

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Cahyadi (2010) penelitian yang berjudul “Analisis Parameter Operasi pada Proses Plastik *Injection Molding* untuk Pengendalian Cacat Produk” meneliti bahwa uji coba pengaturan temperatur leleh injeksi, dimana parameter yang lain dibuat konstan yaitu *injection pressure*, *cooling time* dan *mold temperature* dibuat, cenderung bahwa semakin rendah pengaturan suhu leleh, akan mengakibatkan terjadinya cacat *short shot*, *sink mark*, *dirty*, *flow marks* sedangkan semakin besar nilai *injection pressure* akan mengakibatkan cacat *flashing*, *silver brain* (warna permukaan berubah karena panas yang tinggi). Untuk uji coba perubahan parameter *cooling time*, terlihat kecenderungan bahwa semakin singkat *cooling time* akan mengakibatkan terjadinya cacat *short shot*, sedangkan semakin lama waktu pendinginan akan baik bagi bentuk geometri produk, tetapi dari sisi produktifitas, menjadi kurang efisien karena waktu yang digunakan akan memperlama proses produksi.

Penelitian yang berjudul “Optimasi Proses Injeksi dengan Metode Taguchi” Dari hasil penggunaan metode perancangan Taguchi dapat meminimalkan tingkat kecacatan dari produk tempat nasi. Adapun untuk memperbaiki hasil penelitian ini dapat dilakukan percobaan lanjutan yaitu dengan mengatur kembali level serta menambahkan faktor lain yang masih dapat dikendalikan. Wahjudi, dkk (2001)

Pujari, dkk (2015) dalam penelitian yang berjudul “Meminimalkan Cacat *sink mark* di Mesin Injeksi Molding Menggunakan Metode Taguchi” Optimalisasi parameter dan meminimalisasi cacat dengan menerapkan metode Taguchi dan menggunakan *software moldflow*. Berdasarkan hasil penelitiannya urutan ikatan simulasi yang berpengaruh dari perbedaan parameter proses molding untuk cacat permukaan *sink mark* seperti *holding pressure*, *melt temperature*, *cooling time*, dan *injection pressure*. Dalam penelitian ini menyebutkan *holding pressure* adalah parameter yang paling berpengaruh untuk kecacatan *sink mark*. Parameter lain

yang dapat mempengaruhi faktor cacat *sink mark* yaitu *melt temperature*, *injection pressure*, *holding pressure*, dan *cooling time*.

Anand (2015) dalam penelitian yang berjudul “*Practical Application of Taguchi Method for Optimization of Process Parameters in Injection Molding Machine for PP Material*” Beberapa *setting* parameter diperlukan untuk mengendalikan proses injeksi ke  *mold* dan mendapatkan produk plastik yang baik. Pemilihan parameter proses yang tepat digunakan untuk mendapatkan kualitas dan meningkatkan jumlah produksi dari plastik PP dengan mempertimbangkan beberapa faktor. Pemilihan faktor parameter proses yang penting dan harus dipertimbangkan adalah proses *setting* suhu leleh, tekanan injeksi, waktu pendinginan, dan kecepatan injeksi yang akan mempengaruhi nilai produk yang paling optimal. Nilai parameter proses yang tepat didapatkan dengan cara mendiskusikan dengan perusahaan terkait dan pembicaraan dengan CIPET secara personal.

Lal (2013) dalam penelitian “*Optimization of Injection Molding Process Parameters in the Moulding of Low Density Polyethylene (LDPE)*” pada penelitian ini pemilihan parameter adalah *melt temperature*, *injection pressure*, *refilling pressure*, dan *cooling time* untuk meminimalkan cacat *shrinkage*. Material yang dipilih adalah LDPE-16MA-400. Mesin injeksi yang digunakan menggunakan *Polypast* 100 ton, dengan DOE parameter proses 9 level *ortogonal array*. *Cooling time* adalah parameter yang paling berpengaruh terhadap cacat *shrinkage*.

