



**PENGARUH *HOLDING TIME* DAN *MOLD TEMPERATURE*  
TERHADAP CACAT *WARPAGE* PADA PROSES PEMBUATAN  
KOMPOSIT AL-PP DENGAN *INJECTION MOLDING***

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**Khoirul Fahmi Aziz**

**NIM 141910101055**

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**



**PENGARUH *HOLDING TIME* DAN *MOLD TEMPERATURE*  
TERHADAP CACAT *WARPAGE* PADA PROSES PEMBUATAN  
KOMPOSIT AL-PP DENGAN *INJECTION MOLDING***

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

**Oleh:**

**Khoirul Fahmi Aziz**

**NIM 141910101055**

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

- a. Kedua orang tua saya, Bapak Suseno dan Ibu Ni'matus Shollehah tercinta.
- b. Adik – adik saya, Zulfan Akhyarul umam dan Rifki Ikmal Quluhi.
- c. Guru – guruku tercinta sejak taman kanak – kanak sampai dengan perguruan tinggi.
- d. Seluruh dosen, staff pengajar dan administrasi Fakultas Teknik Universitas Jember.
- e. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.
- f. Saudaraku Fakultas Teknik angkatan 2014 yang selalu menemani dalam suka maupun duka.

## MOTTO

“Musuh yang paling berbahaya di atas dunia ini adalah penakut dan bimbang. Teman yang paling setia, hanyalah keberanian dan keyakinan yang teguh”

(Andrew Jackson)

“Selalu lakukan kebenaran. Ini akan memuaskan dan mengejutkan semua orang.”

(Mark Twain)

“Seseorang yang bertindak tanpa ilmu ibarat bepergian tanpa petunjuk. Dan sudah banyak yang tahu kalau orang seperti itu sekiranya akan hancur, bukan selamat”

(Hasan Al Basri)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khoirul Fahmi Aziz

Nim : 141910101055

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh  *Holding Time*  dan  *Mold Temperature*  terhadap Cacat  *Warpage*  pada Proses Pembuatan Komposit AL-PP dengan  *Injection Molding* ” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan institusi manapun, dan bukan karya ilmiah jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus di junjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 26 April 2019

Yang menyatakan

Khoirul Fahmi Aziz

Nim 141910101055

**SKRIPSI**

**PENGARUH *HOLDING TIME* DAN *MOLD TEMPERATURE*  
TERHADAP CACAT *WARPAGE* PADA PROSES PEMBUATAN  
KOMPOSIT AL-PP DENGAN *INJECTION MOLDING***

Oleh:

**Khoirul Fahmi Aziz**

**NIM 141910101055**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Danang Yudistiro, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh  *Holding Time*  dan  *Mold Temperature*  Terhadap Cacat  *Warpage*  pada Proses Pembuatan Komposit AL-PP dengan  *Injection Molding* ” karya Khoirul Fahmi Aziz telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Jumat, 26 April 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Pembimbing:**

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Danang Yudistiro, S.T., M.T.

NIP. 19790207 201504 1 000

Aris Zainul Muttaqin, S.T.,M.T.

NIP. 19681207 199512 1 002

**Penguji:**

Penguji I,

Penguji II,

Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP. 19700322 199501 1 001

Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T.

NIP. 760014642

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M

NIP. 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

**PENGARUH *HOLDING TIME* DAN *MOLD TEMPERATURE* TERHADAP CACAT *WARPAGE* PADA PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT AL-PP DENGAN *INJECTION MOLDING***; Khoirul Fahmi Aziz; 141910101055; 2019; 55 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Produk berbahan plastik biasanya dijadikan produk rumah tangga, peralatan elektronik dan lain-lain. Para produsen plastik mengombinasikan plastik dengan material lain agar kualitas plastik meningkat. Plastik biasanya dikombinasikan dengan material alam seperti serat tanaman maupun dikombinasikan dengan material logam. Kombinasi plastik ini disebut dengan material komposit. Salah satu hasil plastik yang dikombinasikan dengan material logam aluminium bisa dimanfaatkan sebagai komponen elektronik karena dapat mengalirkan listrik. Aluminium sangat baik jika dikombinasikan dengan material polimer atau plastik karena aluminium dapat menyatu dengan material plastik meskipun berbeda jenis. Material komposit aluminium dengan plastik dapat diproduksi menggunakan mesin umumnya digunakan untuk membuat produk plastik seperti injeksi molding.

