

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Oktaviandi, (2012) melakukan penelitian tentang analisa pengaruh parameter tekana dan waktu penekanan terhadap sifat mekanik dan cacat penyusutan dari produk injeksi *molding* berbahan *polyethylene* (PE), yang mengemukakan bahwa parameter *holding pressure* dan *holding time* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik spesimen dan cacat *shrinkage*, dengan persentase *shrinkage* sebesar 0,96%.

Penelitian meningkatkan mutu produk plastik dengan metode Taguchi telah dilakukan oleh Hartono, (2012) dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa salah satu metode yang sering digunakan untuk meningkatkan mutu produk plastik adalah dengan metode desain eksperimen Taguchi. Dari metode DoE Taguchi dengan matrik *orthogonal array* $L_8(2^3)$ ini diperoleh komposisi terbaik untuk mencampur material guna mendapatkan kualitas yang lebih baik. Disamping itu proses cetak injeksipun, menjadi salah satu penentu hasil dari produk plastik, dengan parameter tekanan dan temperatur leleh yang tepat.

Firdaus dan Soejono, (2003) dalam penelitiannya yang membahas tentang studi eksperimental pengaruh parameter proses pencetakan bahan plastik terhadap cacat penyusutan pada benda cetak *pneumatics holder*. Berdasarkan hasil penelitian terhadap spesimen yang ada maka desain parameter proses plastik *injection molding* menentukan kualitas hasil benda cetakan khususnya produk *pneumatic holder*. Parameter yang paling signifikan berpengaruh adalah temperatur leleh.

Penelitian pengaruh suhu pemanas terhadap *shrinkage* pada proses injeksi *polypropylene* telah lakukan oleh Kristanto, Bambang, dan Ubaidillah, (2013). Mengemukakan bahwa suhu leleh dan waktu tahan pada proses injeksi plastik *polypropylene* berpengaruh signifikan terhadap cacat *shrinkage*, dengan variasi parameter suhu pemanas dan waktu tahan. Suhu pemanas yang digunakan adalah 230 °C, 240 °C, 250 °C, dan 260 °C dengan waktu tahan 20 sec, 25 sec, 30 sec. Dari

beberapa variasi parameter yang digunakan menghasilkan *shrinkage* terkecil 0,499 mm.

Aplikasi metode Taguchi pada optimalisasi parameter *injection molding* untuk manufaktur produk dari campuran plastik telah dilakukan agar dapat meningkatkan kualitas karakteristik dari *shrinkage*, dengan menggunakan metode analisis *orthogonal array* (OA), *rasio signal to noise* (S/N), dan variasi ANOVA persentase *shrinkage* dapat dianalisis. Dari penelitian yang dilakukan menghasilkan bahwa kombinasi parameter proses yang optimal adalah temperatur leleh yang rendah, tekanan injeksi yang tinggi, tekanan *holding* rendah, waktu *holding* yang lama, dan waktu pendinginan yang lama (Kamarudin et al., 2010).

Penelitian yang dilakukan oleh Lal dan Hari, (2013) mengenai optimalisasi parameter *injection molding* pada material *low density polyethylene* (LDPE). Menunjukkan bahwa parameter *cooling time*, dan *refilling pressure* menjadi parameter yang berpengaruh terhadap *shrinkage* pada material LDPE, dengan hasil persentase *shrinkage* optimum sebesar 1,25 %. Berbagai kombinasi variasi parameter yang optimal pada penelitian yang dilakukan adalah temperatur leleh 190 °C, *injection pressure* 55 Mpa, *refilling pressure* 85 Mpa, dan *cooling time* 11 sekon.

Kale dan Umesh, (2013) telah melakukan penelitian mengenai optimalisasi parameter proses dengan *injection molding* untuk meminimalkan *shrinkage* pada material *high density polyethylene* (HDPE) dengan metode DoE Taguchi, yang menghasilkan persentase *shrinkage* 0,515 %. Variasi parameter yang digunakan adalah temperatur leleh, *injection pressure*, *packing time*, *packing pressure*, dan *cooling time*. Dari beberapa parameter yang digunakan, parameter temperatur leleh merupakan parameter yang sangat berpengaruh terhadap *shrinkage*.

