

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh (Dwi Zulianto, 2015) membahas mengenai pengaruh variasi suhu terhadap cacat produk *warpage* pada produk injeksi plastik berbahan *polypropylene* (PP). Berdasarkan kesimpulan dari penelitian tersebut semakin tinggi suhu yang diberikan maka kemungkinan terjadi cacat produk *warpage* semakin besar, begitu juga sebaliknya semakin rendah suhu yang di berikan semakin kecil kemungkinan terjadi cacat produk *warpage*. Pada penelitian tersebut suhu optimal yang di berikan adalah 150°C karena pada suhu ini terjadi *melting point* tercepat tanpa adanya cacat *warpage*.

Penelitian (M. Anwar Fathoni, 2015) membahas mengenai pengaruh variasi tekanan terhadap cacat produk *warpage*. Berdasarkan hasil penelitiannya semakin tinggi tekanan injeksi membuat area *warpage* menjadi semakin besar, pada penelitiannya tekanan optimal yang didapatkan yaitu $19,11 \text{ Kg/cm}^2$, pada tekanan tersebut mendapatkan nilai *warpage* yang terkecil.

Cacat produk hasil injeksi plastik dapat terjadi apabila tidak tepat dalam *setting* parameter tekanan injeksi, suhu, dan juga waktu pendinginan. Apabila tekanan injeksi terlalu rendah maka cacat produk yang kemungkinan terjadi diantaranya adalah *short shot* dan *shrink mark*, sedangkan apabila tekanan terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya *part flashing*. Kesalahan *setting* parameter lainnya seperti *temperature* juga berpengaruh terhadap cacat seperti *dirty*, *flow mark*, *silver brain* dan *part flashing*. (Dadi Cahyadi, ST, MT., n.d.)

Penempatan lokasi *gate* yang kurang tepat juga dapat mempengaruhi lama waktu yang dibutuhkan untuk pengisian pada area *cavity*. Beberapa kombinasi parameter yang harus di pertimbangkan yaitu *melting temperature* dan *pressure injection* untuk mendapatkan hasil yang optimal. (Erfina Ayu W dkk, 2015)

Berdasarkan kajian pustaka diatas terdapat parameter yang dapat mempengaruhi *filltime* dan juga cacat produk. Parameter tersebut adalah *injection pressure*, *melting temperature*, jenis *layout*, *gate* dan *runner*. Dari beberapa

parameter tersebut sangatlah penting sebagai pertimbangan dalam proses desain *molding* injeksi plastik.

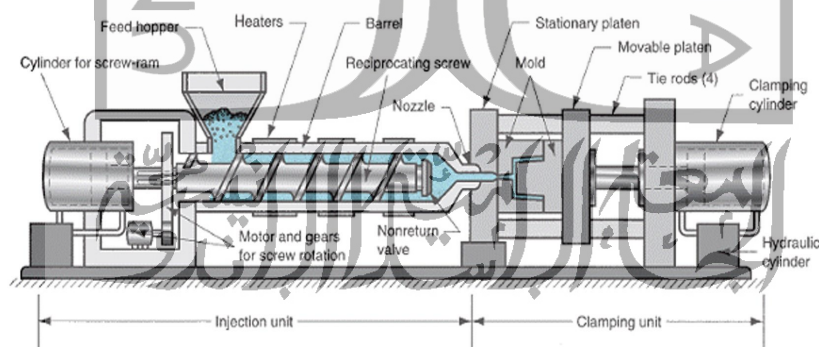
Oleh karena itu pada penelitian ini akan meneliti mengenai parameter yang tepat untuk menghasilkan produk dari injeksi plastik yang optimal dengan *filltime* paling cepat dan ratio cacat produk sekecil mungkin.

2.2 Dasar Teori

Dalam melakukan penelitian peneliti menggunakan dasar teori untuk mendasari rancangan dan juga teori dalam penelitian.