Injeksi molding adalah teknik yang digunakan untuk mencetak suatu produk dengan material berupa biji plastik dengan menggunakan proses pemanasan terlebih dahulu pada *barrel* dengan titik leleh sesuai material yang digunakan kemudian didinginkan dan dicetak pada ruangan yang disebut *modal*. Salah satu cacat yang terjadi pada proses injeksi molding ialah cacat *warpage*. Cacat *warpage* adalah cacat produk yang terdapat pada permukaan yang berbentuk lengkungan atau bengkok. Persentase mengurangi terjadinya cacat *warpage* lebih baik menggunakan parameter waktu tahan dan suhu cetakan membuktikan kontribusi yang optimal dalam mengendalikan cacat *warpage* dimensi produk. Penentuan pemilihan parameter diperlukan untuk meningkatkan kualitas produksi dan kuantitas produksi. Penentuan parameter dilakukan dengan metode Taguchi yang berguna untuk memperbaiki mutu



dan proses pada injeksi molding. Metode Taguchi digunakan untuk memvariasikan parameter – parameter *injection molding* agar mendapatkan produk yang sesuai spesifikasi.

Hasil dari penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa *holding time* memiliki pengaruh yang paling signifikan terhadap cacat *warpage* dibandingkan dengan parameter *mold temperature*. Pada penelitian mengambil variasi level *holding time* sebesar 12 detik, 15 detik dan 18 detik. Pada level terendah yaitu 12 detik sangat buruk pengaruhnya terhadap cacat *warpage* dan di level berikutnya terjadi penurunan. Pada level ketiga yaitu 18 detik adalah parameter dengan pengaruh terbaik terhadap cacat *warpage* karena hasil dari level tiga paling kecil terjadi cacat *warpage*. Hal ini juga diperkuat dengan dibuktikannya dengan perhitungan persen kontribusi *holding time* yang menunjukkan nilai 90%. Pada parameter level ketiga yaitu 18 detik menjadi waktu tahan yang ideal karena pada parameter tersebut plastik yang telah diinjeksi dapat sempurna memenuhi ruangan cetakan. Sedangkan pada parameter *mold temperature* memiliki pengaruh terhadap cacat *warpage* meskipun hanya memiliki presentase 8%. Pada penelitian ini mengambil variasi level *mold temperature* sebesar 40°C, 60°C, dan 80°C. Pada level terendah yaitu 40°C pengaruh cacat *warpage* cukup baik namun di level kedua adalah level terbaik karena pada level ini yaitu 60°C paling berpengaruh terhadap cacat *warpage* karena pada level ini cacat *warpage* yang terjadi paling kecil, kemudian pada level ketiga yaitu 80°C adalah level yang pengaruhnya paling buruk karena pada level ini cacat *warpage* yang terjadi sangat besar. Pada fenomena ini suhu dibawah 40°C terjadi deformasi oleh regangan sisa didalam produk cetakan yang akan menghasilkan cacat *warpage*, dan pada suhu diatas 60°C produk didalam cetakan akan menempel pada dinding-dinding cetakan karena suhu cetakan terlalu panas.

**SUMMARY**

***THE EFFECT OF HOLDING TIME AND MOLD TEMPERATURE ON WARPAGE DEFECTS IN THE MAKING PROCESS OF AL-PP COMPOSITES WITH MOLDING INJECTION***; Khoirul Fahmi Aziz; 141910101055; 2019; 55 pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.

*Plastic products are usually used as household products, electronic equipment and others. Plastic manufacturers combine plastic with other materials to increase the quality of plastic. Plastics are usually combined with natural materials such as plant fibers and combined with metal materials. This plastic combination is called composite material. One result of plastic combined with aluminum metal material can be used as an electronic component because it can drain electricity. Aluminum is very good if combined with polymer or plastic material because aluminum can blend with plastic material even though it is of a different type. Aluminum composite materials with plastic can be produced using machines generally used to make plastic products such as injection molding.*

*Injection molding is a technique used to print a product with material in the form of plastic seeds using the heating process first on a barrel with a melting point according to the material used then cooled and printed in a room called a mold. One of the defects that occur in the injection molding process is warpage defects. Warpage defects are product defects found on curved or bent surfaces. The percentage of reducing the occurrence of warpage defects is better using the time hold parameters and mold temperature to prove the optimal contribution in controlling warpage defects in product dimensions. Determination of parameter selection is needed to improve production quality and production quantity. Determination of parameters is done by the Taguchi method which is useful to improve the quality and process of injection molding. The Taguchi method is used to*

vary injection molding parameters in order to get the product according to specifications.