Hartono (2012) dalam penelitian yang berjudul “Meningkatkan Mutu Produk Plastik dengan Metode Taguchi,” penelitian ini mengkombinasikan plastik hasil daur ulang dan bijih plastik murni, pada tekanan dan temperatur yang sesuai agar mendapatkan mutu optimal pada produk plastik. Dengan desain Eksperimen Taguchi, diperoleh komposisi terbaik untuk campuran material guna mendapatkan kualitas terbaik adalah terdiri dari bijih plastik murni sebanyak 70% dan plastik hasil daur ulang sebanyak 30%. Dengan penggunaan plastik daur ulang maka bisa melakukan efisiensi biaya bahan baku material plastik karena plastik daur ulang mudah diperoleh dan harganya sangat murah.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Plastik LDPE



Gambar 2.1 Plastik LDPE (dkmmfmg.com)

Polietylena berdensitas rendah *low density polyethylene* (LDPE) adalah termoplastik yang terbuat dari minyak bumi. Plastik jenis ini masih bisa di daur ulang dan memiliki nomor 4 pada simbol daur ulang. LDPE dicirikan dengan densitas lebih kecil dari air murni antara  $0.920 \text{ g/cm}^3$  dan tidak reaktif pada temperatur kamar, beberapa jenis pelarut dapat menyebabkan kerusakan. LDPE dapat bertahan pada temperatur  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  dalam waktu yang tidak terlalu lama (Lucky, 2013). Sifat mekanis jenis plastik LDPE adalah kuat, agak tembus cahaya, fleksibel dan permukaan agak berlemak. Pada suhu di bawah  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  sangat resisten terhadap senyawa kimia, daya proteksi terhadap uap air tergolong baik, akan tetapi kurang baik bagi gas-gas yang lain seperti oksigen (Mimi, 2002). LDPE memiliki aplikasi yang cukup luas, terutama sebagai wadah pembungkus, biasa dipakai untuk tempat makanan, plastik kemasan, dan botol-botol yang lembek (Suyadi, 2010).

Jenis dan tipe material LDPE yang digunakan penelitian ini adalah *Cosmothene* F410-1 *low density polyethylene* (LDPE). Material ini banyak digunakan untuk pembuatan produk tas, kantong plastik, plastik pengepak, dan banyak aplikasi lainnya. Sifat khusus yang dimiliki material plastik *cosmothene* F410-1 LDPE adalah warna yang transparan keputih – putihan, kejelasan warna

yang tinggi kekakuan yang tinggi, kekasaran yang lumayan tinggi. Temperatur leleh LDPE ini tidak terlalu tinggi yaitu 130 °C–160 °C, temperatur leleh ini harus terkontrol secara konstan. Temperatur yang melebihi temperature yang ditetapkan material dapat terbakar didalam barrel (*The Polyolefin Company Singapore*, 2009). Adapun jenis dan tipe material yang digunakan dijelaskan di tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 *Cosmothene F410-1 LDPE (The Polyolefin Company Singapore, 2009)*

<i>General properties</i>	Nilai	Satuan	<i>Test method</i>
<i>Melt flow rate</i>	5	g/10min	ASTM D123B
<i>Specific gravity</i>	0,923	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792
<i>Melting point</i>	111	°C	<i>Internal Method</i>
<i>Mechanical properties</i>	Nilai	Satuan	<i>Test method</i>
<i>Tensile strength at break</i>	13,7	MPa	ASTN D638
<i>Elongation at break</i>	550	%	ASTM D638
<i>Film thickness</i>	5	µm	
<i>Apparent bending modulus</i>	240	MPa	ASTM D747
<i>Gloss (30.0 µm)</i>	120		ASTM D2457
<i>Haze (30.0 µm)</i>	4.0	%	ASTM D1003
<i>Blocking (30.0 µm)</i>	30.0	g/100 cm <sup>3</sup>	ASTM D3354
<i>Slip (30.0 µm)</i>	0.140	Tan θ	<i>Internal Method</i>

### 2.2.2 *Injection Molding*

Menurut (Yulianto, 2014) *injection molding* seperti operasi pada jarum suntik, dimana resin plastik yang dilelehkan di *barrel* disuntikan kedalam  *mold* (cetakan) yang tertutup rapat yang berada didalam mesin sehingga lelehan tersebut memenuhi ruang pada  *mold* sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Proses siklus untuk *injection molding* terdiri dari empat tahapan yaitu, *clamping* sebelum injeksi bahan ke dalam cetakan, dua bagian dari cetakan harus

tertutup rapat pada mesin, injeksi plastik cair yang kemudian disuntikkan ke dalam  *mold*  dan memenuhi ruangan sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan,  *cooling*  yang merupakan proses pendinginan material plastik setelah proses penyuntikan, dan  *ejection*  ketika  *mold*  dibuka lalu mekanisme  *ejection system*  akan mendorong bagian produk plastik keluar dari cetakan.

