

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

Landasan teori ini dibuat untuk menjadi pendukung dari penelitian ini dengan mengambil kutipan-kutipan dari jurnal penelitian yang ada keterkaitannya dengan penelitian ini.

2.1.1 Pengertian Plastik

Plastik adalah polimer rantai panjang dari atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang, atau “*monomer*”. Istilah plastik mencakup produk polimerisasi sintetik, namun ada beberapa polimer alami yang termasuk plastik. Plastik terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga terbentuk dengan menggunakan zat lain untuk menghasilkan plastik yang ekonomis.

Secara umum plastik terbagi menjadi 7 jenis, antara lain:

a. PET (*polyethylene terephthalate*)

Mayoritas bahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) di dunia untuk serat sintesis (sekitar 60 %), dalam pertekstilan biasa disebut dengan polister (bahan dasar botol kemasan 30 %). Botol Jenis PET/PETE ini direkomendasikan hanya sekali pakai. Bila terlalu sering dipakai, apalagi digunakan untuk menyimpan air hangat apalagi panas, akan mengakibatkan lapisan polimer pada botol tersebut akan meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik (dapat menyebabkan kanker). Jenis plastic ini mempunyai titik leleh 85°C, di dalam membuat PET (*Polyethylene Terephthalate*), menggunakan bahan yang disebut dengan antimon trioksida, yang berbahaya bagi para pekerja yang berhubungan dengan pengolahan ataupun daur ulangnya, karena antimon trioksida masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernafasan, yaitu akibat menghirup debu yang mengandung senyawa tersebut. Terkontaminasinya senyawa ini dalam periode yang lama akan

mengalami iritasi kulit dan saluran pernafasan. Bagi pekerja wanita, senyawa ini meningkatkan masalah menstruasi dan keguguran, pun bila melahirkan, anak mereka kemungkinan besar akan mengalami pertumbuhan yang lambat hingga usia 12 bulan. (Karuniastuti, 2018)

b. HDPE (*High-Density Polyethylene*)

HDPE (*High-Density Polyethylene*) merupakan salah satu bahan plastik yang aman untuk digunakan karena kemampuan untuk mencegah reaksi kimia antara kemasan plastik berbahan HDPE dengan makanan atau minuman yang dikemasnya. Jenis plastik ini memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi jika dibandingkan dengan plastik dengan kode PET (*Polyethylene Terephthalate*). Ada baiknya tidak menggunakan wadah plastik dengan bahan HDPE terus menerus karena walaupun cukup aman tetapi wadah plastik berbahan ini akan melepaskan senyawa antimon trioksida secara terus menerus (Karuniastuti, 2018).

c. PVC (*Polyvinyl Chloride*)

Bahan jenis plastik PVC (*Polyvinyl Chloride*) lebih tahan terhadap bahan senyawa kimia, minyak, dll. Karena mengandung DEHA (*Diethylhydroxylamine*) yang dapat bereaksi dengan makanan yang dikemas dengan plastik berbahan PVC ini saat bersentuhan langsung dengan makanan tersebut, titik lelehnya 70 – 140°C. Kandungan dari PVC yaitu DEHA (*Diethylhydroxylamine*) yang terdapat pada plastik pembungkus dapat bocor dan masuk ke makanan berminyak bila dipanaskan. Reaksi yang terjadi antara PVC dengan makanan yang dikemas dengan plastik ini berpotensi berbahaya untuk ginjal, hati dan penurunan berat badan karena jika jenis plastik PVC ini dibakar dapat mengeluarkan racun. Sebaiknya kita mencari alternatif pembungkus makanan atau kemasan minuman, seperti bahan alami (daun pisang misalnya). (Karuniastuti, 2018)

d. LDPE (*Low-Density Polyethylene*)

Memiliki sifat mekanis yang kuat, agak tembus cahaya, fleksibel dan permukaan agak berlemak. Pada suhu di bawah 60°C sangat resisten terhadap senyawa kimia, daya proteksi terhadap uap air tergolong baik, akan tetapi

kurang baik bagi gas-gas yang lain seperti oksigen. Plastik ini dapat didaur ulang, baik untuk barang-barang yang memerlukan fleksibilitas tetapi kuat, dan memiliki resistensi yang baik terhadap reaksi kimia. Biasanya plastik jenis ini digunakan untuk tempat makanan, plastik kemasan, botol yang

e. PP (*Polypropylene*)

Karakteristik PP (*Polypropylene*) adalah botol transparan yang tidak jernih atau berawan. *Polypropylene* lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap serta memiliki titik leleh 165°C. Carilah dengan kode angka 5 bila membeli barang berbahan plastik untuk menyimpan kemasan berbagai makanan dan minuman (Karuniastuti, 2018).