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas yang berpengaruh signifikan untuk mengurangi persentase *shrinkage* adalah temperatur leleh, *holding pressure*, *holding time*, *back pressure* dan *cooling time*. Oleh karena itu penelitian tentang pengaturan variasi parameter perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari variasi parameter terhadap produk plastik. Dengan menggunakan metode *design*

of experiment Taguchi menghasilkan data variasi parameter yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas produk plastik.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Plastik *Acrylonitril Butadiene Styrene* (ABS)

Acrylonitril butadiene styrene (ABS) adalah salah satu polimer organik pembentuk plastik yang terdiri dari tiga monomer pembentuk yaitu *acrylonitril*, *butadiene*, dan *styrene*. Ketiga monomer tersebut memberikan sifat tahan terhadap bahan kimia, stabil terhadap panas, sifat ketahanan pukul, sifat kuat (*toughness*), sifat kaku (*rigidity*), dan mudah diproses (Mujiarto, 2005).

Budiyantoro, (2016) beberapa *grade* pada ABS juga memiliki karakteristik yang bervariasi dari *impact resistance* rendah sampai yang tinggi dan dari kilap rendah sampai tinggi, dan beberapa sifat lanjutan jika material ABS ini di berikan penambahan zat aditif seperti tahan bahan kimia, tahan korosi, tahan sinar UV, menghambat nyala api, transparan, dan tahan panas tinggi. Material ABS *resin typical toyolac 700 314* digunakan dalam produk otomotif, produk media, produk hiburan dan aplikasi lainnya (Gb.2.1).



Gambar 2.1 Produk- produk plastik ABS (Toray industri, 2017)

Proses yang dapat dilakukan oleh material *acrylonitril butadiene styrene* (ABS) ini dengan menggunakan teknik injeksi. Sebelum dilakukan pemrosesan, material ABS perlu dikeringkan dengan temperatur tertentu. Proses pengeringan ini bertujuan untuk mengurangi kandungan air yang terdapat pada material ABS.

Adapun sifat khusus yang dimiliki material ABS resin *typical toyolac 700 314* adalah warna yang konsisten dan stabil, tahan terhadap pelapukan, dapat

mempertahankan transparansi terhadap kelembapan dan suhu tinggi, keseimbangan aliran yang baik, berkurangnya berat saat pemanasan, *impact strength* yang baik, dan baik pada kondisi cahaya tinggi (Toray plastics malaysia, 2012).

Material ABS memiliki sifat *higroskopis* dan menyerap kelembapan dalam proporsi kelembapan lingkungan. Kadar air yang terdapat pada resin ABS tergantung pada ukuran *pellet*, bentuk dari resin, kelembapan relatif udara, dan berapa lama waktu penyimpanan resin pada kondisi lembab. Pada resin ABS *toyolac* dianjurkan 0,05% - 0,1%, dan waktu pengeringan yang dianjurkan pada kondisi udara panas 80°C; 3 – 5 jam, 90°C; 2 – 4 jam (Toray plastics malaysia, 2012) .

Temperatur leleh resin ABS ini antara 230°C - 250°C, temperatur leleh ini harus sering diperiksa dan dikontrol agar tidak melebihi suhu yang telah direkomendasikan. Pengontrolan temperatur leleh bertujuan untuk mencegah terjadinya cacat penampilan dan sifat mekanik pada sebuah produk plastik yang dihasilkan. Berikut ini adalah karakteristik resin *acrylonitril butadiene styrene* (ABS) *toyolac* tipe 700 341 (Toray plastics malaysia, 2012).

