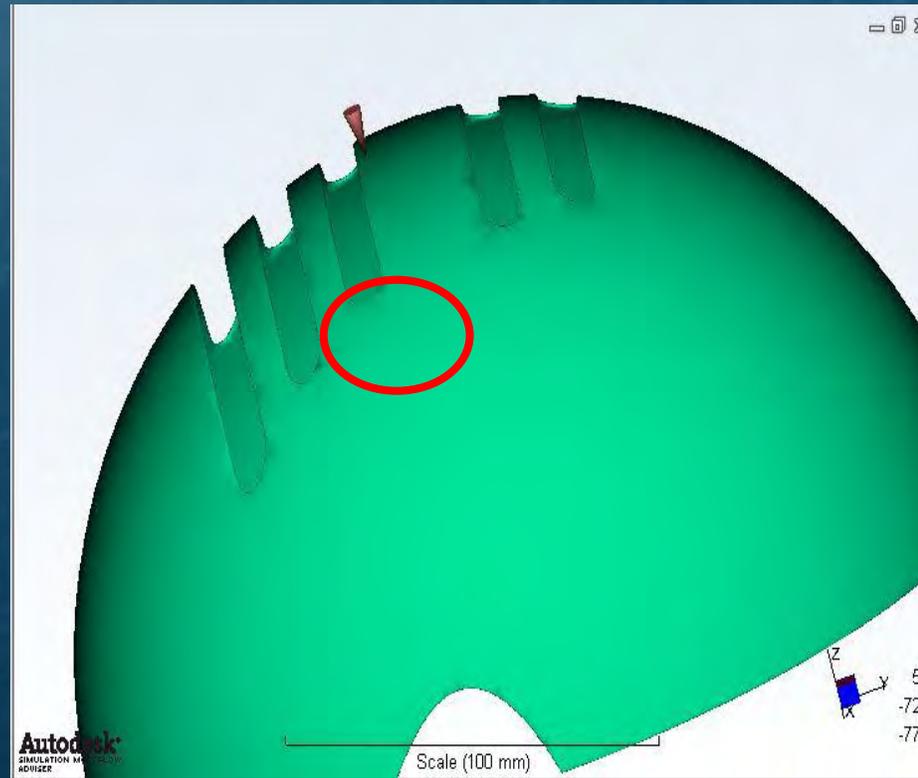
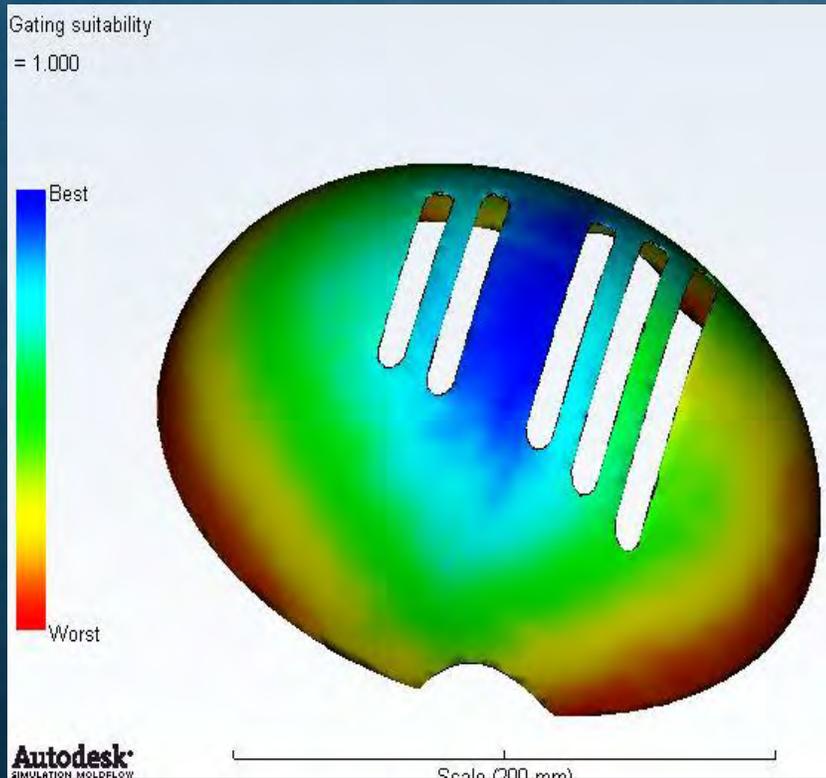