2.2.1 Injeksi *Molding*

Injeksi *molding* adalah salah satu metode pembentukan suatu produk yang berbahan dasar plastik menggunakan suatu mesin. Cara kerja mesin injeksi *molding* yaitu dengan memasukkan material biji plastik kedalam mesin yang disebut *hoper* kemudian biji plastik dipanaskan hingga *temperature* tertentu sehingga biji plastik meleleh, kemudian lelehan biji plastik dipres disuntikan kedalam cetakan sampai cetakan terisi penuh dan menjadi suatu produk, setelah dingin kemudian dikeluarkan dari cetakan. Gambar 2-1 di bawah ini adalah gambar bagian dan ilustrasi mesin injeksi *molding*.



Gambar 2-1 Injection Molding

2.2.2 Polystyrene

Polystyrene adalah hasil polimerisasi dari monomer-monomer stirena, dimana monomer stirena-nya didapat dari hasil proses *dehidrogenasi* dari etil benzene (dengan bantuan katalis), sedangkan etil benzene-nya sendiri merupakan hasil reaksi antara etilena dengan benzene (dengan bantuan katalis).

Polystyrene mempunyai sifat mekanis kaku dan keras, sedangkan titik lebur dari *polystyrene* cukup tinggi yaitu 240 °C. Material *polystyrene* mempunyai ketahanan panas cukup rendah dengan *softening point* 90 °C, sehingga material *polystyrene* tidak digunakan untuk produk yang bersuhu tinggi. Pemakaian suhu maksimal *polystyrene* adalah 75 °C. Contoh biji *polystyrene* ditunjukkan gambar (2-2).



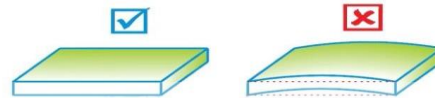
Gambar 2-2 SAN Styrene/Acrilonitrile
(Bambang Setiawan & Eko Prasetyo, n.d.)

2.2.3 Cacat Produk

Cacat produk pada proses injeksi plastik adalah hal yang sering terjadi, dan cacat produk juga menjadi salah satu penghambat proses produksi. Cacat produk banyak disebabkan karena kesalahan penentuan parameter dan juga kesalahan dalam proses perancangan desain *molding*. Beberapa cacat produk yang sering terjadi dalam proses injeksi plastik diantaranya *warping*, *sink mark*, *air trapped*, *short shot*, *flashing*, dan *weld lines*.

1. *Warpage*

Warpage adalah kondisi cacat produk yang terlihat sebagai permukaan yang melengkung hal ini disebabkan oleh pendinginan cetakan tidak seragam, perbedaan *temperature* yang tinggi di sebagian cetakan, dan *holding pressure* rendah. Cacat *warpage* ditunjukkan pada gambar 2-3 dibawah ini.