Tabel 2.1 Karakteristik *acrylonitril butadiene styrene* (ABS)
(Toray plastics malaysia, 2012)

Typical Properties	Test Conditions	SI Unit	Typical Value
Physical			
Specific Gravity		-	1.05
Water Absorption	23°C x 24 hours	%	0.3
Mould Shrinkage		%	0.4 ~ 0.6
Rheological			
Melt Flow Rate	220°C / 10 kg	g/10 min	25
Mechanical			
Tensile stress at yield	at 5 mm/min	Mpa	49

Tensile strain at break	at 5 mm/min	%	35
Flexural Strength	at 3 mm/min	Mpa	76
Flexural Modulus	at 3 mm/min	MPa	2450
Rockwell Hardness	R scale	-	116
Impact			
Izod Impact Strength, notched	12.7 x 62.5 x 12.7tmm (23°C)	J/m	196
	12.7 x 62.5 x 12.7tmm (0°C)	J/m	108
	12.7 x 62.5 x 12.7tmm (30°C)	J/m	80
Izod Impact Strength, notched	12.7 x 62.5 x 3.2tmm (23°C)	J/m	212
	12.7 x 62.5 x 3.2tmm (0°C)	J/m	157
	12.7 x 62.5 x 3.2tmm (30°C)	J/m	118
Thermal			
HDT (Unannealed) 127 x 12.7 x 12.7tmm	1.82 MPa Loading, 18.56 kg/cm ²	°c	92
HDT (Unannealed) 127 x 12.7 x 6.4tmm	1.82 MPa Loading, 18.56 kg/cm ²	°c	87
Thermal Conductivity		W/K.m	0.15
Coefficient of Linear Thermal Expansion		mm/mm° C	7.1 x 10-5

Tabel 2.2 Kondisi pemrosesan pada *injection molding*.

(Toray plastics malaysia, 2012)

Temperatur Pengeringan	80 –90°C (176 –195°F) selama 2 - 5 jam.
Melt Temperature	200 –280°C (392 –536°F); Umum: 230°C (446 °F)
Mold Temperature	40°C - 80 °C (104 -176 °F).

Tekanan Injeksi	70 -140 Mpa
Kecepatan Injeksi	Sedang – Tinggi

2.2.2 Injection Molding

Produk dari bahan plastik biasanya digunakan dengan metode pemrosesan plastik seperti: *injection molding*, ekstrusi, *thermoforming*, dan *blow molding*. *Injection molding* adalah salah satu metode pembentukan suatu benda atau produk dari material plastik dengan ukuran dan bentuk tertentu menggunakan alat bantu berupa cetakan atau *molding* yang diberikan tekanan dan perlakuan panas. *Injection molding* merupakan salah satu metode yang banyak digunakan karena biaya yang dibutuhkan lebih murah dan dapat memproduksi komponen yang kecil dan rumit (Ajis, 2010).

Metode dasar pembentukan plastik *molding* bertujuan untuk mendapatkan produk yang sesuai dengan sifat – sifat fisik yang diinginkan baik dari sisi luas penampang, ketebalan, desain produk, *insert* yang panjang, dan toleransi dari sebuah produk yang harus dipenuhi. Material plastik yang digunakan juga merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam pembuatan sebuah produk plastik (Budiyantoro, 2016).

Mesin injeksi *molding* ada dua sumber energi yang menjadi penggerak untuk menjalankan sebuah mesin *injection* ini yaitu : sumber udara bertekanan yang berfungsi untuk menekan *piston* atau *plunyer*, dan sumber listrik bolak-balik sebagai sumber tenaga untuk bagian pemanas atau *heating elements* (Firdaus et al., 2003).

2.2.3 Bagian – Bagian Mesin Injection dan Fungsinya

Mesin *injection molding* terdapat bagian- bagian yang berperan penting dalam proses pembuatan produk plastik. Adapun bagian – bagian mesin injeksi dibagi menjadi tiga bagian yaitu :