Perencanaan Cetakan

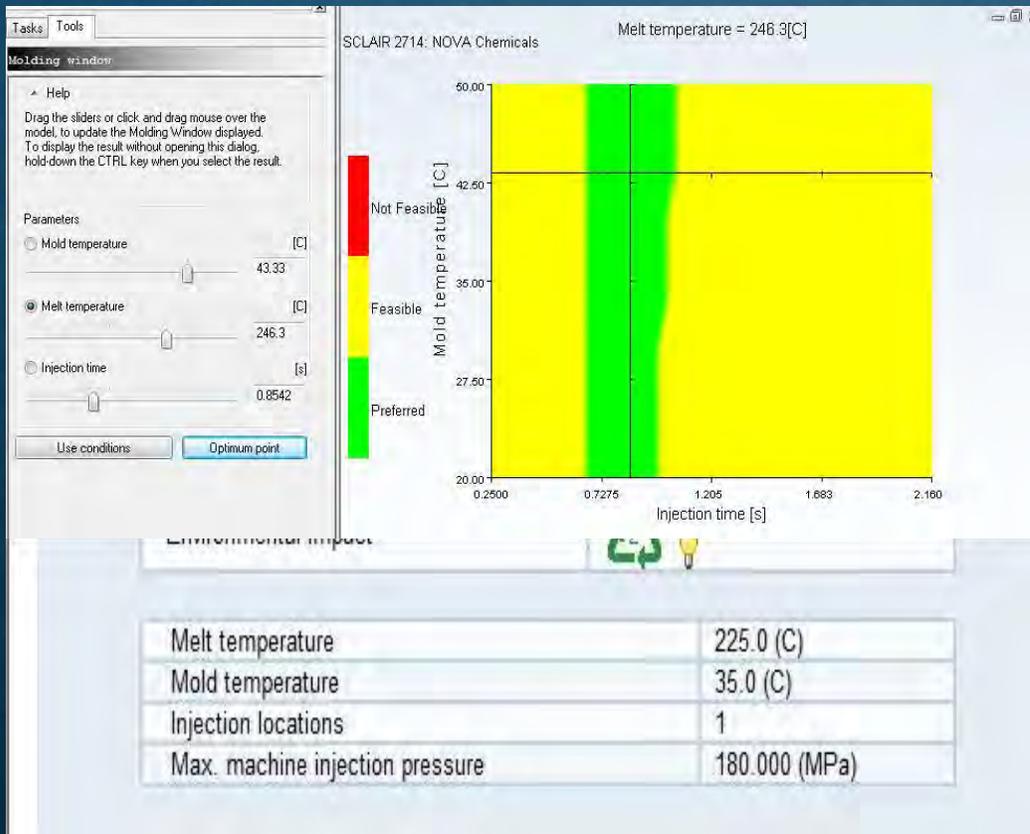
- Jumlah cavity: 1
- Parting line yang digunakan

Schematic Diagram	Major component	Characteristic	Moldings	Opening Path
	a. Clamping plate MS b. Ejector system c. Cavity d. Sprue e. Clamping plate SS	Most simple design; Two mold halves; One parting line; One Opening direction; <u>Demolding by gravity</u> ; Ejector pins or sleeve	For all kinds of moldings without undercut	

- Lokasi gate yang digunakan



- Molding window



- Setting parameter:

Mold Temperature: 35 °C

Melt Temperature: 225,0 °C

Injection Time: 0,8 sec

Maximum Injection Pressure: 180 MPa

Gaya yang Dibutuhkan Mesin

- Gaya injeksi produk

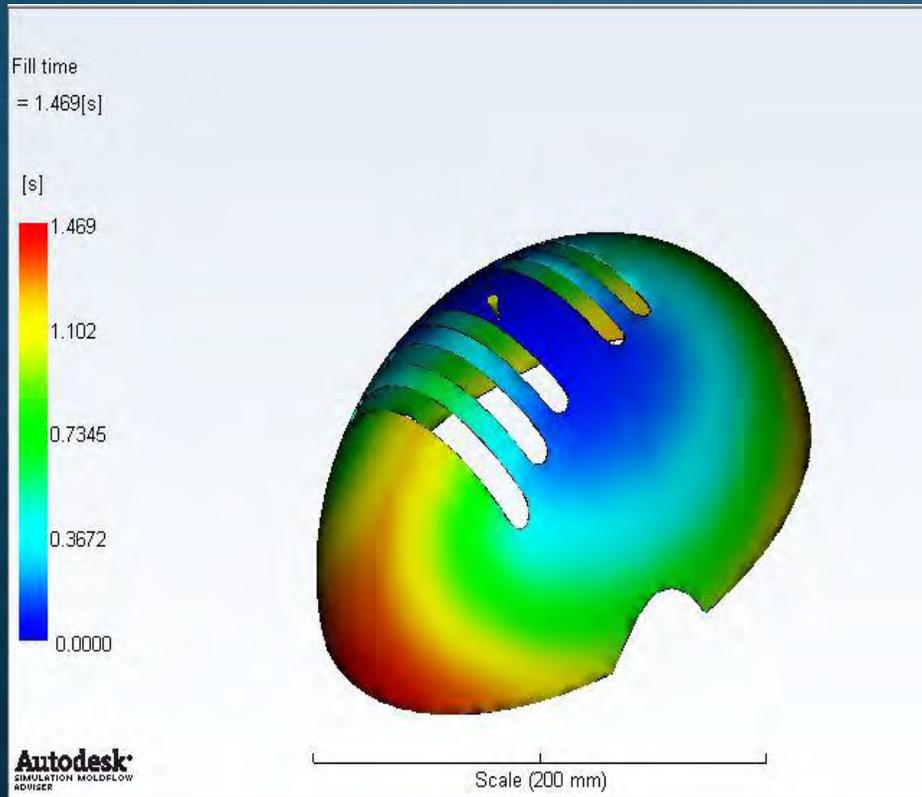
$$\begin{aligned}F_i &= P_{\text{out}} \times A \\ &= 180 \text{ MPa} \times 0,1457 \text{ m}^2 \\ &= 3,2 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Kebutuhan gaya cekam mesin

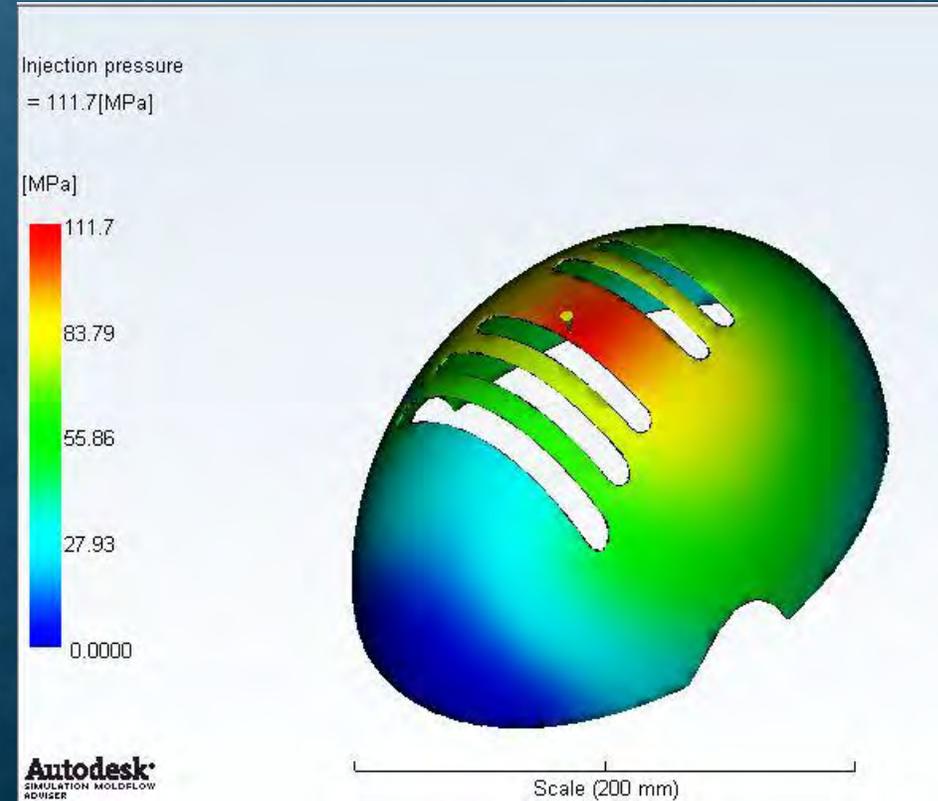
$$\begin{aligned}F_C &= F_i (1+10\%) \\ &= 3,2 \text{ kN} (1+10\%) \\ &= 26,226 \text{ kN}\end{aligned}$$

Gaya cekam maksimal HAITIAN MA 900/260e adalah 900 kN, maka mesin mampu untuk melakukan proses injeksi.