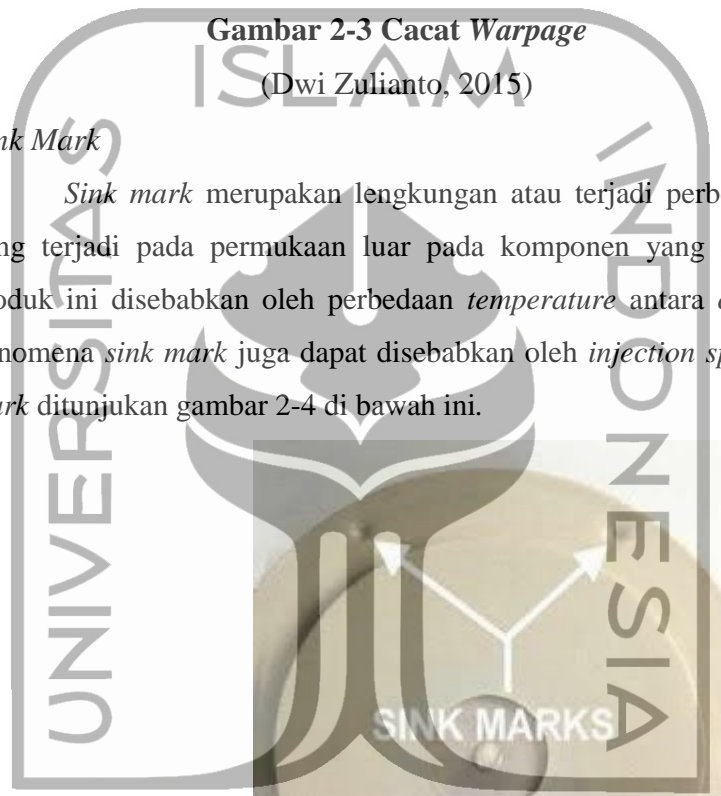


Gambar 2-3 Cacat *Warpage*

(Dwi Zulianto, 2015)

2. *Sink Mark*

Sink mark merupakan lengkungan atau terjadi perbedaan ketebalan yang terjadi pada permukaan luar pada komponen yang dibentuk. Cacat produk ini disebabkan oleh perbedaan *temperature* antara *cavity* dan *core*. Fenomena *sink mark* juga dapat disebabkan oleh *injection speed*. Cacat *sink mark* ditunjukkan gambar 2-4 di bawah ini.



Gambar 2-4 *Sink Mark*

(Sutiawan Treno, n.d.)

3. *Air trap*

Air trap yaitu cacat produk dimana material tidak dapat memenuhi cetakan yang disebabkan karena adanya udara yang terjebak didalam cetakan, sehingga hasil produk yang tercetak tidak optimal dengan adanya bekas rongga udara pada hasil produk injeksi plastik. (Irwan Yulianto, 2014)

4. *Short shot*

Short shot kondisi dimana kapasitas lelehan plastik tidak mampu memenuhi kapasitas cetakan atau lelehan plastik pada saat diinjeksikan

mengeras sebelum memenuhi cetakan, sehingga produk yang di hasilkan tidak sesuai desain yang telah dibuat karena cetakan tidak terisi secara penuh.(Jarot Darmawan, 2018).

5. *Flashing*

Flashing adalah terjadinya *defect* minor pada suatu produk, dimana produk masih dapat dikatakan baik namun terdapat material berlebih yang ikut membeku dipinggiran hasil produk dan perlu dibersihkan. *Flashing* biasa disebabkan karena kurangnya *clamping force* pada saat proses injeksi, sehingga terdapat material yang meluap di sela-sela *cavity* dan *core*. Cacat *flashing* ditunjukkan gambar 2-5 di bawah ini.

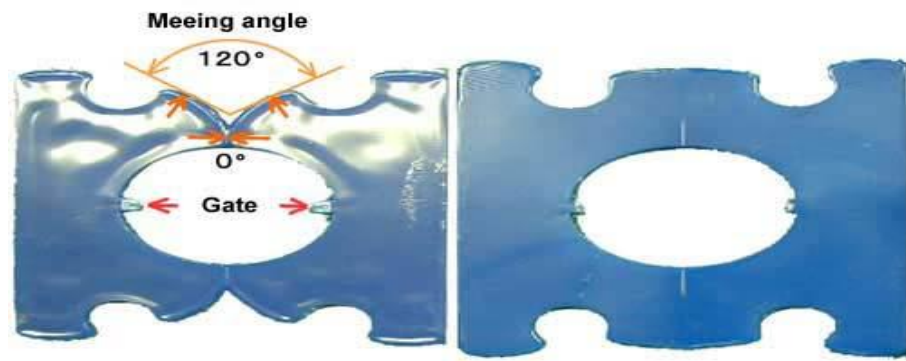


Gambar 2-5 *Flashing*

(Sutiawan Treno, n.d.)

6. *Weld Line*

Weld line adalah fenomena adanya garis pertemuan lelehan depan aliran material pada produk yang tidak menyatu, sehingga tampak seperti terjadi *crack* atau retakan pada hasil produk injeksi plastik. Fenomena *weld line* biasa terjadi pada *molding* dengan *multipint gate*. *Weldline* disebabkan karena terlalu rendah *temperature* material atau *temperature mold* sehingga material bertemu dalam kondisi dingin tidak dapat bercampur dengan sempurna, seperti ditunjukkan pada gambar 2-6.(Sutiawan Treno, n.d.)



