BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pujari dkk, (2015) membahas tentang optimalisasi parameter dan meminimalisasi cacat dengan menerapkan metode Taguchi dan *moldflow* untuk komponen injeksi molding. Berdasarkan hasil penelitiannya urutan ikatan simulasi yang berpengaruh dari perbedaan parameter proses molding untuk cacat permukaan *sink mark* seperti tekanan tahan, temperatur leleh, waktu pendinginan, dan tekanan injeksi. Akan tetapi waktu tahan adalah yang paling berpengaruh untuk kecacatan *sink mark*. Kombinasi parameter yang optimal dari beberapa faktor yang berbeda yang perlu di pertimbangkan yaitu temperatur leleh 235^{o}C, tekanan injeksi 80 bar, tekanan tahan 55 bar, dan waktu pendinginan 50 detik yang menghasilkan cacat *sink mark* sebesar 2.674/0,2 % yang mana adalah data terbaik dari komparasi kombinasi parameter yang lain.

Penelitian mengenai analisis parameter operasi pada proses plastik *injection* molding untuk pengendalian cacat produk. Hasil dari penelitian yang dilakukan menunjukan bahwa analisis cacat produk dapat terjadi apabila dalam menentukan *setting* parameter proses tekanan injeksi, temperatur injeksi serta waktu pendinginan yang ditentukan tidak tepat. Hal ini dikarenakan apabila terlalu rendah untuk menentukan nilai tekanan injeksi akan menyebabkan cacat produk berupa *short shot, sink mark*, sedangkan bila terlalu tinggi akan menyebabkan *part flashing*, untuk parameter temperatur injeksi, hasil simulasinya menunjukkan bahwa kecenderungan terlalu rendah untuk nilai temperatur injeksi akan menyebabkan cacat produk berupa *short shot, sink mark*, *dirty, flow mark*, sedangkan sebaliknya, akan menyebabkan cacat produk berupa *silver brain*, *part flashing*. Pada parameter waktu pendinginan, hasil simulasi menunjukan bahwa *setting* nilai terlalu rendah akan berpengaruh pada saat pelepasan produk dari cetakan, sedangkan apabila lebih lama waktu pendinginan akan lebih baik, namun kurang efisien dari sisi pemakain waktu produksi. Dengan demikian, menentukan *setting* parameter proses yang tepat dapat mengurangi terjadinya cacat produk Cahyadi, (2010).

Hartono, (2012) memberitahu tentang cara meningkatkan mutu produk plastik dengan metode Taguchi, hasil penelitaiannya untuk meningkatkan mutu produk plastik dapat diperoleh dengan mengkombinasikan plastik hasil daur ulang dan bijih plastik murni, pada tekanan dan temperatur yang sesuai. 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% dari volume produk yang dihasilkan. Dengan penggunaan plastik daur ulang maka bisa melakukan efisiensi biaya bahan baku material plastik karena plastik daur ulang mudah diperoleh dan harganya sangat murah. Disamping itu pada proses injeksi plastik, penentuan tekanan dan temperatur yang tepat juga dapat meningkatkan kualitas plastik yang akan dihasilkan.

Practical application of Taguchi method for optimization of process parameters in Injection Molding Machine for PP material, adalah penelitan yang telah dilakukan oleh Dwidedi, (2015) pada penelitiannya beberapa *setting* parameter diperlukan untuk mengatur proses injeksi ke dalam cetakan dan agar mendapatkan produk plastik yang baik. Variasi parameter proses yang tepat digunakan untuk meningkatkan kualitas dan menambah jumlah produksi dari plastik PP dengan beberapa pertimbangan faktor parameter proses. Pemilihan variabel parameter proses yang penting dan harus dipertimbangkan seperti mengatur suhu leleh, tekanan injeksi, kecepatan injeksi, dan waktu pendinginan kecepatan injeksi yang akan mempengaruhi nilai produk yang paling optimal. Nilai variasi parameter proses yang tepat didapatkan dengan cara mendiskusikan pada bagian perusahaan yang terkait dan pembicaraan dengan departmen injeksi perusahaan secara personal.