### 2.2.3 Bagian-bagian Mesin *Injection Molding*

Adapun bagian-bagian pada mesin  *injection molding*  di bagi menjadi tiga garis besar yaitu :

#### 1. Clamping Unit

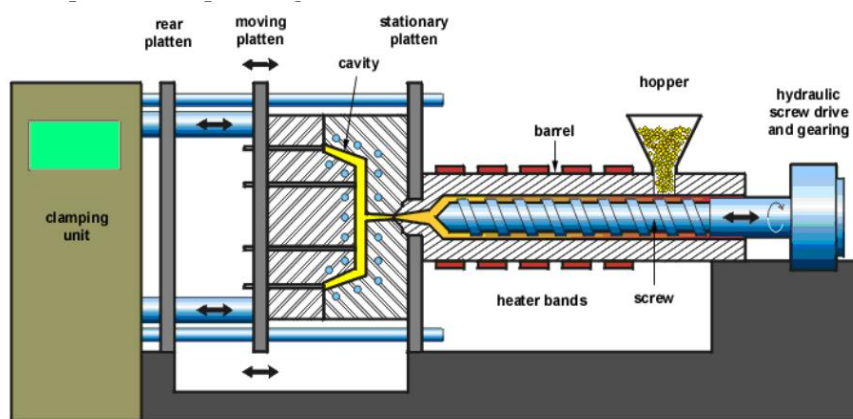
Merupakan tempat untuk menyatukan  *molding* .  *Clamping system*  mempunyai bagian yang sangat kompleks, dan diantaranya terdapat  *mold* , lalu ada  *injection*  untuk memasukan resin melalui  *sprue* , sesudah di injeksi material ditekan  *ejector*  untuk mengeluarkan produk plastik dari  *molding* . Ada empat macam  *clamping unit*  namun yang dipakai pada umumnya hanya dua macam, yaitu  *toggle clamp* , dan  *hydrolic clamp*  (Ajis, 2010), berikut adalah macam-macam  *clamping unit*  :

- a.  *Toggle clamp*  yaitu  *clamping system*  yang menggunakan tenaga mekanis dari  *linkage*  untuk menghasilkan gaya yang dibutuhkan saat menahan cetakan selama injeksi
- b.  *Hydraulic clamp*  yaitu  *clamping system*  yang menggunakan tenaga hidrolis untuk menghasilkan  *clamp force*  secara langsung.

#### 2. Proses *injection moulding*

Proses  *injection molding*  merupakan proses pembentukan benda kerja dari material  *thermoplastic*  berbentuk butiran yang ditempatkan kedalam suatu  *hopper*  dan masuk kedalam silinder  *barrel*  injeksi yang kemudian didorong oleh mekanisme  *screw*  melalui  *nozzle*  mesin dan  *sprue*  masuk kedalam rongga ( *cavity* ) cetakan yang sudah pada kondisi tertutup. Setelah beberapa saat didinginkan,  *mold*  akan dibuka dan produk akan dikeluarkan dengan mekanisme  *ejector* . Material yang sangat sesuai adalah

material *thermoplastik*, hal ini disebabkan karena pemanasan material ini dapat melunak dan sebaliknya akan mengeras lagi bila di dinginkan. Perubahan-perubahan yang terjadi hanya bersifat fisik, jadi bukan perubahan secara kimiawi sehingga memungkinkan daur ulang material sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan (Wahyudi, 2015). *Injection Unit* terdiri dari beberapa bagian, yaitu :



Gambar 2.2 *Injection Unit* (Gutowski, 2002)

Berikut adalah beberapa bagian injection unit:

a. Motor dan *transmission gear unit*

Bagian ini berfungsi untuk menghasilkan daya yang digunakan untuk memutar *screw* pada *barrel*, sedangkan transmisi unit berfungsi untuk memindahkan daya dari putaran motor ke dalam *screw*, selain itu *transmission unit* juga berfungsi untuk mengatur tenaga yang di salurkan sehingga pembebanan tidak terlalu besar.

b. *Hopper*

*Hopper* adalah tempat untuk menempatkan material plastik, sebelum masuk ke *barrel*. Biasanya untuk menjaga kelembapan material plastik, digunakan tempat penyimpanan khusus yang dapat mengatur kelembapan, sebab apabila kandungan air terlalu besar pada udara, dapat menyebabkan hasil injeksi yang tidak bagus.