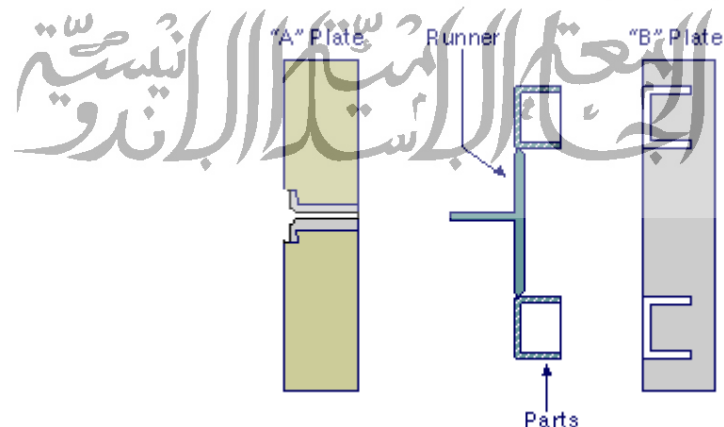
Gambar 2-6 *Weld Line*

(Sutiawan Treno, n.d.)

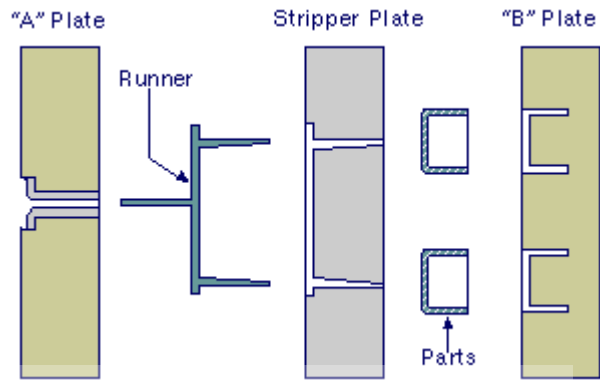
2.2.4 *Runner System*

1. *Cold Runner System*

Cold runner adalah *runner system* yang mengalami pendinginan pada *sprue*, *runner*, dan *gate* sehingga ikut mengeras seperti produk cetak. Kelebihan dari *cold runner system* yaitu biaya yang murah juga perawatan yang cukup mudah dan dapat digunakan pada jenis polimer apapun. Kekurangan dari *cold runner* akan menyisakan limbah apabila sisa *runner system* tidak dapat didaur ulang. *Cold runner system* terdapat dua jenis *mold* yaitu dengan metode *two plate mold* dan *three plate mold* seperti pada gambar 2-7 dan 2-8, perbedaan dari keduanya yaitu *runner system* dan *part* menyatu ketika mendingin pada *two plate mold*, dan pada metode *three plate mold*, *runner system* dan *part* dapat terpisah secara langsung.



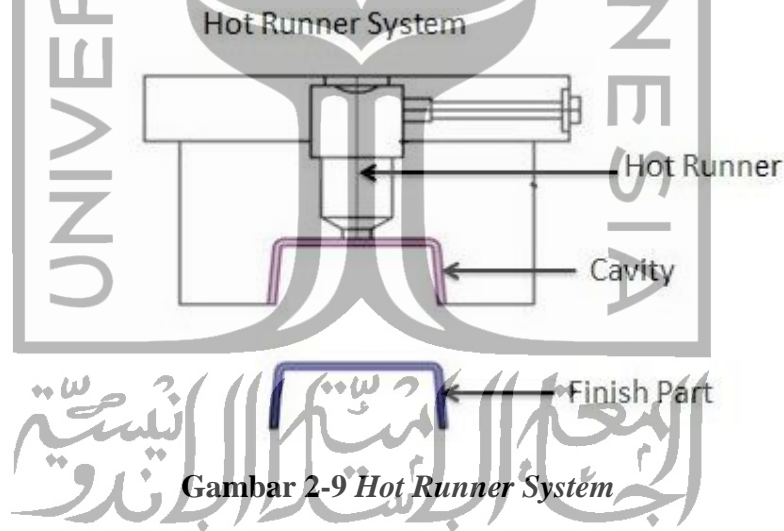
Gambar 2-7 *Two Plate Cold Runner System*