Hakim, (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh suhu, tekanan dan waktu pendinginan terhadap cacat *warpage* produk berbahan plastik. Penelitiannya memberikan penjelasan bahwa pada parameter suhu, tekanan, dan waktu pendinginan sangat berpengaruh terhadap terjadinya cacat *warpage* produk berbahan plastik, selain itu suhu *cavity mold* dan tekanan injeksi pada saat proses *molding* juga berpengaruh secara signifikan untuk meminimalkan terjadinya cacat *warpage* pada produk berbahan plastik.

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas untuk mendapatkan parameter proses yang paling berpengaruh terhadap analisis cacat *sink mark* adalah Waktu tahan (*holding time)* atau tekanan tahan (*holding pressure*)*,* tekanan injeksi (*injection pressure*), dan temperatur material (*melt temperatur*), sedangakan salah satu metode yang dapat digunakan yaitu *design of experiment* (DOE) Taguchi.

2.2 Dasar teori

2.2.1 Plastik *High Density Polyetilene* (HDPE)

Polietilen high density (HDPE) termasuk dalam kategori *crystalline material,* HDPE adalah polimer termoplastik *linear* yang terbentuk dengan proses katalitik, proses katalitik yaitu sebuah proses yang berfungsi untuk mempercepat terjadinya suatu reaksi atau dalam hal ini disebut polimerisasion (pembentukan molekul plastik). HDPE dengan sedikit cabang menghasilkan struktur yang lebih rapat dengan densitas yang lebih tinggi dan mempunyai ketahanan kimia yang lebih tinggi dari pada LDPE. HDPE juga lebih kuat dan lebih tahan terhadap temperatur yang lebih tinggi. Banyak yang memilih HDPE dalam penelitian karena mempunyai kelebihan dibandingkan dengan LDPE.

Kebanyakan aplikasi HDPE dipadukan dengan zat aditif yang diperlukan untuk memperbaiki sifat-sifat HDPE. Bahan aditif tersebut berupa zat-zat dengan berat molekul rendah yang dapat berfungsi sebagai *filler*, pewarna, antioksidan, penyerap sinar ultraviolet, anti lekat dan lain-lain (Yatim, 2009). HDPE mempuyai densitas 950 kg/m^3 yang biasa dan sering dipakai untuk kemasan jerigen minyak pelumas, botol susu yang berwarna putih, kursi lipat, dan lain-lain (Suyadi, 2010).

HDPE dapat didaur ulang, dan memiliki nomor 2 pada simbol daur ulang seperti pada (Gb. 2.1) berikut :

Gambar 2.1 Simbol daur ulang plastik HDPE (al-atsariyyah.com)

Berikut Tabel 2.1 dan 2.2 tentang karakteristik HDPE dan sifat fisika, kimia, mekanika HDPE (Sitepu.I.W 2009)

Tabel 2.1 Karakteristik HDPE (Sitepu.I.W, 2009)

Karakteristik	Keterangan
Nama Kimia	*High Density Polyethylen*
Trade name	HDPE
Sinonim	*Polyethylen*
Rumus Molekul	$(C_2H_4)_n$
Fisik	Padat
Melting Point	100–135 ^oC / 212–275 ^oF
SpesificGravity (*at* 20^oC) (*water* =1)	0,94–0,985

Tabel 2.2 Sifat fisik, kimia, dan mekanika HDPE (Sitepu.I.W 2009)

Sifat, fisik, dan mekanik HDPE	HDPE rantai lurus
Titik leleh	125–130 ^oC
Derajat Kristalinitas	85-95 %
Berat jenis	0,95–0,96
Titik lunak	124 ^oC
Kekuatan tarik	245 kgf/cm^2
Perpanjangan	100 %

Aplikasi:

HDPE memiliki ketahan terhadap banyak larutan dan diaplikasikan secara meluas,antara lain :

