

OPTIMALISASI PARAMETER PROSES INJEKSI PADA ABS RECYCLE MATERIAL UNTUK MEMPEROLEH SHRINKAGE LONGITUDINAL DAN TRANVERSAL MINIMUM

M. Puji Ibnu Mimbar Maulana^{1,a}, Cahyo Budiyanoro^{1,b}, Harini Sosiati^{1,c}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

^aibnum73@gmail.com, ^bcahyo_budi@umy.ac.id, ^chsosiati@ft.umy.ac.id

Abstrak

Injection molding merupakan proses pembentukan material plastik kedalam *mold* dengan tekanan dan perlakuan panas. Pada *injection molding* terjadi *processing shrinkage* yang mengakibatkan menurunnya kualitas produk plastik yang dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan kualitas produk dengan mengoptimalkan parameter proses yang berpengaruh terhadap *shrinkage* pada material plastik daur ulang *acrylonitril butadiene styrene (ABS)* . Penelitian ini menggunakan metode *design of experiment (DOE) Taguchi* , untuk mengkombinasikan parameter proses, sehingga mendapatkan data parameter proses optimal terhadap *shrinkage* . Hasil dari penelitian ini, *shrinkage* yang paling optimal pada arah *longitudinal* sebesar 0,28 %, *transversal* 0,77 %, dengan variasi parameter proses *holding pressure* 90 bar, *holding time* 3,25 sekon, *cooling time* 20 sekon, *back pressure* 10 bar, dan temperatur leleh 205 °C.

Kata kunci: *Shrinkage, injection molding, ABS, metode DOE Taguchi*

1. Pendahuluan

Material plastik mulai banyak diminati masyarakat. Selain disebabkan oleh faktor kebutuhan yang menuntut efisiensi dan kualitas tinggi, juga disebabkan perkembangan teknologi rekayasa maupun teknologi manufaktur plastic, seperti memproduksi produk plastik dengan dimensi yang lebih kompleks (Firdaus, 2002). Perkembangan teknologi pada industri manufaktur plastik memicu penelitian untuk menghasilkan produk dengan kualitas tinggi. Peningkatan mutu pada produk plastik menjadi salah satu bagian terpenting dalam persaingan pasar yang kompetitif. Optimalisasi parameter proses sering dilakukan dalam industri manufaktur plastik yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas pada produk yang dihasilkan. Untuk meningkatkan kualitas produk plastik diperlukan pengaturan variasi parameter yang tepat (Kavade, 2012).

Kale et al., (2013) telah melakukan penelitian mengenai optimalisasi parameter proses *injection molding* untuk meminimalkan *shrinkage* pada material *high density polyethylene (HDPE)* dengan metode DOE Taguchi, yang menghasilkan *shrinkage* 0,515 %. Variasi parameter yang digunakan adalah temperatur leleh, *injection pressure* , *packing time* , *packing pressure* , dan *cooling time* . Dari beberapa parameter yang digunakan, temperatur leleh merupakan parameter yang sangat berpengaruh terhadap *shrinkage* . Penelitian yang dilakukan oleh Lal et al., (2013) mengenai optimalisasi parameter *injection molding* pada material *low density polyethylene (LDPE)* , menyatakan bahwa parameter *cooling time* , dan *refilling pressure* menjadi parameter yang berpengaruh terhadap *shrinkage* pada material LDPE, dengan hasil *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.

Dua penelitian di atas menggunakan material HDPE dan LDPE, sedangkan penelitian yang menggunakan material daur ulang ABS belum banyak dilakukan, sehingga penelitian tentang optimalisasi parameter proses injeksi pada material ABS *recycle* perlu dilakukan. Selain itu material daur ulang ABS belum banyak dimanfaatkan sedangkan ketersediaan material daur ulang ABS sangatlah melimpah, seperti penggunaan material daur ulang ABS di perusahaan manufaktur astra yang hanya dimanfaatkan sebesar 0,28 % dari 52110 gram bahan daur ulang ABS, pada periode Januari – Juni tahun 2015 (Neilinda, 2015). Maka dari itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memberikan informasi mengenai besarnya *shrinkage* pada material daur ulang ABS yang diharapkan dapat meningkatkan penggunaan material daur ulang ABS pada industri manufaktur plastik.

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk mengkombinasikan variasi parameter terhadap level yang ditentukan dengan menggunakan metode *design of experiment* Taguchi dan material yang digunakan adalah material daur ulang ABS toyolac 700-341. Beberapa parameter yang digunakan adalah *holding pressure* , *holding time* , *back pressure* , *cooling time* , dan temperatur leleh. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan atau rekomendasi untuk pembuatan produk plastik dengan proses *injection molding* , agar menghasilkan produk yang berkualitas.