Gambar 2-8 Three Plate Cold Runner System

2. Hot Runner System

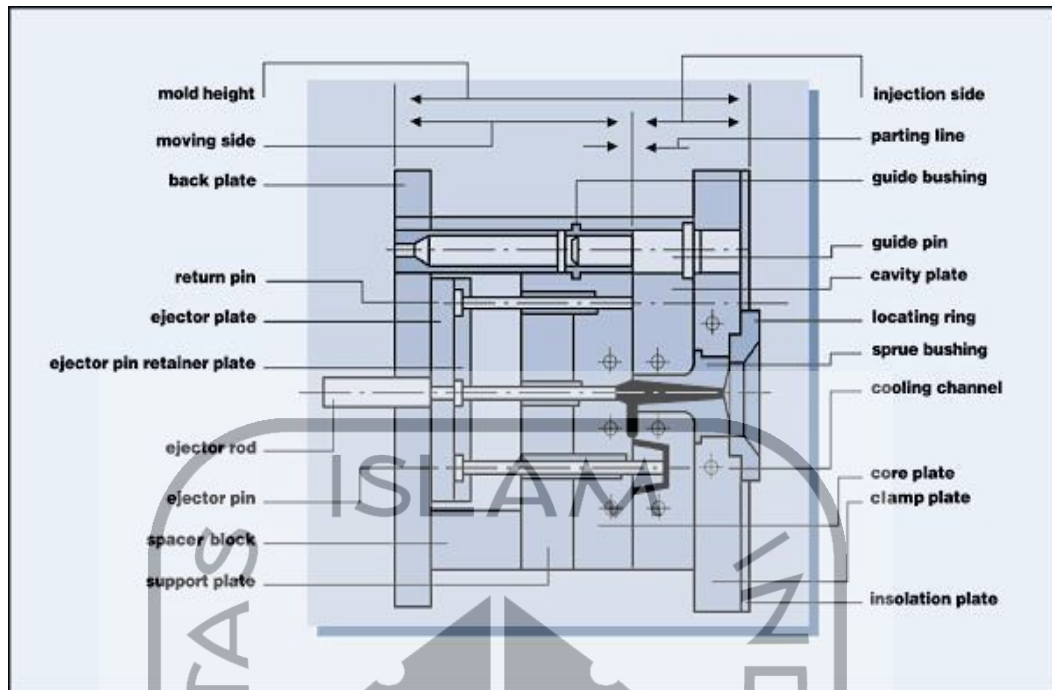
Hot runner system adalah proses injeksi molding dengan pendinginan yang terjadi hanya pada bagian produk sehingga pada sprue, runner dan gate tetap dalam kondisi cair. Hot runner memiliki kelebihan seperti cycle time yang lebih cepat dibandingkan cold runner, memiliki kualitas yang konsisten dan lebih cocok untuk produk yang besar serta jumlah yang banyak. Gambar 2-9 menunjukkan metode hot runner system.



Gambar 2-9 Hot Runner System

2.2.5 Komponen - Komponen Molding Unit

Molding unit terdiri dari susunan plat baja yang didalamnya terdapat rongga cetak yang di sebut cavity dan core dimana resin dan plastik cair disuntikan dan membentuk suatu produk. Gambar 2-10 menunjukkan bagian Komponen molding unit.