The results of this study conclude that holding time has the most significant effect on warpage defects compared to mold temperature parameters. In this study, variations in the level holding time were 12 seconds, 15 seconds and 18 seconds. At the lowest level, which is 12 seconds, the effect is very bad for warpage defects and in the next level there is a decrease. At the third level which is 18 seconds is the parameter with the best influence on warpage defects because the results of the lowest level three occur warpage defects. This was also strengthened by the proof of the percentage of holding time contributions that showed a value of 90%. In the third level parameter, 18 seconds is the ideal holding time because in that parameter the injected plastic can perfectly fill the molded room. While the mold temperature parameters has an influence on warpage defects even though it only has a percentage of 8%. In this study, variations in mold levels were 40 ° C, 60 ° C, and 80 ° C. At the lowest level of 40 ° C the effect of warpage defects is quite good but at the second level is the best level because at this level 60 ° C has the most effect on warpage defects because at this level warpage defects occur the smallest, then at the third level 80 ° C is the level that has the worst effect because at this level warpage defects that occur are very large. In this phenomenon the temperature below 40 ° C is deformed by the residual strain in the mold product which will produce warpage defects, and at temperatures above 60 ° C the product in the mold will stick to the mold walls because the mold is too hot.

## PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh *Holding Time* dan *Mold Temperature* terhadap Cacat *Warp* pada Proses Pembuatan Komposit AL-PP dengan *Injection Molding*”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M, UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
2. Bapak Hari Arbiantara Basuki, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember dan Dosen Pembimbing Akademik
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
4. Bapak Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif
5. Bapak Danang Yudistiro, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama dan bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota
6. Bapak Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Penguji Utama dan ibu Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Anggota
7. Staf dan pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
8. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2014 yang telah memberikan semangat
9. Keluarga dan saudara yang telah memberikan dukungan dan teman-teman lainnya yang tidak dapat di sampaikan semua disini intinya terima kasih banyak telah memberikan motivasi an masukan kepada saya.

Jember, 26 April 2019

Penulis



**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>SUMMARY</b> .....	x
<b>PRAKATA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4

1.6 Hipotesa .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Plastik .....	5
2.1.1 Thermoplastik .....	5
2.1.2 <i>Polypropylene</i> .....	7
2.1.3 Alumunium .....	7
2.2 Alumunium .....	7
2.3 Mesin Produksi Produk Plastik .....	9
2.3.1 <i>Extrusion</i> .....	9
2.3.2 <i>Thermoforming</i> .....	9
2.3.3 <i>Blow Molding</i> .....	10
2.3.4 <i>Injection Molding</i> .....	13
2.4 Metode Taguchi .....	19
2.4.1 Konsep Metode Taguchi .....	19
2.4.2 <i>Orthogonal Array</i> .....	21
2.4.3 <i>Rasio signal to Noise (S/N)</i> .....	21
2.4.4 Perancangan Parameter .....	22
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	26
3.2 Alat dan Bahan .....	26
3.2.1 Alat .....	26
3.2.2 Bahan .....	27
3.3 Tahap Penelitian .....	27