f. PS (Polystyrene) Polystyrene

Merupakan polimer aromatik yang dapat mengeluarkan bahan *styrene* ke dalam makanan ketika makanan tersebut bersentuhan. Bahan ini harus dihindari, karena selain berbahaya untuk kesehatan otak, mengganggu hormon estrogen pada wanita yang berakibat pada masalah reproduksi, pertumbuhan dan sistem syaraf, juga bahan ini sulit didaur ulang. Bila didaur ulang, bahan ini memerlukan proses yang sangat panjang dan lama. Jika tidak tertera kode angka dibawah kemasan plastik, maka bahan ini dapat dikenali dengan cara dibakar (cara terakhir dan sebaiknya dihindari). Ketika dibakar, bahan ini akan mengeluarkan api berwarna kuning-jingga, dan meninggalkan jelaga. Plastik jenis ini mempunyai titik leleh pada 95°C (Karuniastuti, 2018).

g. Other (BPA, *Polycarbonate*, dan LEXAN)

Bahan dengan tulisan Other berarti dapat berbahan SAN (*Styrene acrylonitrile*), ABS (*Acrylonitrile butadiene styrene*), PC (*Polycarbonate*), dan Nylon. PC (*Polycarbonate*) dapat mengeluarkan bahan utamanya yaitu *Bisphenola* ke dalam makanan dan minuman yang berpotensi merusak sistem hormon, kromosom pada ovarium, penurunan produksi sperma, dan mengubah fungsi imunitas. Dianjurkan untuk tidak dipergunakan untuk tempat makanan ataupun minuman.

2.1.2 Jenis-Jenis Proses *Molding*

Mold didefinisikan sebagai cetakan, atau proses yang dipergunakan dalam industri manufaktur untuk mencetak material sehingga dihasilkan sebuah produk.

Secara metologi, teknologi molding terdiri dari beberapa metode proses, yakni :

1. *Injection molding*
2. *Blowing*
3. *Thermoforming* (Cahyadi & Lanta, 2018).

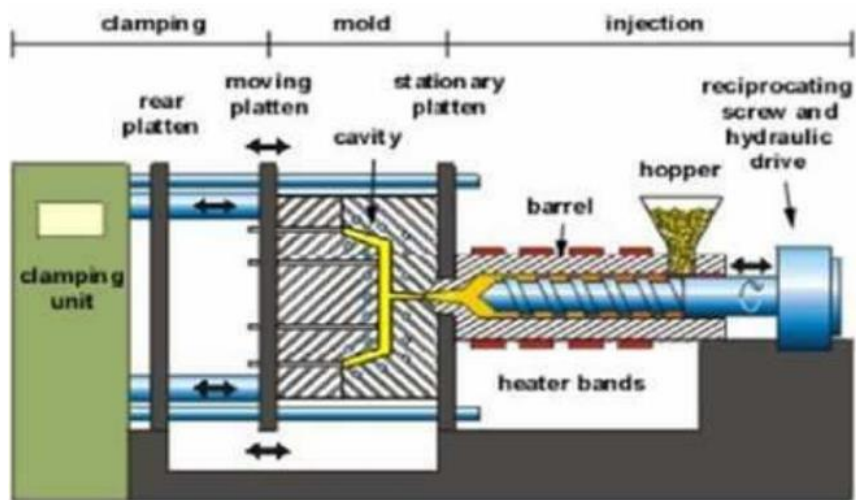
a. Metode cetakan injeksi (*Injection Molding*)

Cetakan injeksi adalah proses pembentukan yang dikehendaki dari material kompon (*plastic/compound articles*) dengan menggunakan alat bantu yang berupa cetakan yang dalam proses pembuatannya menggunakan perlakuan panas dan pemberian tekanan (Rizky, 2021).

Proses cetakan injeksi untuk material *thermoplastic*, karena dengan pemanasan, material ini akan menjadi lunak. Dan sebaliknya, akan mengeras lagi bila didinginkan. Perubahan hanya bersifat fisik, bukan perubahan kimia, artinya proses pelunakan dan pengerasan kembali bisa diulang setiap saat, sehingga 14 memungkinkan mendaur ulang material *thermoplastic* sesuai dengan kebutuhan (Rizky, 2021).

Material plastik yang berbentuk butiran ditempatkan di *hopper* yang memaksa material masuk ke dalam silinder injeksi. Sejumlah material yang akan diproses akan diukur dan didorong dengan torak piston dalam silinder pemanas. Material yang sudah dipanasi sampai mencair didorong melalui *nozzle* dan melalui *sprue bushing* ke dalam rongga (*cavity*) dari cetakan yang sudah tertutup. Setelah didinginkan, cetakan dibuka dan benda yang sudah mengeras dikeluarkan dengan *ejector*. (Rizky, 2021).

Secara umum konstruksi mesin cetakan injeksi terdiri dari tiga unit pokok yang penting yaitu *clamping unit*, *injection unit* and *mold unit* (unit cetakan). Berikut menunjukkan tiga unit bagian mesin *injection molding* pada gambar 2.1 (Rizky, 2021).



Gambar 2.1 Kontruksi Mesin Cetakan Injeksi
(Rizky, 2021)

1. *Clamping unit*

Clamping unit berfungsi membuka dan menutup mold.

2. *Mold unit* (unit cetakan)

Unit adalah bagian yang membentuk benda yang akan dicetak.