Gambar 2-10 Komponen *Molding Unit*

(sumber: Samson, 2011)

Tabel 2-1 Komponen *Molding Unit*

Molding komponen	Fungsi
<i>Mold base</i>	Memegang <i>cavity</i> dan <i>core</i> agar posisi tetap terhadap nozel.
<i>Guide Pin</i>	Mempertahankan kesejajaran antara <i>Cavity</i> dan <i>Core</i> .
<i>Sprue Bushing</i>	Menyediakan sarana untuk masuk cairan plastik kedalam cetakan interior
<i>Gates</i>	Gerbang masuknya cairan material kedalam rongga cetak.
<i>Cavity and Core</i>	Part rongga cetak untuk disuntikan material membentuk produk.
<i>Water channels</i>	Mengontrol suhu permukaan untuk pendinginan material plastik.

<i>Ejector mechanism (pin, blades, stripper plate)</i>	Untuk mengeluarkan <i>molding</i> yang kaku dari rongga (<i>cavity</i>) dan inti (<i>core</i>).
<i>Ejector return pins</i>	Mengembalikan <i>ejector pin</i> untuk ditarik kembali ke posisi awal, untuk siklus injeksi berikutnya.

(M. Rizal, 2018)

2.2.6 Perancangan *Molding*

Mold pada dasarnya adalah alat yang digunakan untuk membuat komponen-komponen dari material plastik dengan menggunakan mesin injeksi plastik. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses injeksi *molding* diantaranya yaitu luas penampang, ketebalan produk, dan dimensi *mold base*.

2.2.6.1 Perancangan Produk

Geometri produk dan spesifikasi material berpengaruh pada penentuan lokasi *gate*, *parting line*, *ejektor sytem* dan cacat produk. Beberapa hal yang harus di perhatikan antara lain :

1. Desain Produk

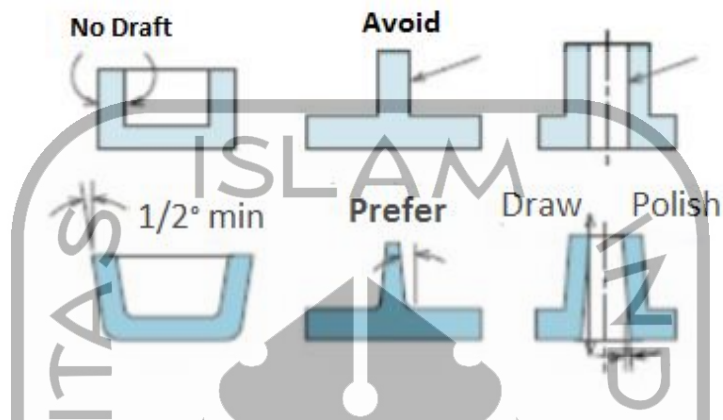
Dalam proses desain produk terdapat beberapa yang harus diperhatikan untuk menunjang proses pembuatan *molding*. Antara lain:

a. Ketebalan Dinding Merata

Gunakan ketebalan dinding yang rata di seluruh bagian produk, karena hal tersebut dapat meminimalisir terjadinya cacat produk seperti *warpage*, dikarenakan pada saat proses pendinginan material akan menyusut ke segala arah terutama ke bagian produk yang tebal sehingga ketika ketebalan tidak merata akan terjadi pembengkokan (*warpage*).

b. *Draft Angle*

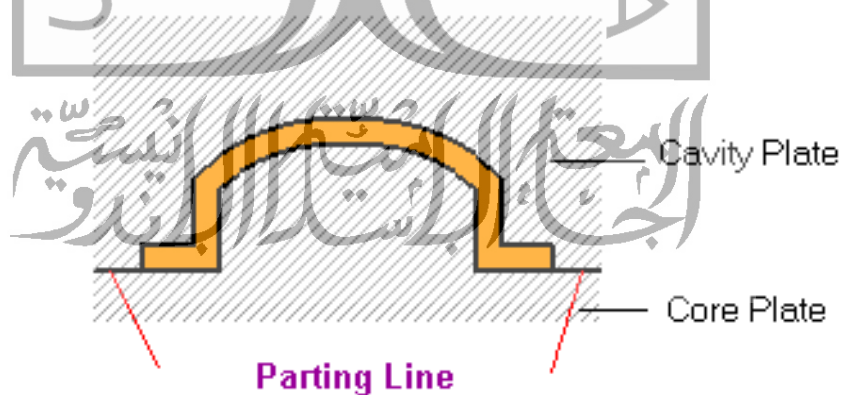
Draft angle adalah sudut kebebasan yang dibentuk pada cetakan yang bertujuan mempermudah mengeluarkan produk dan menghindari cacat akibat gesekan. Gambar 2-11 adalah ilustrasi perbandingan sudut *draft angel*.