1. *Clamping Unit*

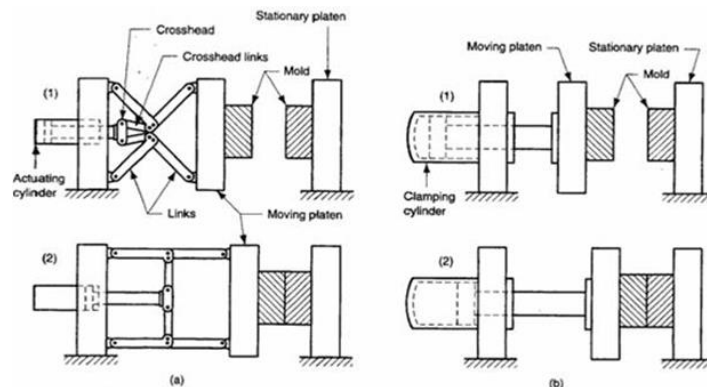
Ajis, (2010) *clamping unit* merupakan salah satu bagian dari mesin injeksi yang berfungsi untuk pencekam dua bagian *mold*, menjaga agar *mold* tetap

dalam keadaan tertutup rapat dengan bantuan tekanan *clamping* yang cukup untuk menahan tekanan injeksi, serta dapat membuka dan menutup *mold* pada saat proses injeksi berlangsung. Pada *clamping unit* terdapat gaya yang dipergunakan untuk menahan tekanan injeksi pada saat proses atau siklus injeksi berlangsung. Besarnya mesin injeksi ditentukan oleh kekuatan *clamping*, dan besarnya tekanan injeksi akan berbanding lurus dengan kekuatan *clamping*.

Pada umumnya ada empat macam *clamping unit* yang sering digunakan yaitu:

1. *Mechanical (toggle clamp)* yaitu *clamping unit* yang menggunakan sistem kerja mekanis dari *linkage* yang menghasilkan gaya untuk menahan *mold* selama proses injeksi, dan hidrolis *clamp*.
2. *Hydraulic* yaitu *clamping unit* yang menggunakan tenaga hidrolis untuk menghasilkan *clamping force*.
3. *Hydro-mechanical* yaitu *clamping force* yang dihasilkan berasal dari *toggle system* dan *hydraulic system* agar meningkatkan kecepatan kerja.
4. *Hydro-electrical* yaitu *clamping force* yang dihasilkan dari kombinasi *hydraulic* dan *electrical system*.

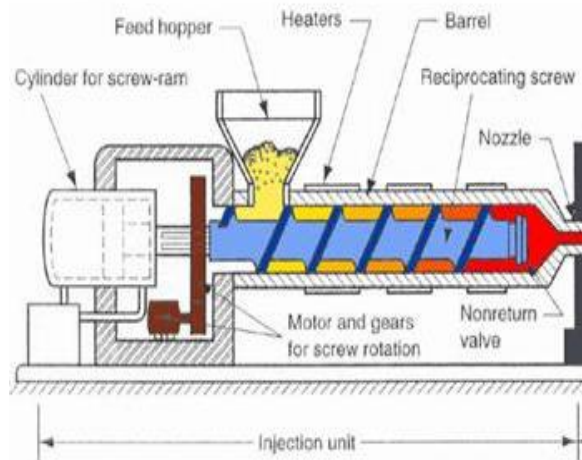
Berikut ini adalah gambar *clamping unit toggle clamp* dan *hidrolis clamp* (Gb.2.2).



Gambar 2.2 *Clamping unit toggle clamp* dan *hidrolis clamp* (Sinotech.com)

2. *Injection unit*

Injection unit berfungsi untuk melelehkan dan memasukan material plastik ke rongga cetakan atau *mold*. (Gb.2.3)



Gambar 2.3 *Injection unit* (Sinotech.com)

Injection unit terdiri dari beberapa bagian antara lain:

1. Motor dan *transmission gear unit*

Bagian ini berfungsi menghasilkan daya yang akan digunakan untuk memutar *screw*, sedangkan transmisi unit berfungsi untuk memindahkan daya dari putaran motor ke putaran *screw*, dan mengatur tenaga yang di salurkan agar pembenan tidak terlalu besar (Oktaviandi, 2012).

2. *Cylinder for screw ram*

Bagian ini berfungsi untuk menjaga putaran *screw* agar tetap konstan pada saat proses injeksi (Ajis, 2010).