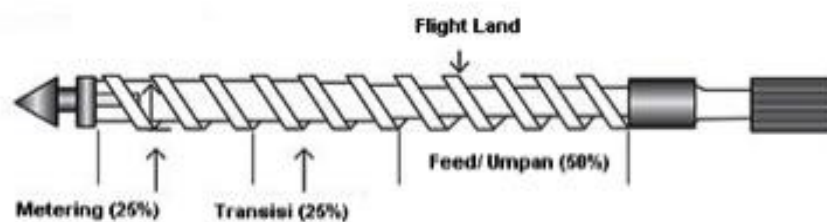
c. *Barrel*

Di dalam barel terdapat screw yang memiliki dua fungsi utama. Berputar untuk mencampur dan pemanasan polimer, berfungsi sebagai piston untuk memasukan plastik cair kedalam rongga cetak.

d. *Screw*

*Screw* berfungsi untuk mencampur material polimer berfungsi sebagai pendorong material plastik cair ke dalam  *mold*. *Screw* pada  *barrel* dibagi menjadi tiga zona yaitu pengisian (*mettering*), kompresi, dan pengumpan (*feeding*) (Yuswinanto, 2016).

Dibagian *screw* terdapat 3 zona yang berbeda. Bagian – bagian tersebut dijelaskan pada gambar 2.5.



Gambar 2.3 3 Zona didalam *screw* (indopolimer.com)

e. *Nonreturn valve*

*Nonreturn valve* ini berfungsi untuk menghambat atau mencegah aliran plastik yang telah meleleh agar tidak kembali ke *screw*.

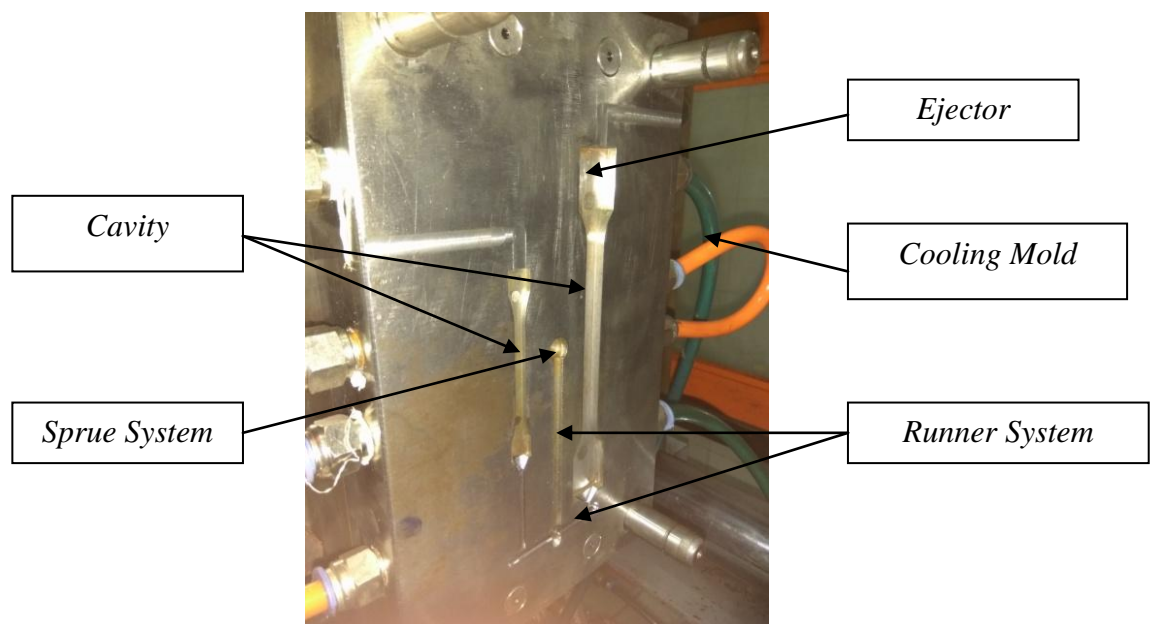
f. *Nozzle*

*Nozzle* ini berfungsi sebagai penghubung antara  *mold* dengan unit injeksi, penahan kebocoran/*sealing*, dan penyempitan pada nozel untuk mempertinggi kecepatan.