Gambar 2-11 Perbandingan Sudut

2. *Parting Line*

Suatu bidang batas untuk memisahkan atau membagi antara cetakan *cavity* dan cetakan *core*. Adapun fungsi dari *parting line* ini adalah untuk merapatkan atau menutup bagian *molding* bergerak dan bagian *molding* diam. Agar dapat membentuk sebuah rongga yang nantinya berfungsi untuk mencetak produk dari bahan plastik. Gambar *parting line* ditunjukkan pada gambar 2-12.



Gambar 2-12 *Parting Line*

2.2.6.2 Perancangan *Cavity* dan *Core*

Perencanaan *cavity* merupakan hal yang penting dalam proses perancangan *mold*, oleh karena itu membutuhkan perhitungan yang tepat untuk mendapatkan hasil injeksi *molding* yang optimal dan rasio terjadinya cacat produk yang sekecil mungkin. Beberapa hal yang harus di perhitungkan dalam perancangan *cavity* :

1. *Layout Cavity*

Desain penentuan *layout cavity* sangatlah penting dalam proses perancangan *mold* terutama pada *molding* yang menggunakan sistem *multy cavity*. Penentuan *layout cavity* dapat berpengaruh terhadap *fill time* yang diperlukan dalam sekali proses injeksi plastik, dikarenakan akan berpengaruh terhadap panjang *runner* yang diperlukan agar tidak terjadi pemborosan material dan penurunan tekanan injeksi. *Layout cavity* juga dapat berpengaruh terhadap dimensi *cavity core* yang dapat berpengaruh juga terhadap dimensi *mold base*.

2.2.6.3 Perencanaan *Runner*

Runner adalah saluran penghubung aliran cairan plastik yang disuntikan dari *sprue* pada cetakan melalui *gate*. Sebagai saluran yang membawa material, maka perencanaan bentuk dan dimensinya harus diperhitungkan dengan tepat hal ini memudahkan pembuatan, menghindari penurunan tekanan, meminimalisasi kehilangan panas, mengurangi *volume runner* yang terbuang dan mendapatkan *fill time* yang optimal. Disamping dimensi penampang *runner*, maka untuk mencegah kehilangan panas dan penurunan tekanan, maka panjang *runner* dibuat lebih kecil.

Runner dapat dibuat dalam beberapa macam bentuk dan ukuran, baik mengikuti bentuk yang ada dan telah distandarkan, maupun menurut perhitungan. Setiap bentuk dan ukuran *runner* akan menentukan terhadap jumlah material yang mengalir dan penurunan tekanan (*pressure drop*) yang timbul akibat terjadinya lapisan kontak yang mengering pada bagian luar sekeliling dinding *runner*. Jumlah material efektif yang mengalir dalam *runner* sebanding dengan *ratio* antara besarnya penampang potong *runner* terhadap keliling kontak pada penampang tersebut.

2.2.6.4 Perencanaan *Gate*

Gate adalah gerbang penghubung antara *runner* dan *cavity* sebagai jalur masuknya material kedalam rongga cetak. Bentuk, dimensi dan lokasi penempatan *gate* dapat berpengaruh terhadap kualitas produk yang dihasilkan, maka dari itu penentuan parameter *gate* menjadi salah satu hal penting yang harus diperhitungkan dalam perancangan *molding unit*. Penentuan lokasi *gate* mempertimbangkan dimensi produk, jenis material dan laju aliran material agar terhindar dari cacat produk seperti *weld line*.