1. Botol
2. *Tupperware*
3. Botol deterjen
4. Botol susu
5. *Cover hand phone*
6. Pipa ledeng
7. Tutup botol
8. Sendok / garpu
9. Tempat makanan
10. Gelas minuman

Gambar 2.2 Aplikasi produk plastik HDPE (arkan.co.id)

Material HDPE mempunyai beberapa aplikasi produk yang sering dibuat dalam industri plastik seperti yang dapat dilihat pada (Gb.2.2). Penelitian yang dilakukan salah satunya menggunakan *resin* material HDPE dari lotte chemical titan tipe *Titanvane HD5218EA*, material plastik ini sering digunakan untuk mebuat produk peralatan rumah tangga seperti piring, gelas, *stopfles*, dan juga beberapa mainan plastik dikarenakan plastik ini termasuk dalam kategori yang ramah lingkungan. *Titanvane HD5218EA* mempunyai temperatur leleh cukup tinggi yaitu antara 200^{o}C–240^{o}C (Lotte chemical titan, 2015), dengan pemrosesan normal sesuai dengan data *sheet* material *titanvane HD5218EA* yang dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan 2.4 sebagai berikut :

Tabel 2.3 *General properties* (lotte chemical titan, 2015)

General properties	Nilai	Satuan	*Test method*
Melt flow rate (90^{o}C/2.16 kg)	18	g/10min	ISO 1133
Nominal density	0,950	g/cm^3	ISO 1183
Melting point	130	^{o}C	ISO 3146

Tabel 2.3 *Mechanical properties* (lotte chemical titan 2015)

Mechanical properties	Nilai	Satuan	*Test method*
Tensile stress at yield	25	MPa	ISO/R 527
Elongation at break	250	%	ISO/R 527
Charpy impact strength	5	kJ/m^2	ISO 179
Flexural modulus	1300	MPa	ISO 178
Hardness	65		ISO 868

2.2.2 *Injection molding*

Injection molding adalah metode pembentukan material termoplastik di mana material yang meleleh karena pemanasan diinjeksikan oleh *plunger* ke dalam cetakan kemudian didinginkan oleh air sehingga mengeras. Secara umum pengertian *injection molding* adalah proses pembentukan suatu benda atau produk dari material plastik yang dipanaskan dan diinjeksikan kedalam cetakan atau *mold*. *Mold* plastik pada prinsipnya adalah suatu alat (*tool*) yang digunakan untuk membuat komponen–komponen dari material plastik dengan mesin injeksi plastik. Faktor yang paling berpengaruh dalam proses *injection molding* yaitu luas penampang, ketebalan, tuntutan ukuran (toleransi) yang sesuai dan pemilihan material (Oktaviandi, 2012).

2.2.3 Bagian-bagian mesin *injection molding*

Pada mesin *injection molding* terdapat beberapa bagian utama yang berperan penting pada saat proses pembuatan produk plastik, adapun pada mesin *injection molding* di bagi menjadi tiga garis besar yaitu :

1. *Clamping unit*

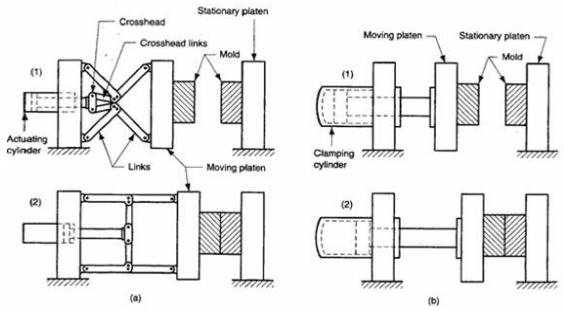
Clamping unit berfungsi untuk memegang dan mengatur gerakan dari mold unit, serta gerakan *ejector* saat melepas benda/produk dari *molding unit*, pada *clamping unit* bisa mengatur berapa panjang gerakan *mold* saat di buka dan berapa panjang ejektor harus bergerak (Ajis, 2010).