3. *Mold Unit*

*Mold unit* adalah bagian terpenting untuk mencetak produk plastik, bentuk benda/produk plastik sangat tergantung dari bentuk  *mold*, karena setelah material plastik mencair kemudian akan diinjeksikan ke dalam cetakan atau

*mold*, setelah itu didinginkan maka terbentuklah produk plastik sesuai dengan bentuk  *mold*, ada berbagai tipe  *mold*, di sesuaikan dengan bentuk benda yang akan dibuat (Oktaviandi, 2012). Contoh untuk  *mold* standart.



Gambar 2.4 *Mold*

a. *Sprue* dan *runner system*

*Sprue* dan *runner system* berfungsi menerima cairan plastik dari *nozzle* dan kemudian *runner* akan mengalirkan cairan plastik ke dalam *cavity mold*.

b. *Cavity*

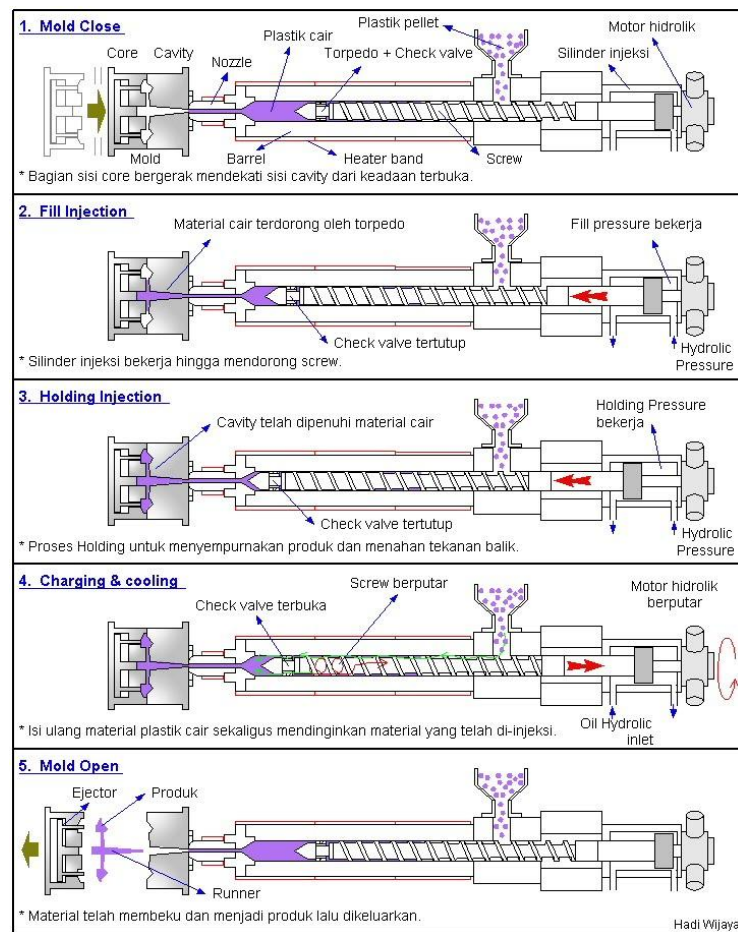
*Cavity* merupakan salah satu sisi  *mold* yang bergerak berfungsi untuk membentuk produk plastik, *cavity* terletak pada *stationary plate*

c. *Ejector system*

Setiap jenis  *mold* selalu mempunyai sistem untuk melepas produk yang selesai di cetak dari *cavity mold*, bagian inilah yang disebut dengan ejektor. Penggerak utama ejektor adalah mesin hidrolis pada bagian *clamping unit*.