3. *Injection unit*

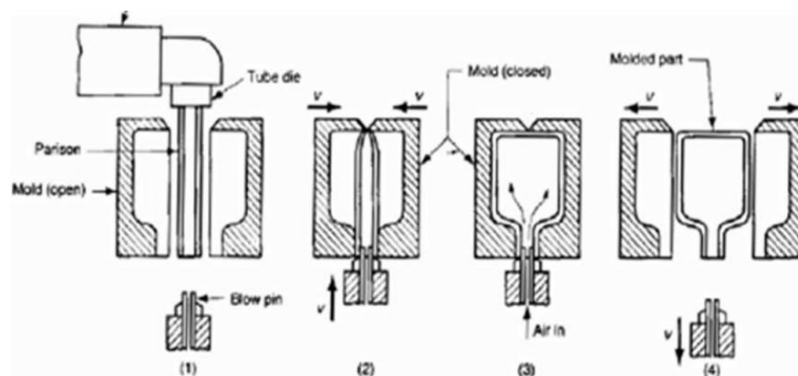
Injection unit merupakan unit yang berfungsi untuk melelehkan plastik dengan suhu yang disesuaikan dengan material plastik hingga mendorong cairan ke dalam *cavity*

b. *Metode blowing*

Blow molding machine adalah sebuah mesin yang memiliki prinsip kerja mencetak *bottle preform* dengan cara ditiup. *Bottle preform* yang telah dipanaskan dan kemudian dimasukkan ke sebuah cetakan (*mold*) lalu diinjeksi dengan tekanan udara tertentu sehingga *bottle preform* dapat mengembang dan membentuk sebuah profil atau produk yang diinginkan (Ikhsan, 2018)

Dalam mesin *blow molding*, terdapat sebuah alat yang disebut *injection blowing tools*. Alat ini memiliki komponen bernama *injection tools* yang memiliki peran penting sebagai alat penginjeksi atau peniup udara bertekanan tinggi dari kompresor ke *bottle preform* lunak sehingga membuat bottle

preform tersebut mengembang dan membentuk profil atau model yang diinginkan. Pada *injection tools*, material yang digunakan harus memiliki bobot yang ringan dan memiliki ketahanan terhadap pengaruh intensitas suhu tinggi dari *bottle preform* ($\pm 100^\circ\text{C}$). *Injection blowing tools* yang dipasangkan pada mesin *blow molding* harus memiliki kekuatan yang tinggi sehingga mampu menopang beban dari *injection tools* serta *mold* (Ikhsan, 2018). Proses *injection blowing* ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses *Injection Blowing*
(Rizky, 2021)

c. *Thermoforming*

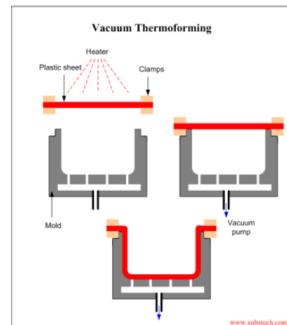
Thermoforming adalah proses pembentukan dimana lembar plastik yang telah mengalami pemanasan akan berubah struktur akan menjadi lunak dan lentur yang kemudian dikenai proses *pressure* atau *vacuum* yang sesuai dengan bentuk cetakannya. Karena ketersediaan bahan plastik yang masih banyak maka pembuatan kemasan plastik ini masih sangat memungkinkan untuk diproduksi. Selain itu faktor pengemasan adalah suatu yang sangat menentukan produk laku di pasaran. Sehingga dapat disimpulkan bahwa keuntungan besar dapat dicapai dengan proses ini (Wiwit, 2011).

Ada dua cara pokok *thermoforming* yaitu *vacuum forming* dan *pressure forming*

1. *Vacuum forming*

Proses ini melibatkan pembentukan lembaran termoplastik yang telah dipanaskan dengan cara *vacuum* yang diproduksi di ruang rongga cetakan. Tekanan atmosfer memaksa lembaran lembut untuk berubah bentuk sesuai

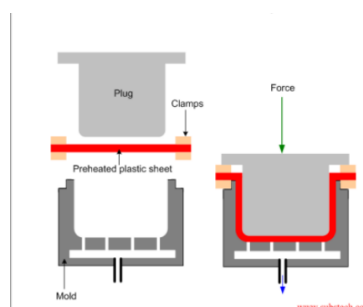
dengan bentuk rongga. Saat plastik masuk ke dalam kontak dengan permukaan cetakan, mesin itu mendingin dan mengeras, seperti terlihat pada gambar di bawah ini (Dian dan Lanta, 2018).



Gambar 2.3 Proses *Vaccum Forming*
(Dian & Lanta, 2018)

2. *Pressure Thermoforming*

Proses ini melibatkan pembentukan lembaran termoplastik yang telah dipanaskan terlebih dahulu dengan menggunakan semprotan bertekanan udara. Tekanan udara memaksa lembaran lembut untuk berubah bentuk sesuai dengan bentuk rongga. Saat plastik masuk ke dalam kontak dengan permukaan cetakan, mesin itu mendingin dan mengeras, seperti terlihat pada gambar di bawah ini (Dian & Lanta, 2018).