<b>3.4 Rancangan Percobaan</b> .....	29
3.4.1 Penentuan Variabel .....	29
3.4.2 Penentuan <i>Matriks Orthogonal</i> .....	29
3.4.3 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi .....	31
<b>3.5 Langkah – langkah Percobaan dan Pengambilan Data</b> .....	33
<b>3.6 Tahap Penarikan Kesimpulan</b> .....	34
<b>3.7 Diagram Alir</b> .....	35
<b>BAB 4 PEMBAHASAN</b>	
<b>4.1 Data Percobaan</b> .....	37
<b>4.2 Pengolahan dan Analisis Data</b> .....	39
<b>4.3 Pengujian Asumsi Residual</b> .....	40
<b>4.4 Hasil Optimasi Data</b> .....	43
<b>4.5 Pengujian Analisis of Varian (ANOVA)</b> .....	45
<b>4.6 Prediksi Respon Optimum</b> .....	48
<b>4.7 Pembahasan Pengaruh Parameter</b> .....	50
<b>BAB 5 PENUTUP</b>	
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	51
<b>5.2 Saran</b> .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Klasifikasi Plastik .....	5
2.2 Proses Termoplastik .....	6
2.3 Serbuk PP ( <i>polypropylene</i> ) .....	7
2.4 Serbuk Alumunium .....	8
2.5 <i>Plastic Extrusion</i> .....	9
2.6 <i>Plastics Thermoforming</i> .....	10
2.7 <i>Extrusion Blow Molding</i> .....	11
2.8 Proses <i>Stretch Blow Molding</i> .....	11
2.9 <i>Injection Blow Molding</i> .....	12
2.10 <i>Plastic Injection Molding</i> .....	14
2.11 Bagian unit cetakan .....	15
2.12 Posisi sensor panas pada cetakan .....	16
2.13 Unit <i>Injection Molding</i> .....	16
2.14 Cacat <i>Warpage</i> .....	19
2.15 Pengukuran Cacat <i>Warpage</i> .....	19
3.1 Mesin Injeksi molding pneumatik .....	26
3.2 Produk ASTM A370 .....	27
3.3 Diagram Alir Penelitian .....	36
4.1 (a) Pengukuran cacat menggunakan aplikasi ImageJ (b) Spesimen tanpa cacat <i>warpage</i> dan (c) Spesimen dengan cacat <i>warpage</i> .....	38
4.2 Plot ACF .....	41
4.3 Plot Uji Homogen .....	42
4.4 Plot Uji Distribusi Normal .....	43

4.4 Plot for S/N Rasio .....	44
4.5 Plot for Means .....	45



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 temperatur leleh proses termoplastik .....	6
2.2 spesifikasi <i>polypropylene</i> .....	7
2.3 Karakteristik alumunium .....	8
2.4 Percobaan rancangan parameter sederhana $L8(2^7)$ .....	23
2.5 ANOVA dua arah .....	25
3.1 Variabel – variabel yang digunakan pada proses injeksi molding .....	29
3.2 Jumlah derajat kebebasan parameter kendali .....	29
3.3 <i>Matriks orthogonal L9</i> .....	30
3.4 Percobaan .....	31
3.5 Analisis variansi (ANOVA) .....	32
3.6 Analisis variansi (ANOVA) dari data eksperimen .....	32
4.1 Hasil Pengambilan Data Luas Cacat <i>Warpage</i> .....	38
4.2 Data Perhitungan S/N Rasio .....	40
4.3 Nilai <i>Warpage</i> pada Setiap Level Parameter .....	44
4.4 Hasil ANOVA dan Kontribusi Parameter dengan Perhitungan S/N Rasio .....	47
4.5 Kondisi Hipotesis $H_0$ Multi Respon .....	49

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di jaman modern sekarang ini kebutuhan akan plastik di Indonesia sangat besar. Hal ini dapat dilihat dengan meningkatnya kebutuhan produk plastik di Indonesia sekitar 4,6 juta ton per tahun dengan rata-rata kenaikan 5% per tahun, dengan porsi terbesar sekitar 40% digunakan untuk produk kemasan. Produk berbahan plastik biasanya dijadikan produk rumah tangga, peralatan elektronik dan lain-lain. Para produsen plastik mengkombinasikan plastik dengan material lain agar kualitas plastik meningkat. Plastik biasanya dikombinasikan dengan material alam seperti serat tanaman maupun dikombinasikan dengan material logam. Kombinasi plastik ini disebut dengan material komposit. Salah satu hasil plastik yang dikombinasikan dengan material logam aluminium bisa dimanfaatkan sebagai komponen elektronik karena dapat mengalirkan listrik (Maryanti, 2011).

Aluminium sangat baik jika dikombinasikan dengan material polimer atau plastik karena aluminium dapat menyatu dengan material plastik meskipun berbeda jenis. Pemanfaatan kombinasi logam aluminium yang kuat dengan plastik kurang kuat akan menghasilkan sebuah produk yang baik jika komposisinya sesuai. Manfaat aluminium juga sangat banyak, diantaranya untuk produk otomotif karena sifatnya yang ringan dan kuat. Aluminium merupakan logam ringan yang memiliki kepadatan yang rendah dan pengantar listrik yang baik. Meskipun logam yang ringan, aluminium memiliki keuletan dan kekuatan yang baik. Material komposit aluminium dengan plastik dapat diproduksi menggunakan mesin yang umumnya digunakan untuk membuat produk plastik seperti injeksi molding (Irawan, 2013).