## 2.2.4 Cara Kerja Mesin *Injection Molding*



Gambar 2.5 Cara kerja *Injection Molding* (Wijaya, 2009)

Seperti pada gambar di atas yang memperlihatkan simulasi Proses Injeksi Plastik horisontal yang dibagi ke dalam 5 besar (Wijaya, 2009). Berikut urutan kerjanya :

1. *Mold close*, dalam 1 siklus kerja proses injeksi, diawali oleh proses menutup cetakan. Istilah *mold* dalam dunia injeksi adalah cetakan untuk proses injeksi. *Mold* itu sendiri terdiri dari 2 bagian besar yaitu sisi *core* dan sisi *cavity*. Sisi *cavity* diikat pada *stationery platen* mesin injeksi. Sedangkan sisi *core* diikat pada *moving platen* mesin, bagian inilah yang bergerak membuka dan menutup. Pada proses menutup terbagi menjadi 4 urutan proses, yaitu: Gerakan menutup pada kecepatan perlahan dengan tekanan rendah. (*Low Mold Close Velocity & Low*

*Mold Close Pressure*). Tekanan yang dimaksud adalah tekanan hidrolik. Posisi awal cetakan adalah terbuka penuh yang diatur sedemikian rupa sehingga memungkinkan produk yang dihasilkan nantinya dapat dikeluarkan atau diambil dengan mudah. Dari posisi ini bergerak hingga posisi tertentu yang tidak terlalu jauh dari posisi terbuka penuh. Gerakan ini dimaksudkan untuk mereduksi getaran mesin yang juga sekaligus merawat mesin itu sendiri, terutama sistem hidroliknya yang rentan terhadap tekanan hidrolik yang tiba-tiba.

2. *Fill injection*, setelah dipastikan  *mold* ditekan dengan  *pressure* tinggi. Maka unit injeksi yang terdiri dari  *nozzle* ,  *barrel* , dan  *screw*  dan seterusnya. Unit injeksi mendekati  *mold*  hingga  *nozzle*  bersentuhan  *mold*  dengan  *pressure*  tinggi. Ketika  *nozzle*  sudah bersentuhan dengan  *mold* . Bagian  *mold*  yang bersentuhan langsung dengan  *nozzle*  disebut  *sprue bush* . Kemudian mesin melakukan proses injeksi pengisian, yaitu menyuntikkan plastik cair ke dalam  *mold* . Pada proses ini melibatkan beberapa parameter yang bisa kita atur sedemikian rupa mengikuti tingkat kesulitan produk yang akan kita buat.
3. *Holding injection*, penyempurnaan hasil produk berada pada bagian proses ini. Sengaja harus dibuat seperti itu agar pada proses penyempurnaan nantinya hanya akan membutuhkan nilai yang benar-benar efisien.
4. *Charging*  dan  *cooling* , isi ulang  *charging*  plastik cair untuk siap diinjeksikan pada siklus selanjutnya, bersamaan perhitungan waktu pendinginannya  *cooling*  pun dimulai.
5. *Mold open*, proses terakhir adalah pembukaan  *mold*  yaitu pembukaan pada cetakan yang setelah itu produk akan dilepas menggunakan ejektor pada kecepatan tertentu.

### 2.2.5 Variasi Parameter Proses *Injection Molding*

Variasi parameter proses berguna untuk menghasilkan suatu produk plastik dengan kualitas yang paling optimal, pengaturan parameter sangat diperlukan guna untuk mempengaruhi hasil daripada produk plastik yang nantinya dihasilkan. Pendekatan untuk setting parameter guna pengoptimalan produk plastik LDPE disini adalah dengan pendekatan kecacatan *sink mark* (Wijaya, 2009). Kecacatan *sink mark* dapat dipengaruhi oleh beberapa setting parameter, yaitu:

- a. Temperatur leleh (*melt temperature*)  
*Melt temperature* adalah batas temperatur dimana bahan plastik mulai meleleh apabila diberikan setting temperatur dinaikkan.
- b. Waktu penekanan (*holding time*)  
*Holding time* adalah lamanya waktu yang diperlukan untuk memberikan tekanan untuk mendorong lalu menahan cairan plastik yang sudah meleleh didalam *barrel* sehingga plastik cair tidak kembali kedalam *barrel*. Semakin besar ukuran cetakan maka waktu penekan yang diperlukan akan semakin lama.
- c. Waktu pendinginan (*cooling time*)  
*Cooling time* adalah waktu pendinginan setelah cairan plastik diinjeksikan ke dalam cetakan agar cepat menjadi produk.
- d. Tekanan injeksi (*injection pressure*)  
*Injection Pressure* ini merupakan tekanan yang digunakan untuk menginjeksi cairan plastik kedalam cetakan. Tekanan ini dipengaruhi oleh luas proyeksi benda dan gaya yang dibutuhkan.