Gambar 2.4 Proses *Pressure Forming*
(Dian & Lanta, 2018)

2.1.3 Macam-Macam Cetakan

Dalam hal ini menurut Firdaus, 2010 cetakan untuk benda cor memiliki beberapa macam, antara lain:

a Cetakan Pasir (*Green Sand Mold Casting*)

Proses ini adalah proses yang tertua, namun sampai saat sekarang masih tetap digunakan karena sangat murah, sederhana dan tidak menggunakan mesin yang modern untuk pembuatan cetakan. Secara ini menggunakan pasir sebagai bahan cetakan. Dengan demikian diperlukan syarat-syarat atau karakteristik yang harus dipenuhi untuk pasir cetak tersebut.

1. Keuntungan dari cetakan ini adalah

- Biaya operasional yang murah
- Proses yang sederhana
- Tidak menggunakan mesin-mesin modern
- Bahan-bahannya mudah didapat

2. Kerugian dari cetakan ini adalah :

- Permukaan coran kasar
- Kekuatan coran kurang
- Cetakan tidak kuat
- Cetakan tidak dapat berulang kali
- Diperlukan model dan pola untuk membuat cetakan
- Pengecoran kurang teliti

b Cetakan Permanen (*Permanent Mold Casting*)

Caranya hampir sama dengan cetakan pasir bedanya bahan cetakannya dibuat dari logam. Bahan cetakan biasanya besi tuang kelabu atau baja khusus. Cetakan ini sangat ekonomis dan dapat dipakai berulang-ulang. Sistem ini digunakan untuk mengecor paduan-paduan bukan besi yang mempunyai titik lebur rendah seperti Mg, Al, Cu, dan Plastik.

1. Keuntungan dari cetakan ini adalah :

- Permukaan coran halus dan ukuran lebih teliti
- Struktur coran rapat sehingga sifat mekanik coran yang baik
- Baik untuk produksi massal (banyak)
- Cetakan kuat dan tahan lama, sehingga dapat digunakan berulang-ulang

2. Kerugian dari cetakan ini adalah :

- Sulit untuk membuat coran dalam bentuk rumit
- Harga cetakan mahal, tidak sesuai untuk produksi kecil
- Jika terjadi kesalahan cetakan sulit diperbaiki
- Hanya dapat digunakan untuk membuat benda ukuran kecil
- Memerlukan mesin yang modern dalam membuat cetakan

c *Die Casting*

Caranya sama dengan proses permanen mold casting, hanya berbeda cara memasukkan cairan logamnya. Pada proses ini cairan *logam* dimasukkan kedalam cetakan dengan tekanan. Suhu dengan kecepatan tinggi. Penekanan pada die casting dilakukan secara mekanik. Sedangkan pada permanent mold casting hanya gravitasi dari logam cair itu sendiri.

2.1.4 Parameter Standar Cetakan *Injection Molding*

Pada dasarnya ketepatan pengaturan parameter injeksi akan menentukan kualitas produk yang dihasilkan, baik dari ketepatan dimensi, berat produk dan bentuk produk secara keseluruhan. Pada umumnya parameter injeksi tersebut dapat diatur mesin berdasarkan trial yang dilakukan, akan tetapi ada beberapa parameter tertentu yang harus dicapai terutama yang berhubungan dengan spesifikasi material plastik, berikut parameter injeksi yang berpengaruh (hakim, 2021).

1. Temperatur leleh

Adalah suatu kondisi suhu saat benda padat menjadi cair, beberapa benda padat memiliki nilai temperatur leleh yang berbeda.

2. Waktu pengisian kaviti

Adalah seberapa cepat cairan mengisi rongga-rongga cetakan pada saat proses *injection molding* terjadi.

3. Tekanan Injeksi

Adalah gaya yang mendorong cairan plastik di dalam barel menuju ke dalam cetakan.

4. *Clamping pressure*

Adalah gaya jepit yang harus disediakan mesin saat proses injeksi plastik kedalam cetakan terjadi.

5. Waktu pendinginan

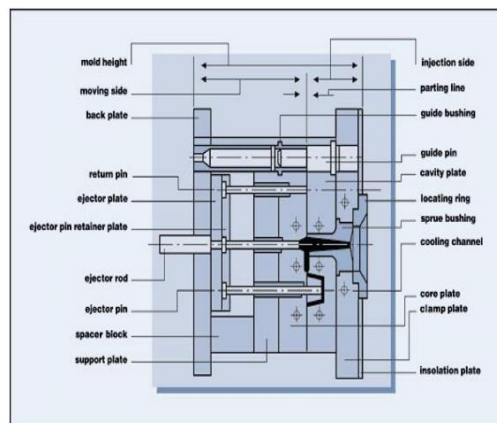
Adalah waktu yang dibutuhkan oleh saluran pendingin untuk menormalkan suhu produk setelah proses peleleh plastik dalam *injection molding*.