Ada empat macam *clamping unit* namun yang dipakai pada umumnya hanya dua macam, yaitu *toggle clamp*, dan hidrolik *clamp*, 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.
c. *Hydromechanical clamp* yaitu *clamping system* yang menggunakan penggabungan tenaga *Toggle clamp* dengan *Hydraulic clamp* untuk meningkatkan kecepatan kerja mesin.

d. *Hydroelectrical clamp* yaitu *clamping system* yang menggunakan penggabungan antara system hidrolik dan elektrik.

Pada (Gb. 2.3 a dan b) berikut adalah jenis dari *clamping unit.*

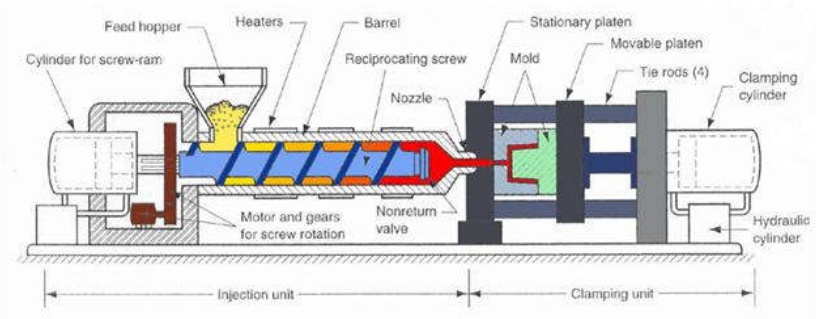


Gambar 2.3 *Clamping unit toggle clamp dan hydraulic clamp* (*sinotech.com*)

2. *Injection Unit*

Injection unit berfungsi melehkan dan memasukkan material plastik ke dalam cetak. *Injection unit* terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

Pada Gambar 2.4 berikut disebutkan gambar *injection unit*



Gambar 2.4 *Injection unit* (*sinotech.com*)

Berikut adalah beberapa bagian injection unit:

a. Motor dan *transmission gear unit*

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

b. *Hopper*

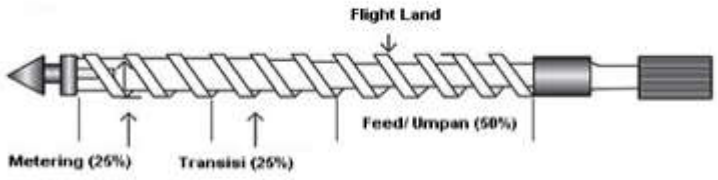
Hopper adalah tempat untuk menempatkan material plastik, sebelum masuk ke barel. Biasanya untuk menjaga kelembapan material plastik, digunakan tempat penyimpanan khusus yang dapat mengatur kelembapan, sebab apabila kandungan air terlalu besar pada udara, dapat menyebabkan hasil injeksi yang tidak bagus

c. *Barrel*

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

d. *Screw*

Screw berfungsi untuk mengalirkan plastik dari *hopper* ke *nozzle*, ketika *screw* berputar material dari *hopper* akan tertarik mengisi *screw* yang selanjutnya dipanaskan lalu didorong ke arah *nozzle*. Adapun terdapat standard *screw* dengan 3 zona yaitu zona pengisian, zona kompresi, dan zona pengisian. zona transisi (kompresi) dimana area ini merupakan tempat pelet plastik meleleh. Energi yang dibutuhkan untuk melelehkan plastik dari pergeseran (*friksi*) dan kompresi yang berasal dari putaran s*crew*,dapat dilihat pada (Gb. 2.5) berikut:



Gambar 2.5 *Standar screw dengan 3 zona* (Yuswinanto, 2016)