2. Dasar Teori

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 (Iman 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 diberikan penambahan zat aditif seperti tahan bahan kimia, tahan korosi, tahan sinar UV, menghambat nyala api, transparan, dan tahan panas tinggi. 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 diudara, dan berapa lama resin itu terkena. 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 ABS (*Acrylonitril Butadiene Styrene*) *toyolac* tipe 700 341 (Toray plastics malaysia, 2012).

Injection 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, 2010).

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).

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

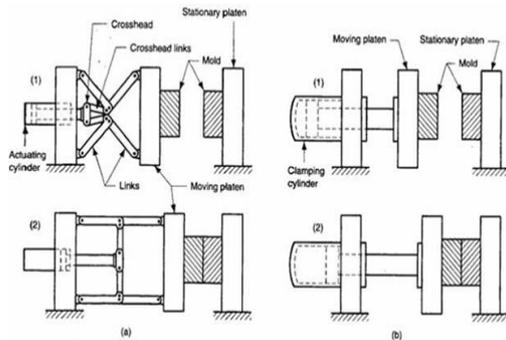
1. Clamping Unit

Ajis, (2010) *clamping unit* merupakan salah satu bagian dari mesin injeksi yang berfungsi untuk pengekam dua bagian *mold*, menjaga agar *mold* tetap dalam keadaan tertutup rapat dengan bantuan tekanan *calmping* 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:

- a. *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*.
- b. *Hydraulic* yaitu *clamping unit* yang menggunakan tenaga hidrolis untuk menghasilkan *clamping force*.
- c. *Hydro-mechanical* yaitu *clamping force* yang dihasilkan berasal dari *toggle system* dan *hydraulic system* agar meningkatkan kecepatan kerja.
- d. *Hydro-electrical* yaitu *clamping force* yang dihasilkan dari kombinasi *hydraulic dan electrical system*.

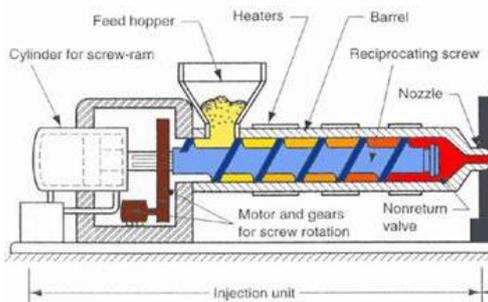
Berikut ini adalah gambar *clamping unit toggle clamp* dan *hidrolik clamp* (Gb.1).



Gambar 1. Clamping unit toggle clamp dan hidrolik clamp (Sinotech.com)

2. Injection unit

Injection unit berfungsi untuk melelehkan dan memasukan material plastik ke rongga cetakan atau *mold*.(Gb.2)

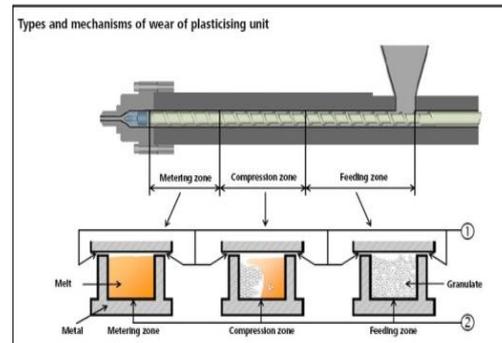


Gambar 2. Injection unit (Sinotec.com)

Injection unit terdiri dari beberapa bagian antara lain:

- a. 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 pembedan tidak terlalu besar (Oktaviandi, 2012).
- b. *Cylinder for screw ram*
 Bagian ini berfungsi untuk menjaga putaran *screw* agar tetap konstan pada saat proses injeksi (Ajis, 2010).
- c. *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).
- d. *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).
- e. *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*. Berikut adalah gambar *screw* dengan 3 zona (Gb.3)

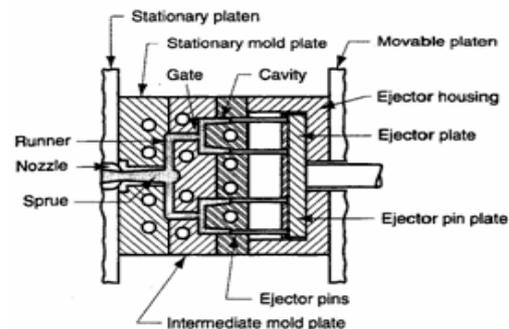


Gambar 3. Standar *screw* dengan 3 zona (Sumitomo-shi-demag.eu)

- f. *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).
- g. *Nozzel*
Nozzel berfungsi sebagai penahan kebocoran / *sealing*, dan penghubung antara cetakan dengan injeksi unit. Ketika *nozzel* menyempit akan mempengaruhi 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 digunakan pada proses injeksi (Ajis, 2010). Gambar *mold* dapat dilihat pada (Gb.4).