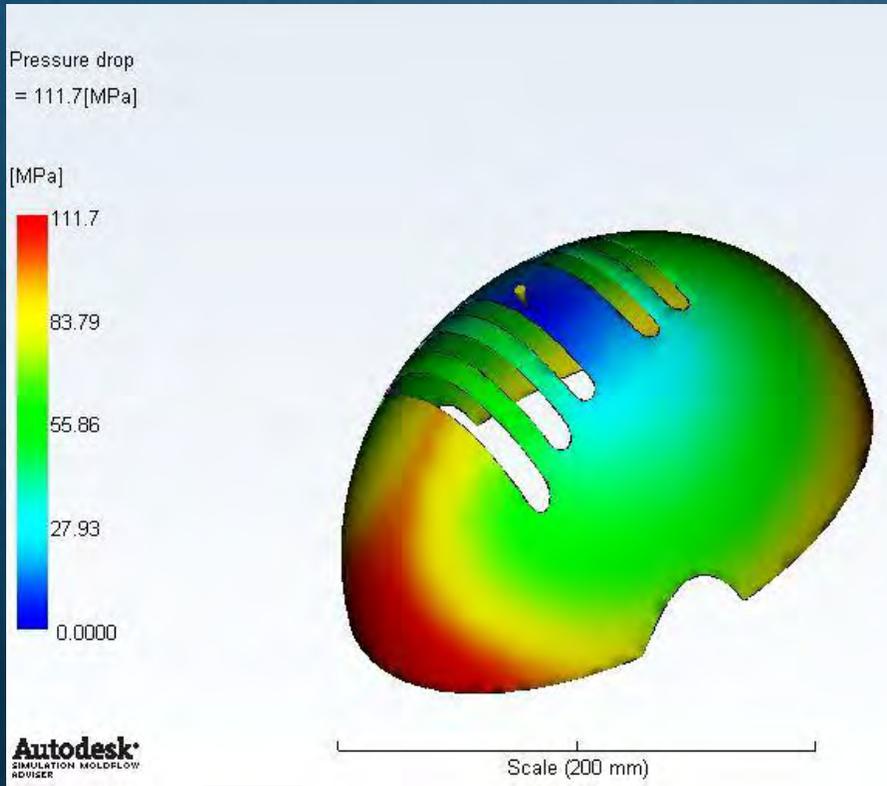
Hasil Simulasi Moldflow Adviser



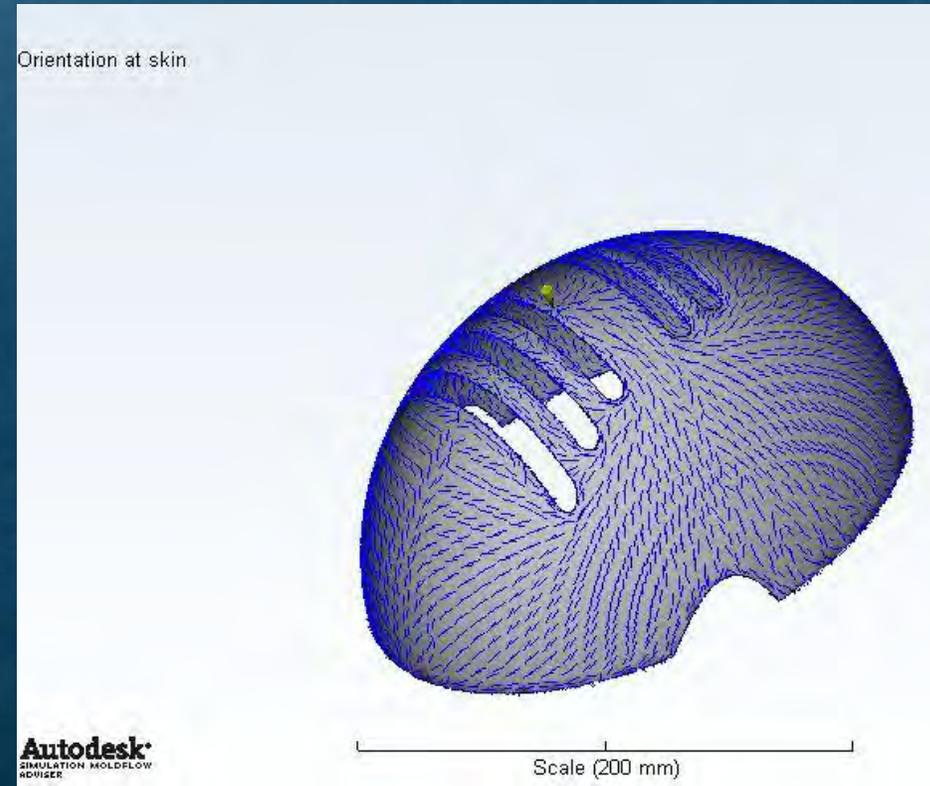
Fill Time



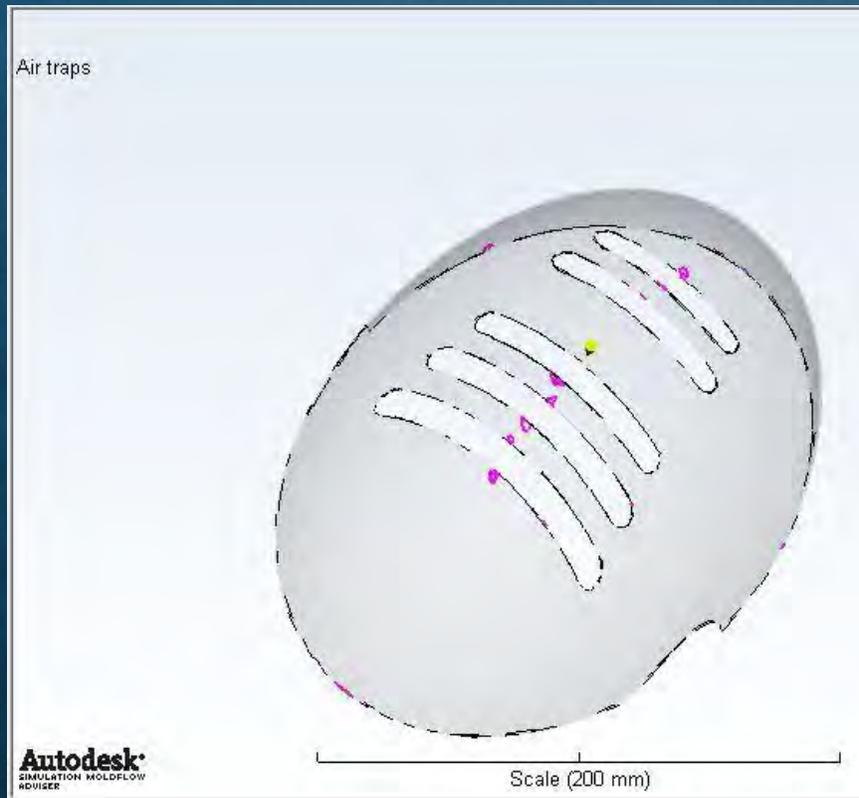
Injection Pressure



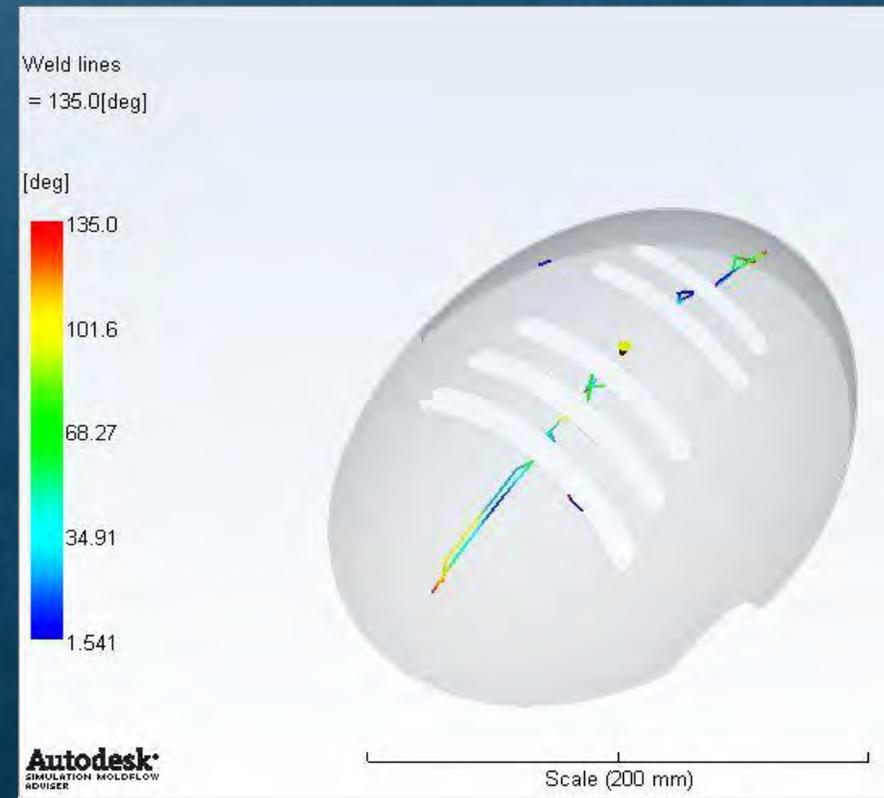
Pressure Drop



Orientation at Skin

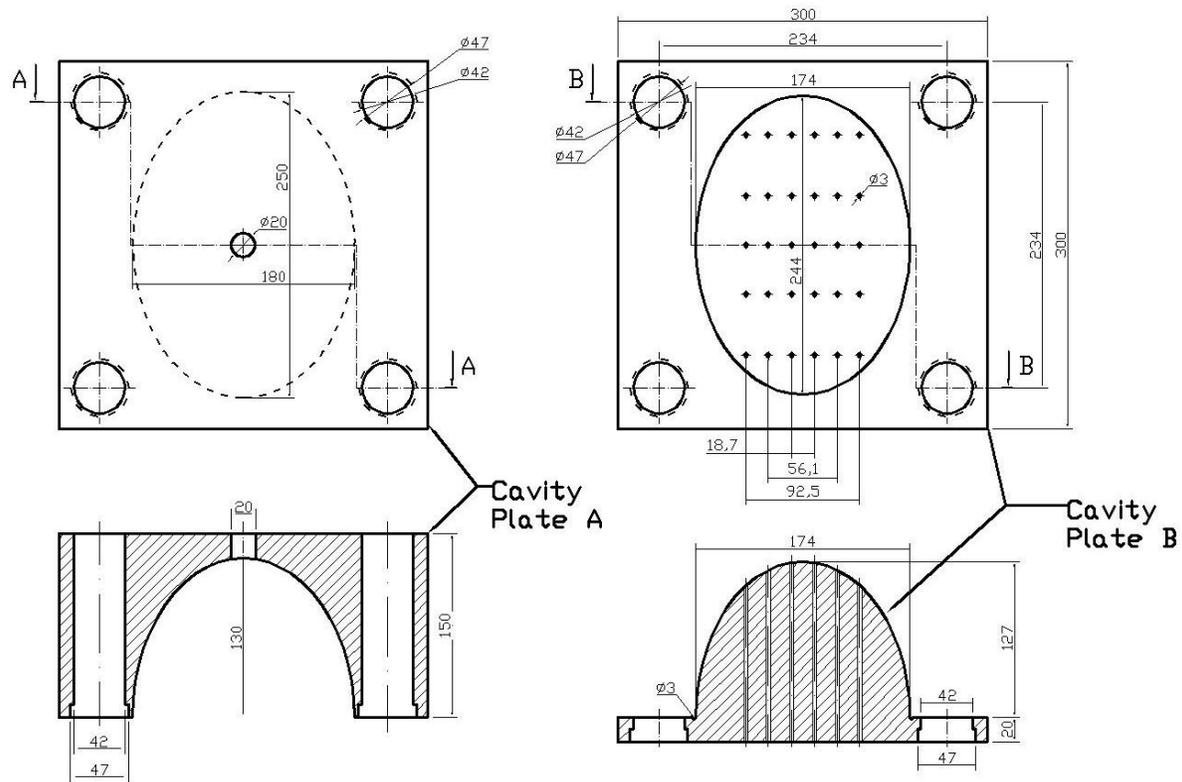


Air Traps



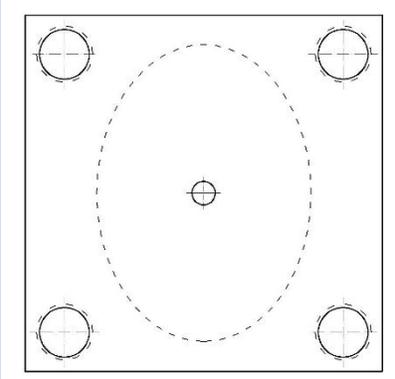
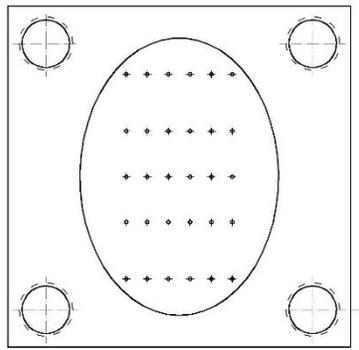
Weld Lines

Gambar Teknik Insert Cavity



	Skala : 1:4	Digambar: Haris Fadillah Alhuda	Peringatan:	
	Ukuran : mm	NRP : 2108100098		
	Tgl : 27-6-15	Dilihat : Ir. Bambang P., MSc. Eng, Ph.D		
Teknik Mesin ITS	Insert Cavity	No. 01	A 4	

Proses Permesinan Insert Cavity

No	Nama Bagian	Proses Pengerjaan	Jumlah