6. *Holding time*

Adalah waktu penahanan saat cairan sudah memasuki rongga-rongga dalam cetakan, hal ini dilakukan agar plastik dapat mengeras sebelum keluar dari cetakan.

2.1.5 Komponen-komponen *Molding Unit*

Molding unit hanyalah plat baja dengan rongga dimana resin plastik disuntikan ke dalam cetakan. Komponen-komponen molding unit dan ukurannya dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 Komponen-Komponen *Molding Unit*
(Rizal, 2011)

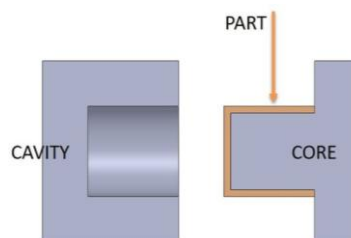
2.1.6 Sistem Saluran Masuk Cetakan

Cetakan pada prinsipnya adalah alat yang digunakan untuk membuat komponen-komponen dari material plastik dengan mesin injeksi plastik. Faktor yang berpengaruh dalam proses *injection molding* yaitu luas penampang, ketebalan

produk dan dimensi *moldbase*. Ada beberapa penentuan perancangan cetakan injeksi sebelum dilakukan, yaitu

a *Cavity dan Core*

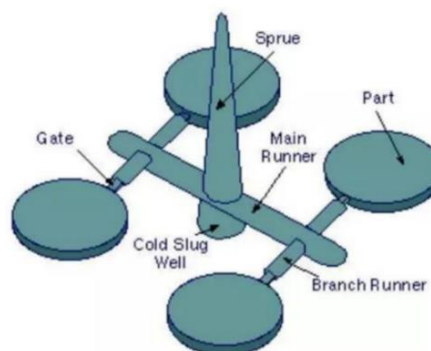
Cetakan terbentuk dari dua bagian yaitu *cavity* dan *core*. Dalam injeksi molding, keduanya merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan, karena gabungan antara *cavity* dan *core* inilah yang akan membentuk desain dari sebuah komponen atau produk. Gambar 2.6 menunjukkan *cavity* dan *core* (Rizal, 2018)



Gambar 2.6 *Cavity dan Core*
(Rathore, 2022)

b *Runner Sistem*

Runner sistem merupakan cairan plastik yang dikeluarkan dari instalasi mesin injeksi mengalir ke dalam *cavity* dan *sprue*, *runner* dan *gate*. Plastik cair saat melewati *sprue* dan *runner* suhunya menurun sehingga menyebabkan visikositasnya naik, tetapi oleh panas gesekan pada saat melewati *gate* viskositasnya kembali menurun dan mengisi kedalam *cavity*. Gambar menunjukkan runner sistem.



Gambar 2.7 *Runner sistem*
(Rizal, 2018)

1. *Sprue*

Sprue merupakan jalan yang digunakan untuk mengalirkan cairan plastik kedalam mold dari *nozzle*.

2. *Runner*

Runner berperan sebagai yang mengarahkan plastik cair masuk kedalam *cavity* atau saluran yang digunakan untuk mendistribusikan cairan material ke dalam masing-masing area produk.

3. *Gate*

Gate merupakan pintu masuk untuk mengisi plastik kedalam cetakan

2.1.7 Cacat Produk *Injection Molding*

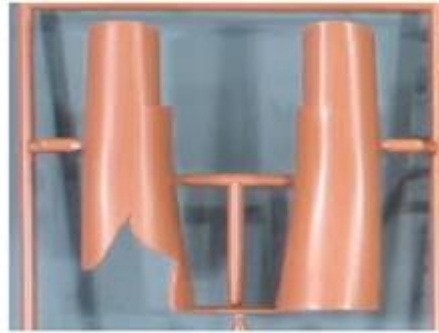
Menurut Rizal, 2018 Kualitas akhir permukaan dari produk plastik injection molding merupakan karakter utama dari standar kualitas produk. Namun keadaan ini tidak dapat dipenuhi sehingga seringkali terjadi cacat produk yang dapat merusak penampilan produk. Cacat produk dapat ditimbulkan oleh berbagai faktor, baik yang bersumber pada faktor parameter proses maupun faktor desain.

Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut tentunya harus disesuaikan dengan bentuk dan cacat yang timbul serta pengaruh terhadap produk. Macammacam cacat pada proses injection molding adalah *warpage*, *sink mark*, *weldlines* dan *flashing*.