3. *Hopper*

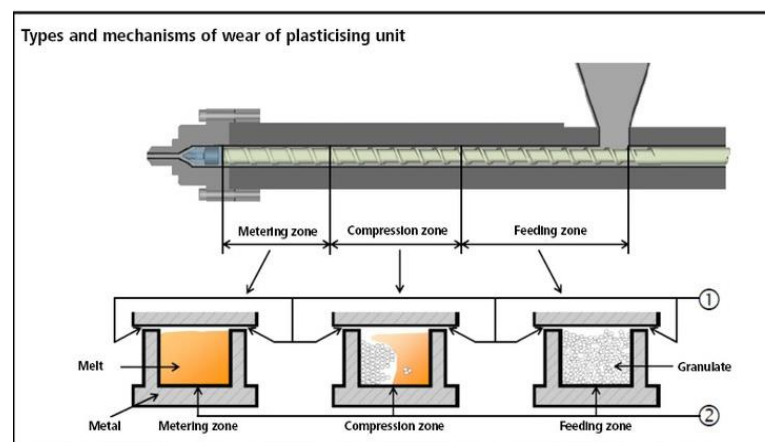
Hopper berfungsi sebagai tempat material plastik sebelum masuk ke *barrel* sekaligus untuk menjaga kelembapan dari material plastik, sehingga saat produk –produk yang dihasilkan akan optimal (Oktaviandi, 2012).

4. *Barrel*

Barrel yang berfungsi sebagai tempat material plastik yang sudah mencair. *Cylinder barrel* memiliki elemen pemanas yang disebut *heater*. Temperatur panas pada *barrel* dapat disesuaikan dengan material yang akan digunakan pada proses injeksi (Oktaviandi, 2012).

5. *Screw*

Winanto, (2016) *screw* yang berfungsi untuk mencampur material polimer, dan berfungsi sebagai *piston* untuk mendorong material plastik cair ke dalam rongga cetakan. *Screw* pada *barrel* dibagi menjadi tiga zona yaitu zona pengisian (*metering*), zona kompresi, dan zona pengumpan (*feeding*). Zona kompresi merupakan tempat dimana material plastik meleleh. Energi yang terdapat pada zona kompresi berasal dari pergeseran material (*friksi*) dan kompresi yang berasal dari putaran *screw*. (Gb.2.4.)



Gambar 2.4 Standar *screw* dengan 3 zona (Sumitomo-shi-demag.eu)

6. *Non return valve*

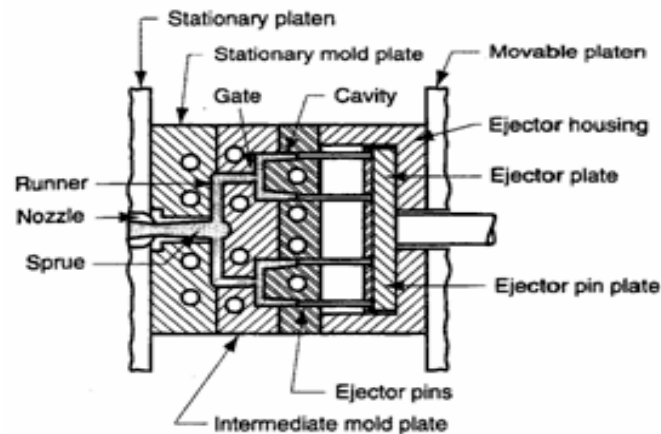
Valve ini berfungsi menghambat plastik cair agar tidak kembali ke *barrel*. *Valve* ini akan membuka pada saat proses pengisian material untuk proses injeksi berikutnya (Budiyantoro, 2016).

7. *Nozzel*

Nozzel berfungsi sebagai penahan kebocoran / *sealing*, dan penghubung antara cetakan dengan injeksi unit. Ketika *nozzel* menyempit akan mempertinggi kecepatan yang dihasilkan (Wijaya, 2009).