1	Cavity Plate A 	1. Milling:	
		a. Pembuatan cavity helm dengan ukuran 250mm x 180mm x 130mm.	1
		b. Pembuatan saluran pendingin	
		1. Bor:	
a. Pembuatan lubang dengan $\varnothing 20\text{mm}$ x 125mm untuk pemasangan sprue bush.	1		
b. Pembuatan lubang $\varnothing 42\text{mm}$ x 125mm untuk pemasangan baut.	4		
1. Ulir:			
Pembuatan ulir M8	4		
2	Cavity Plate B 	1. Milling:	
		a. Pembuatan cavity helm dengan ukuran 250mm x 180mm x 130mm	1
		1. Bor:	
		a. Pembuatan lubang dengan $\varnothing 3\text{mm}$ x 141,8mm untuk ejector pin.	31
1. Ulir:			
Pembuatan Ulir M8	4		

Biaya Produksi Insert Cavity

- Biaya material:
 - Berat total yang dibutuhkan 409.768 kg.
 - Harga perkilogram Rp. 144.325,-
 - Total biaya yang dibutuhkan Rp. 59.501.750,-
- Biaya proses *milling*:
 - Waktu permesinan yang dibutuhkan 75 menit.
 - Biaya permesinan *milling* perjam adalah Rp. 25.000.
 - Total biaya proses *milling* adalah Rp. 50.000,-
- Biaya proses *boring*:
 - Waktu permesinan *boring* yang dibutuhkan adalah 135 menit.
 - Biaya permesinan *boring* adalah perjam adalah Rp. 15.000,-
 - Total biaya peremsinan adalah Rp. 45.000,-

Total biaya produksi yang dibutuhkan adalah Rp. 59.596.750,-

Kesimpulan

- Material helm yang digunakan adalah *High Density Polyethylene*.
- *Mold base* yang digunakan adalah dengan satu *parting line*, satu *cavity* dan dua plat yaitu *fixed plate* dan *moveable plate*. Gambar detail terlampir.
- Parameter proses injeksi yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Mold Temperature: 35 °C
 - Melt Temperature: 225,0 °C
 - Injection Time: 0,8 sec
 - Maximum Injection Pressure: 180 MPa
- Proses permesinan untuk membuat cetakan adalah Non-Konvensional permesinan yaitu dengan mesin CNC (*Computer Numerical Control*)
- Biaya yang dibutuhkan untuk membuat *mold cavity* adalah Rp. 59.596.750,-

Saran

- Dalam simulasi proses *mold injection* masih terdapat cacat meskipun telah menggunakan *setting parameter* terbaik. Seharusnya pada perancangan cetakan helm arung jeram menggunakan lebih dari satu desain helm yang digunakan. Desain helm dengan hasil simulasi terbaiklah yang akan dirancang cetakannya.

TERIMA KASIH