Beberapa permasalahan yang sering ditemukan pada produk hasil injection molding antara lain

- a *Short-shot*

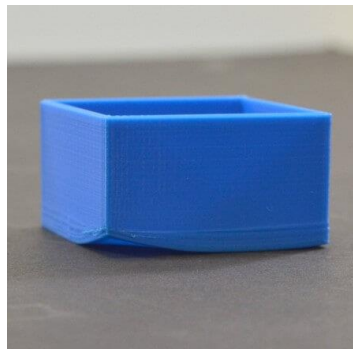
Short-shot adalah cacat produk akibat pengisian yang tidak sempurna. Cacat short-shot ini disebabkan oleh beberapa hal antara lain pelelehan bijih plastik yang tidak sempurna, injeksi yang lambat, tekanan injeksi yang lemah, dan temperatur mold rendah. Cacat *short-shot* ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Cacat Short-shot
(Astuningsih, 2016)

b *Warpage*

Warpage adalah kondisi cacat produk yang terlihat sebagai permukaan yang melengkung hal ini disebabkan oleh pendinginan cetakan tidak seragam, perbedaan temperatur yang tinggi di sebagian cetakan, dan *holding pressure* rendah. Cacat *warpage* ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 Cacat *Warpage*
(PT.KASAKATA KIMIA, 2022)

c *Weldlines*

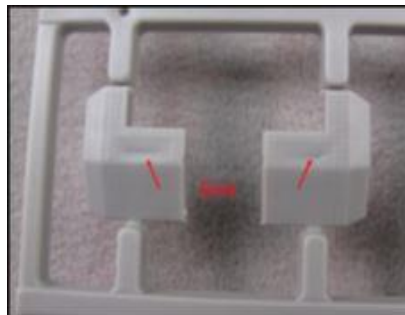
Weldlines adalah ketika dua aliran lelehan bertemu pada kedua ujung aliran lelehan material. Penyebab terjadinya *weldlines* antara lain titik antara injeksi dan transfer terlalu dekat, waktu pendinginan terlalu singkat dan temperatur material terlalu rendah. Cacat *weldlines* ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Gambar 2.10 Cacat *Weld line*
(Leila, 2018)

d *Sink Mark*

Sink mark merupakan lengkungan yang terjadi pada permukaan luar pada komponen yang dibentuk. Penyebab terjadinya *sink mark* antara lain perbedaan ketebalan produk, perbedaan temperatur *core* dan *cavity*, dan kurangnya kemampuan pendinginan dari mold tersebut. Cacat *sink mark* ditunjukkan pada gambar, dibawah ini.



Gambar 2.11 Cacat *Sink Mark*
(Leila, 2018)

e *Flashing*

Cacat *flashing* adalah jenis *minor defect* pada material artinya material masih dapat dikatakan bagus dan memenuhi syarat produk tetapi harus dilakukan pembersihan pada produk. *Flashing* sendiri berarti terdapat material lebih yang ikut membeku di daerah pinggir produk. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12 dibawah ini



Gambar 2.12 Cacat *Flashing*
(Astuningsih, 2016)

2.1.8 Software Autodesk Inventor Professional

Autodesk inventor professional adalah salah satu perangkat lunak (*software*) CADD (*computer aided drawing and design*) yang berbasis gambar tiga dimensi solid. *Autodesk inventor professional* dirancang untuk memenuhi kebutuhan penggambaran (*drawing*) dan perancangan (*designing*), terutama untuk produk-produk mekanis (Rizky, 2021)

Sebagai perangkat lunak yang disiapkan untuk proses perancangan produk, *Autodesk inventor professional* memiliki beberapa keunggulan yakni :

1. Kualitas gambar 3 dimensi (3D) yang sangat realistis sehingga pengguna akan benar-benar merasa sedang membuat produk yang sesungguhnya. Kondisi ini sangat membantu perancang dalam merealisasikan gagasan yang mula-mula abstrak menjadi lebih nyata.
2. Fitur-fitur sangat lengkap sehingga memungkinkan pengguna secara leluasa, mudah dan cepat menggambar atau merealisasikan gagasannya dalam bentuk 3D dari tingkat sederhana hingga kompleks.
3. Kemampuan *editing* yang sangat luas sehingga memudahkan proses penggambaran, terutama jika diperlukan penyesuaian ukuran produk.
4. Tersedia ribuan jenis komponen mekanis standar sehingga pengguna tidak harus menggambar seluruh komponen yang diperlukan di dalam gambar maupun rancangannya. Pengguna dapat mengambil komponen seperti baut, *bearing*, *seal*, dan lain-lain dari *content center* (Rizky, 2018).

Seiring makin pesatnya perkembangan teknologi manufaktur, perkembangan metode pembuatan gambar teknik mesin menuntut kecepatan dan akurasi yang

tinggi. Hal ini karena kecepatan ketersediaan gambar kerja di bengkel produksi atau pabrik akan sangat berpengaruh terhadap kecepatan produksi barang. Keunggulan-keunggulan yang dimiliki *Autodesk inventor professional 2017* sangat relevan untuk menjawab kebutuhan dunia manufaktur produk mekanis, sehingga cukup beralasan *Autodesk inventor professional 2017* dipilih sebagai salah satu alat dalam proses pembuatan gambar teknik mesin. Dalam kaitannya dengan kemudahan dan kecepatan kerja, tampilan *Autodesk inventor professional 2017* dirancang komunikatif di mana tampilan terbagi dalam beberapa bagian penting yang memudahkan pekerjaan penggambaran. Tampilan yang dimaksud sebagai berikut (Rizky, 2018).