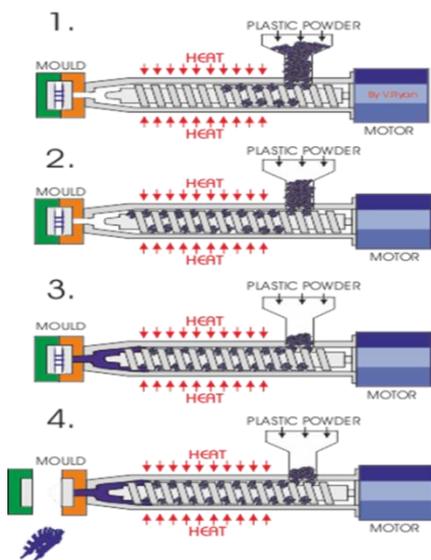
Gambar 4. *Mold* unit (Sinotec.com).

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* :

1. Start dengan posisi awal *mold* terbuka
2. Proses *close clamping mold* dengan bagian sisi *core* mendekati sisi *cavity* dari keadaan terbuka.
3. Setelah posisi *mold* tertutup rapat dengan tekanan tinggi maka unit injeksi bergerak maju mendekati *mold* hingga *nozzle* 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.



Gambar 5. Prinsip kerja *injection molding* satu siklus (Technologystudent.com)

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 persentasenya dalam sebuah produk. Material plastik dari bahan semi kristal akan lebih besar nilai *shrinkagenya* di bandingkan 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, 2010).

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

$$S = \frac{Lm - Lp}{Lm} \times$$

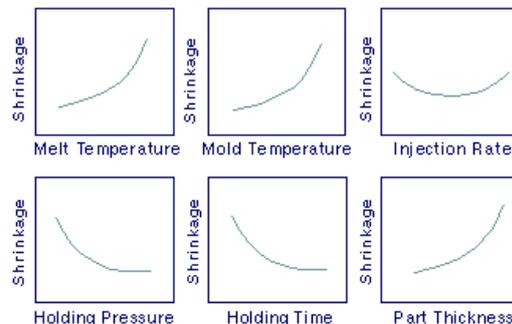
100(%).....(pers.1)

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.6).



Gambar 6. Faktor yang mempengaruhi *shrinkage* (Cnmould.com)

Cara untuk mengatasi *shrinkage* pada produk plastik yaitu dengan mengatur parameter proses secara optimal seperti Penambahan 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.

Metode Design of Experiment (DOE) Taguchi

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).

3. Metodologi

Alat dan Bahan

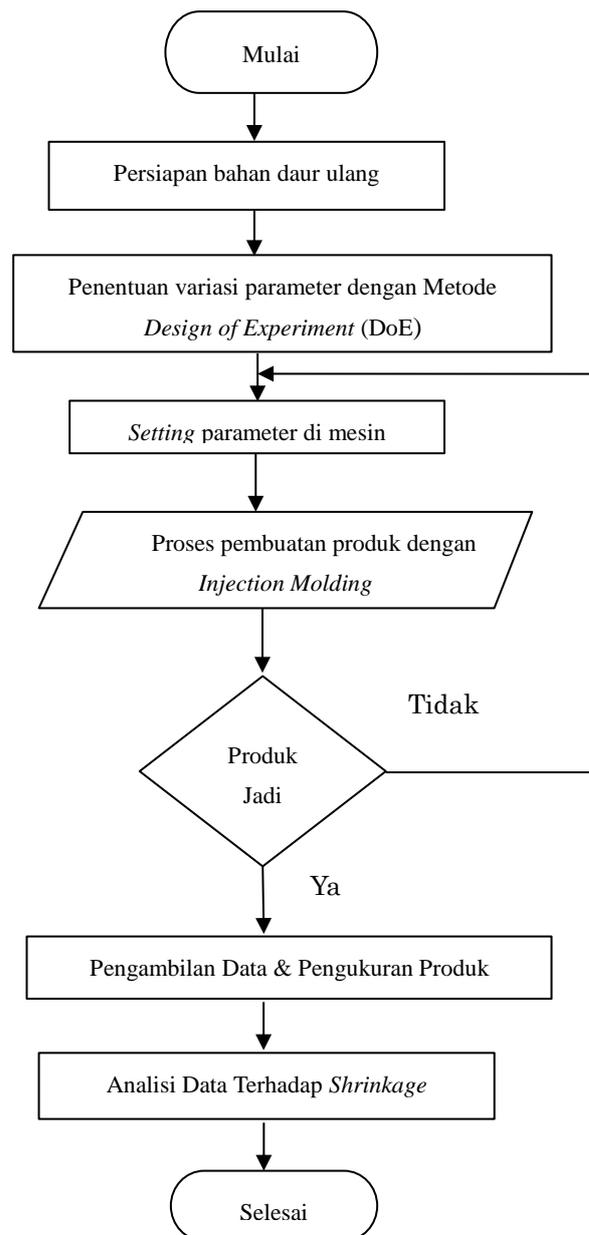
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah ABS daur ulang toyolac 700 341.