3. *Mold Unit*

Mold unit merupakan bagian yang terpenting pada mesin injeksi, *mold* memiliki fungsi utama yaitu untuk membentuk atau mencetak sebuah produk, bentuk dan ukuran dari suatu produk sangat bergantung pada cetakan yang digunkana pada proses injeksi (Ajis, 2010). (Gb.2.5)



Gambar 2.5 *Mold unit* (Sinotech.com)

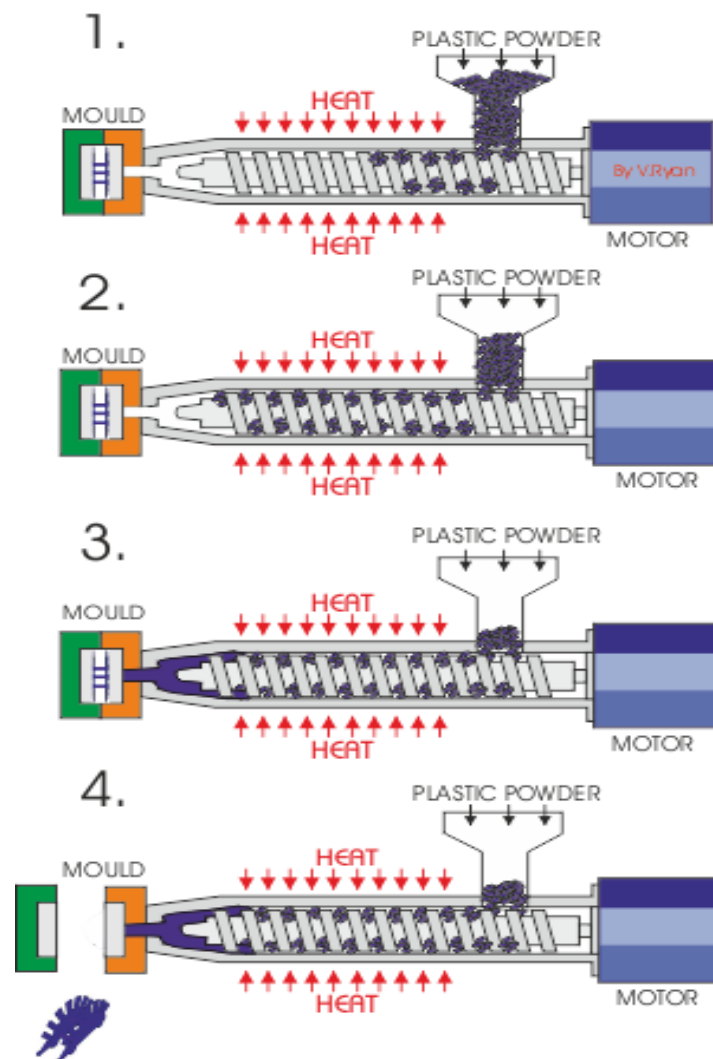
Mold unit terdiri dari 4 bagian utama yaitu : *Sprue* dan *Runner System* merupakan saluran yang digunakan untuk memasukkan material plastik cair ke rongga cetakan , *Cavity Side* yaitu bagian *mold* yang membentuk produk plastik yang terletak *distationary plate*, *core side* merupakan bagian yang memberikan bentuk pada produk plastik yang terletak *dimoving plate*, dan *ejector system* bagian ini berfungsi untuk melepas atau mengeluarkan produk dari *cavity mold* (Oktaviandi, 2012).

2.2.4 Prinsip Kerja *Injection Molding*

Wijaya, (2009) prinsip kerja dari mesin *injection molding* baik dengan tonase yang kecil maupun tonase besar adalah sama. Berikut ini adalah prinsip kerja mesin *injection molding*: (Gb.2.6)

1. Start dengan posisi awal *mold* terbuka
2. Proses *close clamping mold* dengan bagian sisi *core* mendekati sisi *cavity* dari keadaan terbukan.
3. Setelah posisi *mold* tertutup rapat dengan tekanan tinggi maka unit injeksi bergerak maju mendekati *mold* hingga *nozzel* bersentuhan dengan *sprue bursh*.
4. Proses injeksi pengisian dengan menyuntikan plastik cair ke dalam *mold*. Pada proses ini silinder injeksi bekerja hingga mendorong *screw*.