e. Nonreturn valve

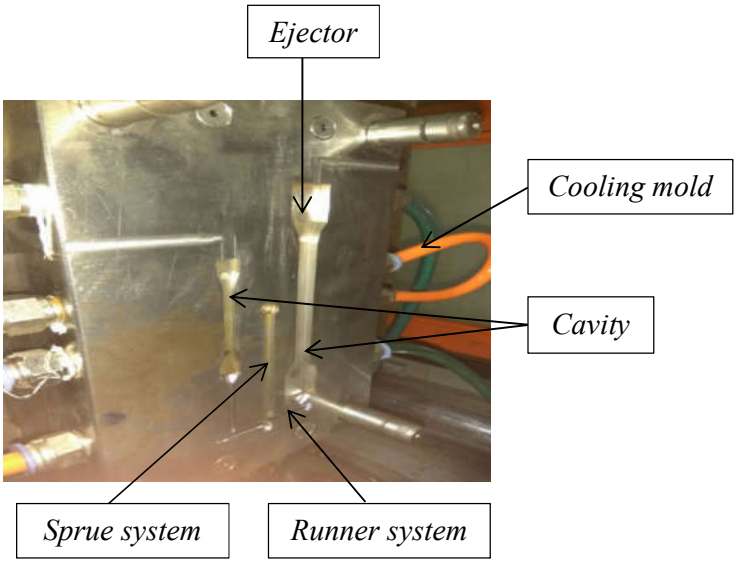
Nonreturn Valve ini berfungsi untuk menhambat atau mencegah aliran plastik yang telah meleleh agar tidak kembali ke *screw* .

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*, dan dinginkan maka terbentuklah produk plastik sesuai dengan bentuk *mold*, ada berbagai tipe *mold*, di sesuaikan dengan bentuk benda yang akan dibuat (Oktaviandi, 2012). Berikut adalah contoh (Gb. 2.6) *mold unit*



Gambar 2.6 *Mold unit*

Pada *mold unit*, secara umum terdiri dari beberapa bagian diantaranya adalah sebagai berikut :

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*

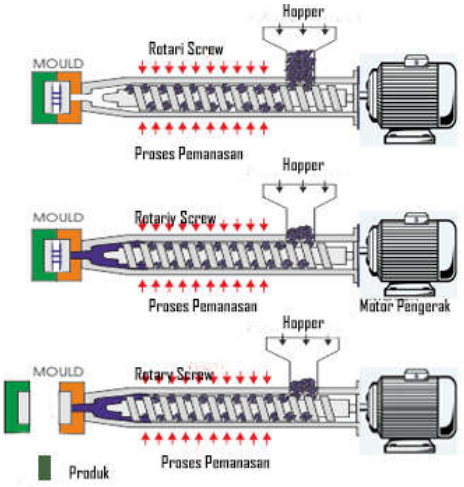
b. *Cavity side*

   Cavity side merupakan salah satu sisi *mold* yang bergerak brfungsi untuk membentuk produk plastik, *cavity side* terletak pada *stationary plate*, yaitu *plate* yang tidak bergerak saat proses *ejecting* produk plastik

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 hidrois pada bagian *clamping unit*

2.2.4 Prinsip kerja mesin *injection molding*



Gambar 2.7 Prinsip kerja mesin *injection molding*
(*wikikomponen.com*)

Dari (Gb. 2.5) diatas dapat dilihat di atas prinsip kerja *injection molding* yaitu material plastik dimasukkan ke dalam *hopper* akan terbawa oleh *srew* yang berputar kedalam *barrel*, kemudian material plastik akan dicairkan di dalam *barrel* oleh pemanas atau *heater* dengan suhu yang sudah disesuaikan. Material plastik akan mencair dan siap diinjeksi kedalam cetakan, sebelum proses injeksi *mold* akan menutup dengan tekanan tertentu dan cairan plastik diinjeksikan kedalam cetakan atau *mold*, kemudian terjadi proses holding untuk menyempurnakan produk dan menahan tekanan balik, setelah itu terjadi proses *charging* dan *cooling* yang berguna untuk pengisisan material dan pendinginan produk plastik yang berada pada cetakan. Produk plastik yang sudah didinginkan akan dikeluarkan oleh *ejector* setelah cetakan atau *mold* membuka (Wijaya, 2009).