Gambar 7. ABS daur ulang

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: mesin *injection molding*, *minitab*, *mold release*, *hairdryer*, tabung *drying*, jangka sorong, *micrometer*, *thermo infrared*, kunci inggris, dan kunci L / *hex*.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 8. Diagram alir penelitian

Metode Design Of Experiment (DOE)

Pada penelitian ini metode DoE, digunakan untuk menentukan data variasi parameter proses injeksi, dan pegumpulan data *setting* parameter yang berpengaruh terhadap *shrinkage*. Variasi parameter yang berpengaruh pada *shrinkage* yaitu temperatur leleh, *holding pressure*, *holding time*, *back pressure*, dan *cooling time*.

Menentukan Parameter Proses

Besarnya nilai pada setiap level parameter proses yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari data *sheet* material ABS resin *typical toyolac 700 314* dan perhitungan secara teoritis:

1. Data *sheet typical injection molding conditions* pada material ABS *toyolac* resin dapat dilihat pada Tabel

Tabel 1. *Typical injection molding conditions* ABS *toyolac* resin (Toyolac Malaysia Plastik, 2012).

Typical Injection Molding Conditions ABS Toyolac Resin	
Toyolac Resin	
Barrel Temperatures :	
Rear	210° – 220°C
Middle	220°C – 240°C
Front	230°C – 240°C
Nozzle	230°C – 240°C
Melt Temperature	200°C - 250°C
Mold Temperatur	25 °C - 80°C
Injection Pressure	Min. Injection Pressure + 0,89 Mpa
Holding Pressure	50 - 75 % dari <i>hydraulic pressure</i>
Holding Time	13 sec
Back Pressure	40-80 Bar
Injection Speed	Medium

2. Penentuan level *back pressure*
Back pressure yang disarankan untuk material ABS yaitu 40 – 80 Bar, akan tetapi pada penelitian yang dilakukan *back pressure* yang digunakan 10 – 20 Bar, dikarenakan pada *pressure* 10 Bar produk plastik sudah memperoleh bentuk yang sesuai dengan desain sehingga pada penelitian yang dilakukan lebih memilih menggunakan *back pressure* parameter 10 -20 Bar.
3. Perhitungan *hydraulic pressure*
 Dikarenakan mesin yang digunakan menggunakan *hydraulic pressure* maka perlu dikakukan perhitungan secara teoritis untuk mengetahui besarnya *hydraulic pressure* dengan menggunakan rumus seperti berikut (Budiyantoro, 2016):

$$Ph = \frac{Ps \times As}{Ah} \dots\dots\dots (2)$$

Ph : *Pressure Hydraulic* (Bar)
 Ps : *Pressure Screw* atau *injection pressure*

(Bar)
 As : Luas *Screw* (mm²)
 Ah : Luas *Hydraulic* (mm²)
 Diketahui :
 Ps : 650 Bar
 As : 28 mm²
 Ah : 140 mm²

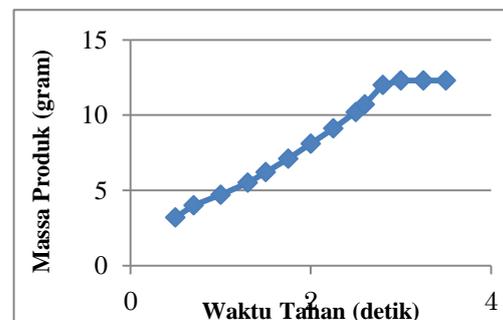
$$Ph = \frac{650 \text{ bar} \times 28 \text{ mm}^2}{140 \text{ mm}^2} = 130 \text{ Bar}$$

Hydrolic pressure minimum yang dapat digunakan pada penelitian menggunakan material ABS yaitu 130 Bar.