2.1.9 SOP (Standar Operasional Prosedur) Pembuatan Cetakan *Injection Molding*

Setelah merancang pembuatan cetakan mangkok untuk mesin *injection molding*. Dapat diketahui beberapa standar operasional prosedur yang harus dilakukan agar pembuatan cetakan mangkok mesin *injection molding* berhasil. Berikut beberapa standar operasional prosedur yang harus dilakukan. (Insinyur Huanke Precision, 2022).

1. Desain Cetakan Injeksi harus Presisi

Melakukan analisis kelayakan pada gambar produk plastic yang disediakan oleh pelanggan, menentukan struktur cetakan dan secara ketat menetapkan proses desain produk

2. Melakukan Analisa dan Simulasi Cetakan

Memasukkan desain cetakan kedalam desain cetakan yang telah dibuat. proses simulasi pada software komputer lalu menganalisa hasil dari simulasi

3. Menentukan arah pembukaan cetakan

Hal ini dilakukan untuk menentukan arah pembukaan cetakan dan garis perpisahan untuk memastikan bahwa cetakan bergerak membuka kearah yang diinginkan dan memastikan agar garis perpisahan cetakan memiliki presisi yang tinggi

4. Menyesuaikan sudut Draf Cetakan

Hal ini dilakukan untuk menghindari deformasi, retakan, dan kerusakan lainnya dibagian atas produk, memperhatikan kemiringan produk plasti yang akan dicetak agar inti cetakan tidak bergerak

5. Melebihkan rongga dalam cetakan

Ketebalan dinding plastic yang telah dicetak biasanya mengalami penyusutan saat cairan plastic panas menyusut factor penyusutan ketebalan dinding ini juga harus diperhatikan dalam membuat cetakan *injection molding*

6. Melakukan Perhitungan Kapasitas Mesin

Setelah melakukan simulasi dari desain cetakan yang dibuat dilakukanlah perhitungan minimal kapasitas mesin yang dapat menampung gaya pencekaman cetakan saat sedang memproduksi barang yang akan dibuat.

2.1.10 Perhitungan Dalam Proses *Injection Molding*

a Perhitungan *Cavity* produk

Perencanaan *cavity* harus memperhatikan terlebih dahulu, volume produk, dan faktor penyusutan volume produk saat produk mulai dingin (Haris, 2015).

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

Dimana: V_{cav} = *Volume cavity*

V_p = *Volume produk*

S = *Shrinkage faktor*

Tabel 2.1 Tabel Penyusutan Material Polimer
(Haris, 2015)

Material	<i>Shrinkage Factor</i>	<i>Density (gr/cm³)</i>
<i>Polyvinyl chloride (PVC) keras</i>	0,5-0,7	1,35
<i>Polyvinyl chloride (PVC) lunak</i>	1-2	1,1-1,4
<i>Polystyrene(PS)</i>	0,45	1,05
<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)</i>	0,4-0,6	1,06-1,1

<i>Styrene Acrylonitile (SAN)</i>	0,4-0,6	1,06-1,1
<i>Polypropylene (PP)</i>	1,2-2	0,91
<i>Polyethylene (PE)</i>	1,5-2	0,92-0,95
<i>Polyamide (PA)</i>	0,6-2,5	1,1-1,2
<i>Polyurethane (PUR)</i>	1-1,5	1,26
<i>Polycarbonate (PC)</i>	0,6-0,8	1,2
<i>Polycarbonate, glas-filed</i>	0,1-1,5	1,26
<i>Polymethyl methacrylate (PMMA)</i>	0,45-0,5	1,8
<i>Polyoxymethylene (POM)</i>	1,2-2	1,41
<i>Cellulose acetate (PA)</i>	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 :

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

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 (Haris, 2015)

b Tekanan Injeksi

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 bilapenampang 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.

$$P_i = F_p \times f_s \quad (\text{Pers, 2.3})$$

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

f_s : faktor tebal dinding (N/cm^3)

Harga faktor tebal dinding diperoleh oleh tabel di bawah ini yang nilainya tergantung dari ketebalan dinding produk minimum dalam satuan millimeter (Haris, 2015).

Tabel 2.2 Harga Faktor Ketebalan Dinding
(Haris, 2015)

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

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 (Haris, 2015)

Besarnya *pressure drop* total adalah sebagai berikut:

$$\Delta P = \Delta P_{sprue} + \Delta P_{runner} + \Delta P_{gate} \quad (\text{Pers, 2.4})$$

Dimana = ΔP : Luas Total (cm^2)

ΔP_{sprue} : Luas *Sprue* (cm^2)

ΔP_{runner} : Luas *Runner* (cm^2)

ΔP_{gate} : Luas *Gate* (cm^2)

3. Tekanan Minimum Injeksi

Besarnya tekanan injeksi minimum adalah jumlah besarnya tekanan pengisian dan *pressure drop* yang terjadi pada saluran Haris, 2015).

$$P_{min} = P_i + \Delta P \quad (\text{Pers, 2.5})$$

Dimana = P_{min} : Tekanan Minimum Injeksi (MPa)

P_i : Tekanan Injeksi (MPa)