2.2.5 Parameter Proses *Injection Molding*

Parameter yang digunakan dalalm proses *injection molding* sangat bervariasi, untuk menghasilkan suatu produk dengan kualitas yang optimal sangat diperlukan, karena beberapa pengaturan parameter yang mempengaruhi hasil dari proses produksi plastik melalui metode *injection molding* akan berpengaruh pada kualitas produk plastik (Wijaya, 2009). Adapun parameter-parameter yang berpengaruh terhadap cacat *sink mark* adalah :

a. Temperatur leleh (*melt temperature*)

   Melt temperature adalah batas temperatur dimana bahan plastik mulai meleleh apabila diberikan energi panas/perlakuan panas

b. Waktu Penekanan

   Waktu penekanan adalah durasi atau lamanya waktu yang diperlukan untuk memberikan tekanan pada *piston* yang mendorong cairan plastik. Semakin besar ukuran cetakan maka waktu penekan yang diperlukan akan semakin lama

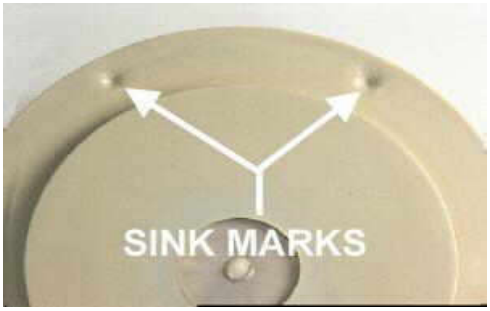
c. Waktu pendinginan (*Cooling time*)

   Cooling time adalah waktu pendinginan setelah cairan material plastik diinjeksikan ke dalam cetakan

d. Tekanan injeksi (*injection pressure*)

   Tekanan injeksi 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 2.8 Cacat *sink mark* (*plastictroubleshooter.com*)

Sink mark adalah cacat yang membentuk lekukan atau cekungan pada produk, terjadinya perbedaan ketebalan pada permukaan produk dapat disebut juga sebagai *sink mark*. Fenomena *sink mark* ini sering menjadi masalah apabila produk yang dihasilkan harus memperlihatkan kualitas penampilan, sehingga dapat dikatakan bahwa *sink mark* termasuk cacat produk yang terbentuk di permukaan dan mengakibatkan menurunnya kualitas peroduk yang dihasilkan. (Sutiawan, 2013).

Penyebab :

a) Temperatur barel 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
b) Kekosongan yang terjadi, semakin besar derajat penyusutannya dan *sink mark* terbentuk semakin besar.
c) 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.
d) Pembukaan cetakan terlalu cepat sehingga waktu pendinginan menjadi kurang.

Cara mengatasi :

a) Penambahan *cycle time*
b) Penambahan *holding pressure*
c) Penambahan *volume injeksi*
d) Penambahan *injection pressure*

2.2.7 Metode *Design of Experiment* (DOE) Taguchi

Metode Taguchi adalah sebuah metode statistik yang dikembangkan oleh Genichi Taguchi untuk meningkatkan kualitas dari hasil produksi *manufaktur* dan *engineering.* Metode ini melibatkan reduksi variasi dari proses melalui desain dari

eksperimen. Tujuan utama dari metode ini adalah memproduksi produk yang *high quality* dengan *cost* yang sangat 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 dianalisisa untuk menentukan seberapa besar pengaruh dari peningkatan atau penurunan kualitas dari parameter yang digunakan (Soejanto, 2009).

Desain ekperimental atau DOE yang diperkenalkan oleh Taguchi ini melibatkan *orthogonal arrays* untuk mengelompokkan parameter-parameter yang berpengaruh pada proses dan tingkatan-tingkatan yang perlu diberi variasi. Dengan metode *design of experiment* dapat mengkombinasi antara faktor–faktor dan variabel yang berpengaruh untuk meningkatkan kualitas produk. Hal ini dikarenakan *design of experiment* mengumpulkan beberapa faktor dan variabel untuk mendapatkan komposisi parameter yang paling tepat, sehingga dengan menggunakan metode *design of experiment* dan metode taguchi bisa mendapatkan variasi parameter proses yang paling optimal untuk meningkatkan kualitas produk (Oktaviandi, 2012).

Pada 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).