### 2.2.6 Sink Mark



Gambar 2.6 Kecacatan *sink mark* yang terlihat pada suatu produk plastik  
(media.licdn.com)

Sink mark adalah cacat yang membentuk lekukan pada produk, yang timbul pada dinding produk yang tebal atau pertemuan antara dinding dan sirip yang membentuk bagian yang menebal pada daerah tersebut (Sutiawan, 2013).

Penyebab :

1. Temperatur *barrel* terlalu tinggi, sehingga penyerapan panas oleh dinding cetakan terlalu besar dan mengakibatkan meningkatnya daerah yang kosong antar molekul plastik. Pada saat pendinginan, bagian permukaan akan mengeras dan molekul plastik yang berada dibawahnya akan mengisi kekosongan dan menarik kulit permukaan tersebut kearah dalam semakin besar.
2. Kekosongan yang terjadi, semakin besar derajat penyusutannya dan *sink mark* terbentuk semakin besar.
3. Tekanan yang rendah atau waktu injeksi yang kurang, sehingga menyebabkan terbentuknya kekosongan yang berlebihan antar

molekul dan menarik material yang telah dingin dan menyebabkan penyusutan berlebih.

4. Pembukaan cetakan terlalu cepat sehingga waktu pendinginan menjadi kurang.

Cara mengatasi :

1. Penambahan *cycle time*
2. Penambahan *holding pressure*
3. Penambahan *volume injection*
4. Penambahan *injection pressure*

### **2.2.7 Metode *Design Of Experiment* (DOE) Taguchi**

Metode Taguchi adalah sebuah metode statistik yang dikembangkan untuk meningkatkan kualitas dari hasil produksi *manufacture, engineering*. Metode Taguchi melibatkan reduksi variasi dari proses melalui desain *robust* dari eksperimen. Tujuan utama dari metode ini adalah memproduksi produk yang *high quality* dengan *cost* yang rendah. Taguchi mengembangkan sebuah metode untuk mendesain eksperimen agar dapat menginvestigasi secara bersamaan pada faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses dan karakteristik produk dengan level yang divariasi, hasil dari kombinasi variasi parameter akan dianalisa untuk menentukan seberapa besar pengaruh daei peningkatan atau penurunan kualitas dari parameter yang digunakan (Soejanto, 2009).

DOE menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut *ortogonal array*. Matriks ini merupakan langkah untuk mengelompokkan faktor-faktor yang berpengaruh pada proses dan level-level yang diberi variasi sehingga diharapkan dapat memperoleh kualitas yang baik, serta menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin dari semua faktor yang berpengaruh terhadap parameter (Soejanto. 2009).

DOE ini melibatkan parameter-parameter yang berpengaruh pada proses dan tingkatan-tingkatan yang perlu diberi variasi. Dengan metode DOE dapat mengkombinasikan antara faktor-faktor dan variabel yang berpengaruh untuk meningkatkan kualitas produk. Hal ini dikarenakan DOE dapat mengumpulkan

beberapa faktor dan variabel untuk mendapatkan komposisi parameter yang paling tepat, sehingga dengan menggunakan metode DOE dan metode taguchi dapat mendapatkan variasi parameter proses yang paling optimal untuk meningkatkan kualitas produk (Oktaviandi, 2012).

Metode Taguchi dilakukan pengumpulan dan pengolahan data yang meliputi pengumpulan data, pengaturan data, dan perhitungan serta penyajian data dalam suatu *layout* tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih. Salah satu cara untuk menghitung dan menganalisis data-data yang telah didapat yaitu dengan melakukan pengukuran dan perbandingan dari produk yang sudah dibuat dengan variasi – variasi yang didapat dari metode DOE taguchi (Oktaviandi, 2012).