ΔP : Luas Penampang (cm²)

c Gaya Pengekaman

Tekanan injeksi yang terjadi pada *cavity* akan menimbulkan suatu gaya yang terhadap luasan proyeksinya. Gaya tersebut dinamakan gaya injeksi yang besarnya adalah (Haris, 2015)

$$F_i = P_i \times A \quad (\text{Pers, 2.6})$$

Dimana: F_i = Gaya injeksi dari mesin (N)

P_i = Tekanan injeksi internal (N/m²)

A = Luasan proyeksi produk (m²)

Gaya injeksi ini harus mampu ditahan oleh gaya pengekaman mesin. Untuk keamanan perlu ditambahkan 10% dari gaya injeksi ini sehingga gaya pengekaman minimum yang diperlukan untuk menahan cetakan tetap tertutup rapat sebesar (Haris, 2015)

$$F_c = F_i (1+10) \quad (\text{Pers, 2.7})$$

Dimana = F_c : Gaya Pengekaman Aman (MPa)

F_i : Gaya Injeksi Mesin (Mpa)

d Jumlah Panas Yang diterima Cetakan

Pengeluaran produk dari dalam cetakan sebaiknya dilakukan sedikit diatas temperature kamar sehingga jumlah kalor yang diterima oleh badan cetakan dapat dikurangi. Jumlah panas yang dilepaskan 24lastic kedalam cetakan tiap detiknya adalah sebagai berikut (Haris, 2015).

$$Q_{pl} = \frac{m \cdot \Delta h}{t_e} \quad (\text{Pers, 2.8})$$

Keterangan:

m = berat produk (gr)

t_e = *cycle time*

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

Panas yang diterima cetakan sebesar Q_{pl} tersebut (Haris,2015)

e Laju Aliran Cairan Plastik Dalam Rongga

Kecepatan laju cairan plastic kedalam cetakan dapat dihitung dengan rumus

$$V = s:t \quad (\text{Pers, 2.9})$$

Keterangan

V : Kecepatan cairan (cm/s)

S : Jarak (cm)

T : waktu Ciran Masuk kedalan cetakan (detik)

2.2 Kajian Pustaka

Penelitian tentang pengaruh variasi temperature leleh dan tekanan injeksi terhadap waktu pengisian dan cacat pada produk telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti lainnya yang menggunakan variabel-variabel berbeda.

Menurut Ellysa Kusuma Laksanawati, at el, 2021 dalam penelitiannya berjudul Analisa Variasi Tekanan, Temperature, Ukuran *Runner* Terhadap *Filling Time* Optimal Pada Injeksi *Molding* menyimpulkan bahwa terdapat pengaruh dan perbedaan dalam proses simulasi analisa variasa tekanan, temperature dan ukuran *runner* terhadap waktu pengisian cairan dalam cetakan (*mold*) tapi juga mengakibatkan terjadinya cacat pada produk yang di cetak

Menurut Priscilla Tria Devalia & Tria Mariz Arief, 2019 dalam penelitiannya yang berjudul Analisis dan Optimasi Parameter Proses Injeksi Plastik Multi Cavity untuk Meminimalkan Cacat Short Mold, menyimpulkan bahwa optimalisasi proses injeksi plastik dipengaruhi oleh jenis material plastik dan titik leleh temperature,serta waktu pengisian cairan ke dalam cetakan sehingga meminimalisir cacat short mold yang terjadi.

Menurut F Rahmadiando & Gerald A.P dalam penelitiannya berjudul Pengaruh Letak Titik Injeksi (*Gate Position*) Terhadap Waktu Pengisian (*Filling Time*) Pada Cetakan Injeksi Menggunakan Simulasi. Menyimpulkan bahwa posisi tempat masuknya aliran (*gate*) saat melakukan cetakan injeksi paling efisien berada dekat pada jalur aliran (*flow path*) produk.

Menurut Irwan Yulianto, at el, 2014. Dalam penelitiannya berjudul Rancangan Desain *Mold* Produk Knob Regulator Kompor Gas Pada Proses *Injection Molding*. Menyimpulkan bahwa penambahan jumlah *cavity* dalam proses pembuatan knob regulator kompor gas dapat menambah produksi perusahaan dalam satu kali produksi sehingga dapat menambah kapasitas produksi

Menurut Esti Taqwanigrum, at el, 2020. Dalam penelitiannya berjudul Desain Cetakan Plastik dan Tatakan Pot Tanaman Menggunakan *Software Autodesk* pada Mesin *Injection Molding*. Menyimpulkan bahwa simulasi yang dilakukan pada aplikasi *software autodesk inventor* dapat meminimalkan cacat-cacat yang terjadi pada proses *injection molding* sehingga dapat mengurangi biaya produksi

Menurut Rahman Hakim, at el, 2020. Dalam penelitiannya berjudul Desain Cetakan Plastik Multi Cavity Dengan Sistem *Intercangeable Mold Insert*. Menyimpulkan bahwa dengan menggunakan multi *cavity* dalam membuat produk plastik dapat menambah kapasitas produksi dengan tidak memakan waktu yang lama sehingga dapat membuat perusahaan menyetok barang lebih banyak.