5. Proses *holding* injeksi untuk menyempurnakan hasil produk dan menahan tekanan balik.
6. Proses *charging* dilakukan untuk mengisi ulang material plastik untuk siklus injeksi berikutnya sekaligus mendinginkan material yang telah diinjeksi.
7. Cetakan membuka, pada proses ini cetakan bergerak membuka dan mengembalikan ke tekanan normal pada sistem hidrolik, kemudian dilanjutkan dengan gerakan pin *ejector* untuk mengeluarkan produk plastik.



Gamabar 2.6 Prinsip kerja *injection molding* satu siklus
(*Technologystudent.com*)

2.2.5 Parameter Proses Injection Molding

Untuk menghasilkan suatu produk dengan kualitas yang optimal, maka diperlukan beberapa pengaturan parameter yang mempengaruhi jalannya proses produksi plastik melalui metode *injection molding*. Adapun parameter-parameter yang berpengaruh untuk mengurangi persentase *shrinkage* adalah :

a. Temperatur leleh (*melt temperature*)

Adalah batas temperatur panas dimana material plastik mulai meleleh (Wijaya, 2009).

b. *Holding pressure*

Adalah tekanan yang diperlukan untuk menahan saat proses injeksi. *Holding pressure* bertujuan untuk pemampatan produk sehingga produk bisa rata dan padat terutama produk – produk yang tebal dan mempunyai rib yang tebal (Wijaya, 2009).

c. *Injection pressure*

Adalah tekana yang diperlukan untuk menginjeksi material plastik ke dalam cetakan (Firdaus, 2002).

d. *Cooling time*

Adalah waktu pendinginan setelah material di injeksikan ke cetakan, yang bertujuan untuk mendinginkan material atau produk plastik pada cetakan (Wijaya, 2009).

e. *Back pressure*

Adalah tekanan yang dilakukan untuk menahan mundurnya *screw* dalam keadaan berputar saat pengambilan material atau proses *plastizing*. Yang berfungsi untuk *mixing* material dan menghilangkan udara yang ikut ketika proses *charging* (Wahyudi, 2016).

2.2.6 *Shrinkage*

Shrinkage merupakan salah satu cacat yang sering kali kita dapatkan pada produk plastik. *Shrinkage* akan timbul apabila terjadi perubahan *densitas* dari temperatur proses ke temperatur ruangan, cacat *shrinkage* tidak bisa kita hilangkan tetapi dapat *dieliminir* atau dikurangi prosentasenya dalam sebuah

produk. Material plastik dari bahan semi kristal akan lebih besar nilai *shrinkage*nya dibandingkan dengan bahan *amorphous* (Firdaus et al., 2003).

Penyusutan yang terjadi pada proses *injection molding* terbagi menjadi dua macam yaitu *molding shrinkage* adalah perbedaan ukuran antara produk yang dihasilkan dengan ukuran cetakan, dan *post shrinkage* adalah penyusutan ukuran produk setelah di bentuk, dalam kurun waktu penyimpanan, atau kurun waktu pemakaian (Budiyantoro, 2016).

Nilai *shrinkage* biasanya ditunjukkan dalam satuan %, rumus yang dapat digunakan untuk mengukur nilai *shrinkage* adalah :

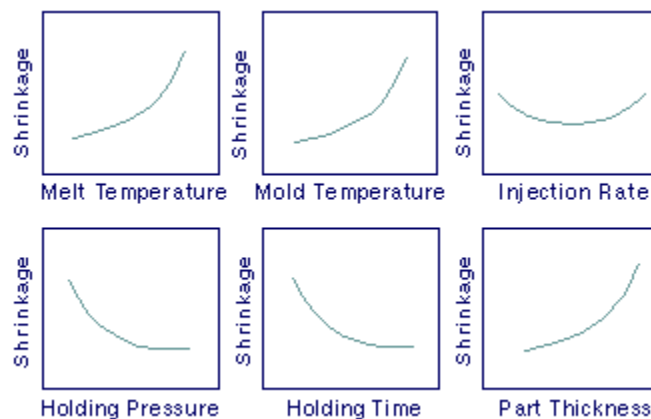
$$S = \frac{Lm - Lp}{Lm} \times 100 (\%)$$