Selain menggunakan injeksi molding ada beberapa mesin yang digunakan untuk membuat produk plastik. Beberapa mesin yang digunakan adalah mesin ekstrusi, termoforming, blow molding, dan injeksi molding itu sendiri. Produk berbahan baku plastik banyak diproduksi oleh perusahaan industri di Indonesia. Alat yang banyak dipakai para produsen ialah mesin injeksi molding. Injeksi molding adalah teknik yang digunakan untuk mencetak suatu produk

dengan material berupa biji plastik dimana menggunakan proses pemanasan terlebih dahulu pada *barrel* dengan titik leleh sesuai material yang digunakan kemudian didinginkan dan dicetak pada ruangan yang disebut *mold* (cetakan) (Purba, 2017).

Penentuan pemilihan parameter diperlukan untuk meningkatkan kualitas produksi dan kuantitas produksi. Penentuan parameter dilakukan dengan metode Taguchi yang berguna untuk memperbaiki mutu dan proses pada injeksi molding. Metode Taguchi digunakan untuk memvariasikan parameter – parameter *Injection molding* agar mendapatkan produk yang sesuai spesifikasi. Salah satu cacat yang terjadi ialah cacat *warpage*.

Cacat *warpage* adalah cacat produk yang terdapat pada permukaan yang berbentuk lengkungan atau bengkok. Persentase pengurangan terjadinya cacat *warpage* lebih baik menggunakan parameter waktu tahan yang lebih lama. Waktu tahan yang lama dapat membuktikan kontribusi yang optimal dalam mengendalikan cacat *warpage* dimensi produk (Prasetya, 2015). Penelitian tentang parameter suhu cetakan yang dapat mencegah terjadinya cacat *warpage* mendapatkan hasil bahwa suhu cetakan yang rendah memiliki efek yang sangat berpengaruh pada dimensi karena pada suhu cetakan yang tinggi akan menyebabkan menempelnya hasil penginjeksian pada dinding - dinding cetakan dan akan melengkung saat dikeluarkan hasil dari cetakan (Berginc, 2005)

Penulis akan mencoba mengangkat suatu penelitian mengenai variasi parameter menggunakan metode Taguchi pada proses pembuatan produk spesimen uji tarik. Beberapa variable faktor mempengaruhi proses produksi, penulis mengambil variasi variable faktor *holding time* dan *mold temperature*. Variable - variable tersebut mempengaruhi hasil kuantitas produksi dan kualitas produk. Penelitian skripsi dengan judul “Pengaruh *Holding Time* dan *Mold Temperature* terhadap Cacat *Warpage* Pada Proses Pembuatan Komposit Al-PP dengan *Injection Molding*” diharapkan nantinya mendapatkan parameter yang optimal dalam proses pembuatan komposit Al-PP.

## 1.2 Rumusan Masalah

Peneliti melakukan analisa pembuatan komposit Al-PP (Aluminium-Polypropilene) dengan menggunakan injeksi molding dan memvariasikan parameter menggunakan metode taguchi. Adapun perumusannya:

1. Bagaimana pengaruh variasi parameter proses *holding time* dan *mold temperature*, terhadap cacat *warpage* pada komposit Al-PP.
2. Bagaimana menentukan variasi parameter mesin yang sesuai pada proses pembuatan komposit Al-PP agar mendapat produk yang minim cacat *warpage* dengan menggunakan metode Taguchi.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat produk spesimen uji tarik A370.
2. Pencampuran bahan plastik dengan aluminium dianggap homogen.
3. Penelitian yang dilakukan pada mesin *injection molding* di laboratorium jurusan teknik mesin Universitas Jember.
4. Pengukuran cacat hanya dipermukaan atas produk.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi parameter *holding time* dan *mold temperature* terhadap cacat *warpage* pada produk komposit Al-PP.
2. Untuk mengetahui variasi parameter yang optimal pada proses pembuatan komposit Al-PP untuk mendapatkan produk yang minim cacat *warpage* dengan menggunakan metode Taguchi.