4. Penentuan level *holding pressure*
 Berdasarkan material yang digunakan *holding pressure* yang dapat dijadikan acuan parameter *setting* pada penelitian ini adalah 50 – 75 % (Toyolac malaysia plastik, 2012) dari *hydrolic pressure*. Dari perhitungan teoritis *hydrolic pressure* yang diperoleh 130 bar, maka *holding pressure* yang dapat digunakan sebesar 65 bar – 97,5 Bar.
5. Penentuan level *holding time*
 Untuk menentukan parameter *holding time* yang dapat digunakan pada penelitian ini, dilakukan *trial* produk. Data *trial* produk terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data *trial* produk untuk parameter *holding time*.

Massa Produk	Gram	Holding Time	Sekon
M1	3,2	t ₁	0,5
M2	4	t ₂	0,7
M3	4,7	t ₃	1
M4	5,5	t ₄	1,3
M5	6,2	t ₅	1,5
M6	7,1	t ₆	1,75
M7	8,1	t ₇	2
M8	9,1	t ₈	2,25
M9	10,2	t ₉	2,5
M10	10,7	t ₁₀	2,6
M11	12	t ₁₁	2,8
M12	12,3	t ₁₂	3
M13	12,3	t ₁₃	3,25
M14	12,3	t ₁₄	3,5



Gambar 9. *Sealing point* pada *holding time*.

Berdasarkan trial produk dengan *holding time* parameter didapatkan *sealing poin holding time* pada 3 sekon. Maka dari itu pada penelitian yang dilakukan menggunakan *holding time* 3 sekon dan divariasikan ketiga level.

- Perhitungan *Cooling Time*
 Untuk mengetahui lamanya *cooling time* yang akan digunakan pada setting parameter dilakukan perhitungan parameter *cooling time* secara teoritis dengan menggunakan rumus seperti berikut (Budiyantoro, 2016):

$$S = \frac{-t^2}{2 \times \pi \times \alpha} \text{Log}_e \left[\frac{\pi}{4} \times \frac{(Tr - Tm)}{(Tc - Tm)} \right] \dots \dots \dots (\text{Per.3})$$

S : *Cooling Time* minimum (sekon)
 t : Tebal Part (mm)
 α : *Thermal Diffusivity* Bahan (mm^2/s)
 Tr : *Ejection* Temperatur dari Part ($^{\circ}\text{C}$)
 Tm : Suhu *Mold* ($^{\circ}\text{C}$)
 Tc : Suhu Silinder ($^{\circ}\text{C}$)

Diketahui :
 t : 4 mm (tebal produk yang dihasilkan)
 α : 0,1156 mm^2/s (*thermal diffusi* pada material ABS)
 Tr : 88 $^{\circ}\text{C}$ (diperoleh dari data *thermal ejection molding* material ABS)
 Tm : 35 $^{\circ}\text{C}$ (diperoleh dari pengukuran)
 Tc : 215 $^{\circ}\text{C}$ (suhu yang diatur pada settingan parameter barrel)

$$S = \frac{-4\text{mm}^2}{2 \times \pi \times \alpha} \text{Log}_e \left[\frac{\pi}{4} \times \frac{(88^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C})}{(215^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C})} \right]$$

S = 31,43 sekon

Cooling time minimum yang didapat dari perhitungan teoritis adalah 31,43 sekon. Pada saat waktu pendinginan 31,43 sekon waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan sebuah produk menjadi semakin lama tetapi produk yang dihasilkan sudah dalam kondisi dingin baik itu bagian permukaan maupun bagian dalam produk. Pada penelitian ini *cooling time* yang digunakan adalah 16-20 sekon, ketika waktu pendinginan 16-20 sekon bagian permukaan produk yang dihasilkan sudah dalam kondisi suhu ruangan sekitar 30 $^{\circ}\text{C}$, akan tetapi bagian dalam produk yang dihasilkan masih dalam keadaan panas. Pada saat mempercepat waktu pendinginan diharapkan dapat mempercepat waktu pemrosesan sehingga biaya operasional yang dikeluarkan akan semakin rendah.

Berikut ini besarnya nilai disetiap level yang digunakan pada penelitian.

Tabel 3. Variabel parameter dan level

Faktorial	Variabel	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	<i> Holding Pressure</i>	Bar	87	90	93
B	<i> Holding Time</i>	Detik	3	3,25	3,5
C	<i> Cooling Time</i>	Detik	16	18	20
D	<i> Back Pressure</i>	Bar	10	15	20
E	Temperatur Leleh	$^{\circ}\text{C}$	205	210	215