S : Nilai *Shrinkage*

Lm : Panjang Ukuran Cetakan

Lp : Panjang Ukuran Produk

Oktaviani, (2013) pada saat proses pembentukan plastik dengan menggunakan *injection molding* ada empat faktor yang harus diperhatikan, yaitu temperatur *mold*, temperatur leleh, tekanan injeksi, dan tekanan *holding*. (Gb.2.7)



Gambar 2.7 Faktor yang mempengaruhi *shrinkage* (Cnmould.com)

Penyebab *shrinkage* pada produk plastik:

- a) Tekanan *holding* yang terlalu rendah mengakibatkan produk yang dihasilkan tidak padat dan terdapat cekungan atau lekukan pada bagian permukaan produk sehingga menyebabkan penyusutan berlebih.

- b)Cepatnya waktu tahanan mengakibatkan produk plastik tidak terbentuk secara sempurna.
- c)Perbedaan ketebalan dinding cetakan mengakibatkan terjadinya penyusutan.
- d)Pembukaan cetakan terlalu cepat sehingga waktu pendinginan menjadi kurang.

Cara untuk mengatasi *shrinkage* pada produk plastik yaitu dengan mengatur parameter proses secara optimal seperti menaikkan tekanan *holding*, penambahan *holding time*, penambahan *cooling time*, dan mendisain *mold* secara khusus dengan memperhitungkan nilai *shrinkage* yang terdapat pada material plastik. Dibawah ini merupakan tabel besarnya *shrinkage* untuk beberapa jenis material plastik.

Tabel 2.3. Persentase *shrinkage* pada material plastik (Firdaus et al., 2003).

No	Jenis Material	Shrinkage (%)
1	ABS	0,4 - 0,9
2	PS	0,4 - 0,7
3	AS	0,2 - 0,7
4	EVA	0,7 - 2,0
5	PP	1 - 2,5
6	HDPE	2 – 6
7	PMMA	0,1 - 0,4
8	PET	0,2 - 0,4
9	PC	0,5 - 0,7
10	POM	2 - 2,5

2.2.7 Metode *Design of Experiment* (DoE) Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk merencanakan atau memperbaiki kualitas produk dan proses secara bersamaan agar menghasilkan produk-produk yang berkualitas tinggi dengan cepat dan biaya rendah. Taguchi mengembangkan sebuah metode desain

eksperimen agar dapat mengevaluasi secara serentak faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses dan karakteristik produk dengan level yang divariasi, hasil dari kombinasi tersebut dianalisa untuk menentukan seberapa besar peningkatan atau penurunan kualitas dari parameter yang digunakan (Soejanto, 2009).

Metode DoE Taguchi menggunakan seperangkat *matriks* khusus yang disebut *matriks ortogonal*. *Matriks* ini merupakan langkah untuk mengelompokan faktor-faktor yang berpengaruh pada proses dan level-level yang divariasi sehingga diharapkan dapat memperoleh kualitas yang baik, serta menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin dari semua faktor yang mempengaruhi parameter. Pengolahan data yang terdapat pada metode DoE Taguchi meliputi pengumpulan data (Soejanto, 2009).

Pada metode DoE tiap langkah dalam percobaan atau tindakan dapat teridentifikasi sedemikian rupa sehingga informasi yang diperlukan dalam persoalan yang sedang diteliti dapat terkumpul. Data – data yang diperoleh dari metode DoE merupakan data yang semestinya diperlukan dalam sebuah penelitian sehingga akan memberikan analisa dan kesimpulan yang objektif. Metode DoE ini menetapkan aturan perlakuan pada setiap unit percobaan sehingga membuat perbandingan antar kelompok validitas tinggi, dan dapat mengontrol variasi percobaan. Untuk mengkombinasikan suatu variasi terhadap level yang sudah ditentukan, metode ini menggunakan bantuan *software minitab* (Oktaviandi, 2012).