## 1.5 Manfaat Penelitian

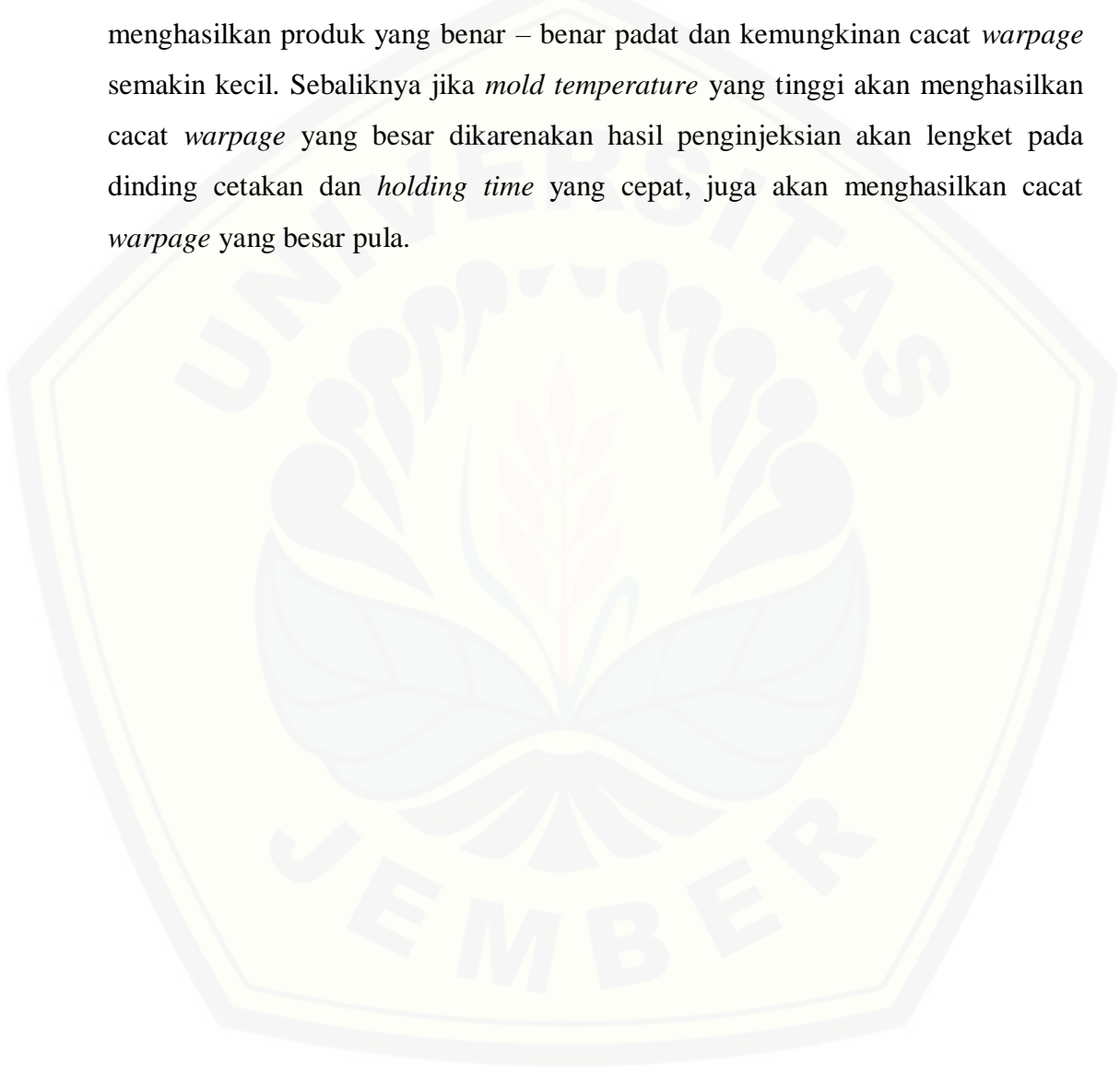
Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui pengaruh variasi parameter *holding time* dan *mold temperature* terhadap cacat *warpage* pada proses *injection molding* yang dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.