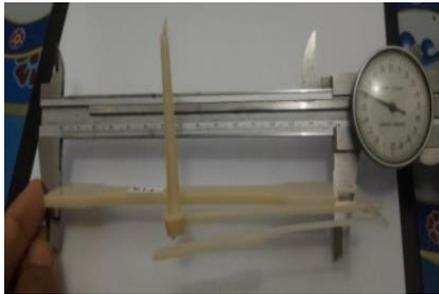
Tabel 4. Variasi Parameter

No. Percobaan	A	B	C	D	E
	<i> Holding Pressure</i>	<i> Holding Time</i>	<i> Cooling Time</i>	<i> Back Pressure</i>	Temperatur Leleh
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	3
4	1	2	2	2	1
5	1	2	2	2	2
6	1	2	2	2	3
7	1	3	3	3	1
8	1	3	3	3	2
9	1	3	3	3	3
10	2	1	2	3	1
11	2	1	2	3	2
12	2	1	2	3	3
13	2	2	3	1	1
14	2	2	3	1	2
15	2	2	3	1	3
16	2	3	1	2	1
17	2	3	1	2	2
18	2	3	1	2	3
19	3	1	3	2	1
20	3	1	3	2	2
21	3	1	3	2	3
22	3	2	1	3	1
23	3	2	1	3	2
24	3	2	1	3	3
25	3	3	2	1	1
26	3	3	2	1	2
27	3	3	2	1	3

Tahapan Pengukuran

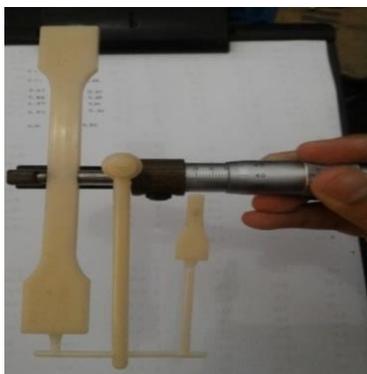
Pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui besarnya penyusutan pada bentuk dan ukuran spesimen yang telah diproduksi. Berikut ini adalah macam pengukuran yang dilakukan :

- Pengukuran *longitudinal*
 Pengukuran *longitudinal* bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai *shrinkage* pada panjang spesimen.(Gb.10.)



Gamabr 10. Pengukuran *longitudinal*

2. Pengukuran *transversal*
 Pengukuran pada daerah *transversal* dikakukan untuk memperoleh besarnya nilai *shrinkage* terukur pada daerah *transversal*. Gambar11.



Gambar 11. Pengukuran *transversal*

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengukuran *Longitudinal*

Proses pengukuran *longitudinal* menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,02 mm. Dari pengukuran yang telah dilakukan didapat hasil pada percobaan 2 memiliki nilai *shrinkage* terbesar sedangkan pada percobaan ke 13 nilai *shrinkage* yang didapat paling kecil. Berikut ini tabel hasil pengukuran:

Tabel 5 Hasil pengukuran *longitudinal* minimum

PERCOBAAN 2		
No.	<i>Longitudinal</i> (mm)	<i>Shrinkage Longitudinal</i> (%)
1	151,38	0,43409629
2	151,38	0,43409629
3	151,3	0,486714023
4	151,38	0,43409629
5	151,4	0,420941857
6	151,36	0,447250723
7	151,4	0,420941857
8	151,4	0,420941857
9	151,5	0,355169692
10	151,5	0,355169692
Rata-Rata	151,4	0,420941857

Tabel 6. Hasil pengukuran *longitudinal* optimum

PERCOBAAN 13		
No.	<i>Longitudinal</i> (mm)	<i>Shrinkage Longitudinal</i> (%)
1	151,62	0,276243094
2	151,6	0,289397527
3	151,62	0,276243094
4	151,58	0,30255196
5	151,62	0,276243094
6	151,6	0,289397527
7	151,6	0,289397527
8	151,62	0,276243094
9	151,62	0,276243094
10	151,6	0,289397527
Rata-Rata	151,608	0,284135754

Berdasarkan hasil yang didapat dari perhitungan mean, nilai rata-rata *shrinkage* terukur yang diperoleh pada percobaan ke 2 sebesar 0,64 mm dan pada percobaan ke 13 didapat nilai rata-rata *shrinkage* terukur sebesar 0,44 mm. Dari data *shrinkage* terukur dapat dihitung untuk mengetahui persentase rata-rata *shrinkage* pada percobaan 2 dan 13, dengan menggunakan rumus persamaan 1. Pada percobaan ke 2 didapat nilai terukur rata-rata produk sebesar 151,4 mm, maka persentase *shrinkagenya* adalah

$$S = 0,42 \%$$

Pada percobaan ke 13 didapat nilai terukur rata-rata produk sebesar 151,6 mm, maka persentase *shrinkagenya* adalah

$$S = 0,28 \%$$

Maka dari percobaan ke 2 didapat persentase *shrinkage* sebesar 0,42% dan persentase nilai *shrinkage* pada percobaan ke 13 sebesar 0,28 %.