2.2.6.5 Parameter Injeksi

Pada dasarnya ketepatan pengaturan parameter injeksi akan menentukan kualitas produk yang dihasilkan, baik dari ketepatan dimensi, berat produk dan bentuk produk secara keseluruhan. 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. Parameter yang berpengaruh diantaranya:

1. *Injection Pressure*

Injection pressure adalah besarnya tekanan untuk menginjeksi cairan plastik kedalam cetakan. Besarnya tekanan injeksi material yang dibutuhkan untuk mengisi rongga cetak, sangat berpengaruh terhadap besarnya gaya cekam mesin yang dibutuhkan untuk menahan kedua bagian *mold* pada saat pengisian dan pematatan produk. Tekanan permukaan yang terjadi pada daerah *parting line* disebabkan oleh besarnya tekanan yang dibutuhkan saat pembentukan produk dalam rongga, yang besarnya proporsional terhadap luas proyeksi rongga isian. Pengaruh yang ditimbulkan dari tekanan yang terlalu besar pada daerah bukaan dapat mengakibatkan kebocoran dan menimbulkan *flashing* di sekeliling produk.

2. *Clamping Force*

Clamping force adalah gaya yang dibutuhkan mesin untuk menahan kedua bagian cetakan agar tidak membuka pada saat proses injeksi berlangsung. Besarnya gaya pembentukan terjadi sangat dipengaruhi oleh tekanan spesifik material, tebal dinding dan proyeksi isi (produk, *runner*,

sprue dan *gate*). Besar *clamping force* yang dibutuhkan untuk menahan cetakan, seperti persamaan (2.4)

$$F_c = P(\text{inj}) \times A \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana, P_{inj} = Tekanan injeksi yang diberikan (N/cm^2)

A = Luas Penampang proyeksi (cm^2)

F = *Clamping force* (kN)

3. Injection Temperature

Injection temperature adalah *melt temperature* material plastik yang akan diinjeksi kedalam rongga cetakan melalui *nozzel*. Penentuan *injection temperature* disesuaikan menurut spesifikasi jenis material plastik yang digunakan. Berikut spesifikasi material plastik yang telah ditetapkan industri pengolah material plastik:

Tabel 2-1 Temperatur material plastik

Material	Temperatur Leleh (°C)	Temperatur Dinding Kaviti (°C)	Temperatur Sentak Rata-rata (°C)	C_{eff}	Masa Jenis	Masa Jenis
ABS	200-270	50-80	60-100	0,084	1,03	1,06
HDPE	200-300	40-60	60-100	0,078	0,82	0,95
LDPE	170-245	20-60	50-90	0,087	0,79	0,92
PA6	235-275	60-95	70-110	0,089	1,05	1,13
PA6.6	260-300	60-90	80-140	0,089	1,05	1,14
PBTC	230-270	30-90	80-140	0,089	1,05	1,31
PC	270-320	85-120	90-140	0,112	1,14	1,20
PMMA	180-260	10-80	70-110	0,074	1,14	1,18
POM	190-230	40-120	90-150	0,059	1,30	1,41
PP	200-300	20-100	60-100	0,067	0,83	0,90
PS	160-280	10-80	60-100	0,086	1,01	1,05
PVC keras	150-280	20-70	60-100	0,073	1,35	1,40
PVC lunak	120-190	20-55	60-100	0,072	1,23	1,28
SAN	200-270	40-80	60-110	0,086	1,05	1,08

(sumber, ilmumanufaktur.weebly.com)

4. Waktu Pendinginan

Waktu pendinginan adalah waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan produk setelah proses injeksi. *Temperature mold* sangat berpengaruh pada proses produksi, jika *temperature* terlalu tinggi akan membutuhkan waktu yang lama saat proses pengerasan material plastik setelah seluruh rongga terisi penuh. Sebaliknya jika *temperature* terlalu rendah akan mempersulit proses penyuntikan material plastik kedalam rongga cetakan.