2. Dapat mengetahui penerapan material komposit pada dunia industri.

### 1.6 Hipotesa

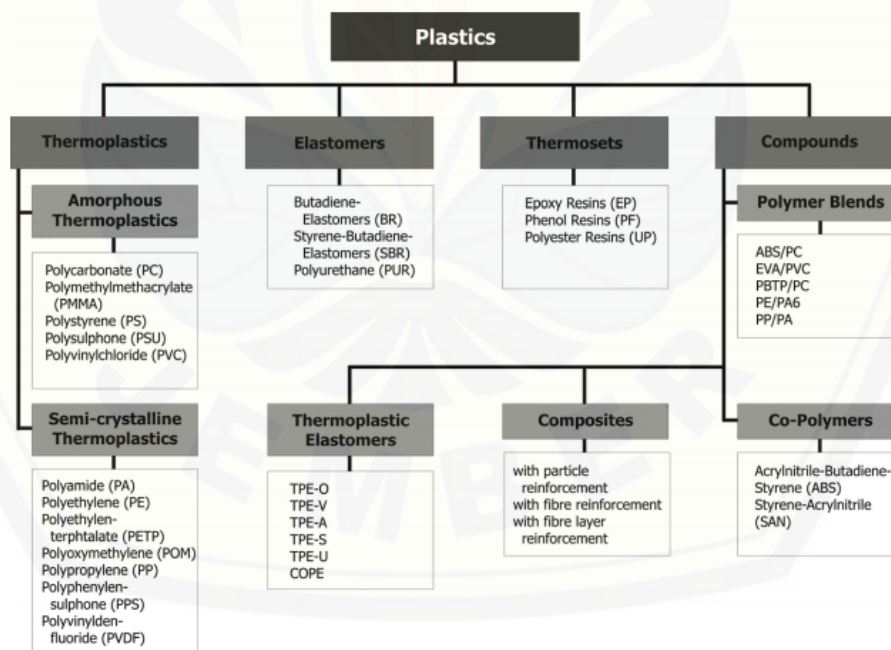
Hipotesa awal dari penelitian ini adalah *mold temperature* yang rendah akan menghasilkan cacat *warpage* yang kecil dan *holding time* yang lama akan menghasilkan produk yang benar – benar padat dan kemungkinan cacat *warpage* semakin kecil. Sebaliknya jika *mold temperature* yang tinggi akan menghasilkan cacat *warpage* yang besar dikarenakan hasil penginjeksian akan lengket pada dinding cetakan dan *holding time* yang cepat, juga akan menghasilkan cacat *warpage* yang besar pula.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Plastik

Disebabkan oleh struktur makro molekul dan suhu yang terdapat pada sifat fisik bahan plastik yang berbeda, plastik dibedakan menjadi empat macam yaitu: *thermoplastic*, *thermoset*, *elastomers* dan *compound*. Termoplastik adalah jenis plastik yang meleleh saat dipanaskan dan mengeras saat didinginkan, proses ini bisa dilakukan berulang kali. Secara sederhana termoplastik adalah jenis plastik daur ulang. Termoset adalah jenis plastik yang tahan panas, jika dipanaskan akan sulit meleleh dan sulit untuk dibentuk ulang kembali. *Elastomers* adalah jenis plastik yang molekulnya berukuran panjang yang mampu kembali ke bentuk semula ketika ditarik, oleh karena itu plastik *elastomers* disebut plastik elastis. *Compound* adalah plastik yang dihasilkan dari campuran *olimer* yang berbeda agar mendapatkan sifat khusus, yaitu sifat elastisitas. Klasifikasi jenis plastik dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Klein, 2011).

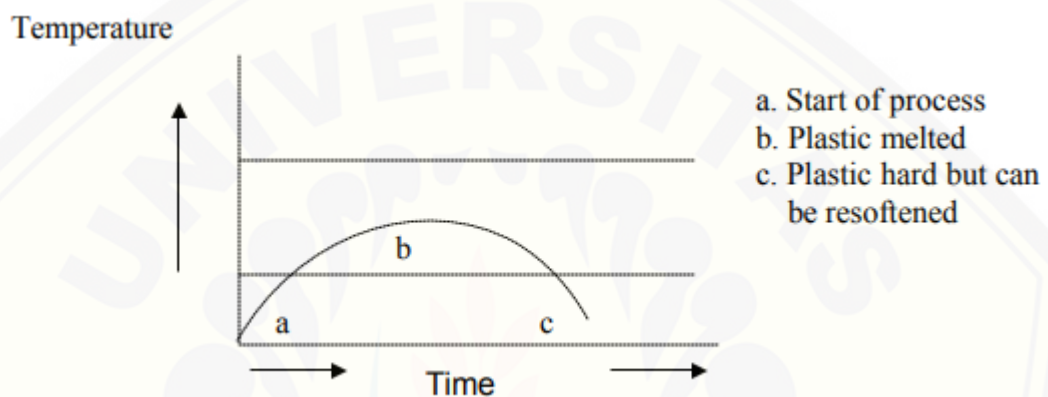


Gambar 2.1 Klasifikasi plastik (Klein, 2011)