Hasil Pengukuran *Transversal*

Proses pengukuran *transversal* menggunakan *micrometer* dengan ketelitian 0,01 mm. Pada pengukuran *transversal* dilakukan pengukuran pada tiga titik ditengan produk, kemudian hasil dari pengukuran tiga titik di rata-rata untuk dicari nilai *shrinkagenya*. Berikut adalah hasil pengukuran *transversal* pada percobaan ke 2 dan ke 13.

Tabel 7. Hasil pengukuran transversal minimum.

PERCOBAAN 2					
No.	Transversal (mm)			Rata-rata \bar{x}	Shrinkage Transversal (%)
	1	9,77	9,82		
2	9,76	9,57	9,69	9,673	3,266
3	9,7	9,75	9,75	9,733	2,666
4	9,71	9,8	9,71	9,74	2,6
5	9,71	9,74	9,73	9,726	2,733
6	9,76	9,76	9,73	9,75	2,5
7	9,77	9,84	9,8	9,803	1,966
8	9,79	9,74	9,76	9,763	2,366
9	9,77	9,77	9,75	9,763	2,366
10	9,76	9,98	9,72	9,82	1,8
Rata-Rata	9,75	9,77	9,74	9,757	2,43

Tabel 8. Hasil pengukuran transversal optimum

PERCOBAAN 13					
No.	Transversal (mm)			Rata-rata \bar{x}	Shrinkage Transversal (%)
	1	9,86	9,93		
2	9,93	9,93	9,93	9,93	0,7
3	9,97	9,96	9,98	9,97	0,3
4	9,96	9,96	9,95	9,956	0,433
5	9,94	9,95	9,91	9,933	0,667
6	9,85	9,83	9,88	9,853	1,466
7	9,89	9,93	9,89	9,903	0,966
8	9,96	9,91	9,87	9,913	0,866
9	9,97	9,94	9,88	9,93	0,7
10	9,95	9,9	9,93	9,926	0,733
Rata-Rata	9,928	9,924	9,916	9,922	0,773

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan didapat perhitungan mean, nilai rata-rata *shrinkage* terukur pada percobaan ke 2 sebesar 0,25 mm, pada percobaan ke 13 didapat 0,08 mm. Dari data *shrinkage* terukur dapat dihitung untuk mengetahui persentase rata-rata *shrinkage* pada percobaan 2 dan 13, dengan menggunakan rumus persamaan 1. Pada percobaan ke 2 didapat nilai terukur rata-rata produk sebesar 9,75 mm, maka persentase *shrinkage* rata-ratanya adalah $S = 2,43 \%$

Pada percobaan ke 13 didapat nilai terukur rata-rata produk sebesar 9,92 mm, maka persentase *shrinkage* rata-ratanya adalah $S = 0,77 \%$

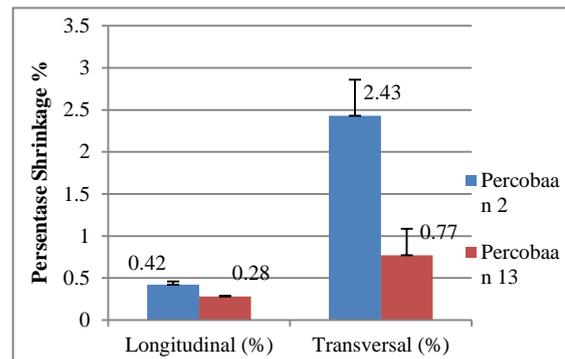
Maka dari percobaan ke 2 didapat persentase *shrinkage* sebesar 2,43 % dan persentase nilai *shrinkage* pada percobaan ke 13 sebesar 0,77 %.

Analisa Shrinkage pada Longitudinal dan Transversal

Pada hasil penelitian yang dilakukan nilai *shrinkage* pada longitudinal lebih kecil dibandingkan dengan nilai *shrinkage* transversal. Berikut ini adalah tabel nilai *shrinkage* pada percobaan ke 2 dan 13.

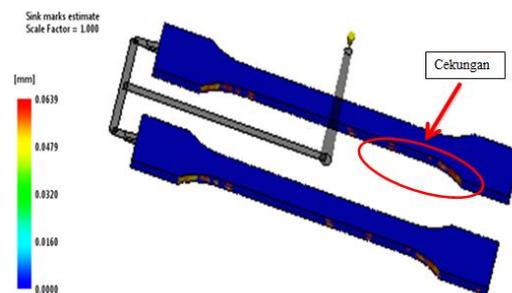
Tabel 9. Nilai *shrinkage* longitudinal dan transversal

No. Percobaan	Shrinkage		Standart Deviasi	
	Longitudinal (%)	Transversal (%)		
2	0,42	2,43	0,039	0,43
13	0,28	0,77	0,009	0,32



Gambar 12. Nilai *shrinkage* longitudinal dan transversal

Analisa nilai *shrinkage* longitudinal dan transversal, diperlukan agar spesimen yang dihasilkan memiliki bentuk dan ukuran yang sesuai dengan desain produk. Nilai *shrinkage* longitudinal lebih kecil dibandingkan transversal. Hal ini dikarenakan pada daerah transversal terdapat lekukan atau cekungan yang dapat mengakibatkan nilai *shrinkage* pada daerah transversal akan lebih besar.(Gb.13)



Gambar 13. Sink mark estimate

Faktor lain yang mempengaruhi terjadinya derajat penyusutan pada daerah transversal adalah proses pemampatan cairan plastik kedalam cetakan tidak bekerja secara maksimal, untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan dengan menaikan *holding pressure* pada parameter proses pembuatan produk plastik, yang bertujuan untuk memaksimalkan proses pemampatan sehingga derajat penyusutan dapat dihindari, dan bisa meningkatkan kualitas produk secara optimal dengan persentase *shrinkage* yang kecil.

5. Kesimpulan

Hasil analisa dan pengukuran yang dilakukan, persentase *shrinkage longitudinal*, dan *transversal* yang paling optimal terdapat pada percobaan ke 13, dengan variasi parameter proses *holding pressure* 90 bar, *holding time* 3,25 sekon, *cooling time* 20 sekon, *back pressure* 10 bar, dan temperatur leleh 205 °C. Pada variasi parameter percobaan ke 13 diperoleh *shrinkage longitudinal* sebesar 0,28 %, dan *transversal* 0,77% dimana *shrinkage* tersebut merupakan persentase *shrinkage* paling kecil dibandingkan dengan percobaan lain. Berdasarkan hasil pengukuran dan pembahasa dapat disimpulkan bahwa variasi parameter percobaan ke 13 dapat dijadikan usulan atau rekomendasi untuk proses injeksi pembuatan produk plastik yang berupa spesimen *multipurpose* menggunakan material daur ulang *acrylonitril butadiene styrene* (ABS).

Daftar Pustaka

- Anggono, A.D., 2005. *Prediksi Shrinkage Untuk Menghindari Cacat Produk Pada Plastic Injection*. Media Mesin, 6(2): 70-77.
- Akbarzadeh, A. dan Mohammad S., 2011. *Parameter Study in Plastic Injection Molding Process using Statistical Methods and IWO Algorithm*. International Journal of Modeling and Optimization, 1(2):141-145.
- Firdaus dan Soejono T., 2002. *Studi Eksperimental Pengaruh Parameter Proses Pencetakan Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Benda Cetak Pneumatics Holder*. Jurnal Teknik Mesin, 4(2): 75-85.
- Kavande, M. V dan S.D. Kadam. 2012. *Parameter Optimization of Injection Molding of Polypropylene by using Taguchi Methodology*. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 4(4): 49-58.
- Kale, H.P., dan Umesh V.H. 2015. *Optimization of Injection Moulding Process Parameters for Reducing Shrinkage by Using High Density Polyethylene (HDPE) Material*. International Journal of Science and Research. 4(5): 722-725.
- Kamaruddin, S., Zahid A.K., dan S.H. Foong. 2010. *Application of Taguchi Method in the Optimization of Injection Moulding Parameters of Manufacturing Products from Plastic Blend*. IACSIT International Journal of Engineering and Technology, 2(6):574-580.
- Kristanto, Y., Bambang K., dan Ubaidillah. 2013. *Pengaruh Suhu Pemanas Terhadap Shrinkage Pada Proses Injeksi Polypropylene*. Jurnal Mekanika, 12(1):7-10.
- Lal, S.K. dan Hari V. 2013. *Optimization of Injection Moulding Process Parameters in the Moulding of Low Density Polyethylene (LDPE)*. International Journal of Engineering Research and Development, 7(5): 35-39.

Oktaviansi, S.D. 2012. *Analisa Pengaruh Parameter Tekanan dan Waktu Penekanan Terhadap Sifat Mekanik dan Cacat Penyusutan dari Produk Injection Molding Berbahan Polyethylene (PE)*. Skripsi. Program Strata-1. Universitas Sultan Agung Tirtayasa.

Soejito, I. 2009. *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Sugondo, A., Willyanto A., dan Ian H.S., 2007. *Minimalisasi Cacat dengan Pengaturan Tekanan Terhadap Kualitas Produk pada Proses Injection Molding dengan Menggunakan Simulasi*. Tekno Sim 2007. Hal 34 -40.