### 2.1.1 Thermoplastik

Thermoplastik adalah plastik yang dapat dicetak berulang kali dengan adanya panas. Nama thermoplastik didapat dari sifat plastik yang bisa dibentuk ulang dengan proses pemanasan. Beberapa jenis termoplastik antara lain: PE, PP, PS, ABS, SAN, NYLON, PET, HDPE dll. Proses termoplastik dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan temperatur titik leleh bahan termoplastik dapat dilihat pada Tabel 2.1



Gambar 2.2 Proses termoplastik (Mujiarto, 2005)

Berikut penjelasan data temperatur leleh termoplastik pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Temperatur leleh proses termoplastik

Material	°C	°F
<i>Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)</i>	180 – 240	356 – 464
Acetal	185 – 225	365 – 437
Acrylic	180 – 250	356 – 482
Nylon	260 – 290	500 – 554
<i>Polycarbonat (PC)</i>	200 – 300	392 – 572
<i>Polyethylene-Low Density (LDPE)</i>	160 – 240	320 – 464
<i>Polyethylene-High Density (HDPE)</i>	200 – 280	392 – 536
<i>Polypropylene (PP)</i>	200 – 300	392 – 572
<i>Polyvinyl chloride (PVC)</i>	160 – 180	320 – 365

Sumber : Iman Mujiarto,2005

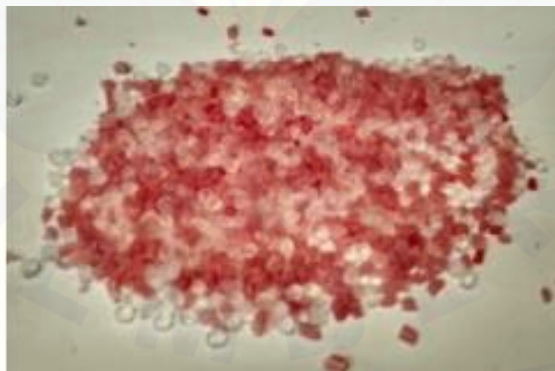
### 2.1.2 Polypropylene ( PP )

*Polypropylene* adalah sebuah polimer thermoplastik yang dibuat oleh produsen kimia. Plastik jenis *polypropylene* adalah plastik yang sangat banyak digunakan dalam kehidupan sehari - hari karena plastik jenis ini memiliki sifat mekanis yang sangat baik, memiliki massa jenis yang rendah dan memiliki ketahanan panas yang tinggi serta memiliki kestabilan dimensi yang baik. Data spesifikasi dari *polypropylene* dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Spesifikasi *polypropylene*

Sifat-sifat	Satuan
Temperatur leleh (°C)	130 – 170
Massa jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	0,92
Kristalinitas (%)	60
Tg (°C)	10
Tm (°C)	176
Tegangan tarik (N/m <sup>2</sup> )	30 - 40
<i>Hardness</i> (HB)	80

Sumber : Paraksanko A.W,2017



Gambar 2.3 Serbuk PP (*polypropylene*) (Prasanko, 2017)

## 2.2 Alumunium

Alumunium merupakan logam ringan yang memiliki sifat tahan korosi dan penghantar listrik yang baik. Alumunium murni memiliki kekuatan yang rendah dan lunak. Biasanya alumunium dikombinasikan dengan material lain dan

menjadi alumunium paduan agar sifat alumunium murni dapat diperbaiki. Material alumunium banyak sekali kegunaannya untuk membuat produk rumah tangga, otomotif, dan konstruksi bangunan. Dengan memadukan alumunium dengan sedikit material besi, mangan, timah putih dan tembaga akan mempengaruhi sifat tahan korosinya.

Alumunium merupakan logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk alumunium oksida, alumina ( $Al_2O_3$ ) dan menjadikannya tahan korosi. Alumunium bersifat ulet, mudah dibentuk dan mempunyai kekuatan tarik sebesar 4 – 5 kgf/mm<sup>2</sup>. Beberapa data tentang karakteristik alumunium disajikan pada Tabel 2.3 dan pada Gambar 2.4

Tabel 2.3 Karakteristik alumunium

Sifat-sifat	Satuan
Struktur Kristal	FCC
Titik leleh (°C)	130-180
Densitas pada 20°C ( $10^3\text{kg/m}^3$ )	2698
Koefisien muai panjang ( $10^{-6}/\text{K}$ )	23,9
Konduktivitas panas (W/(mK))	238
Tahanan listrik ( $10^{-8}\text{K}\Omega\text{m}$ )	2,69
Modulus kekakuan (GPa)	26
Modulus elastisitas (GPa)	70,5

Sumber : Irawan Yudi S., 2013



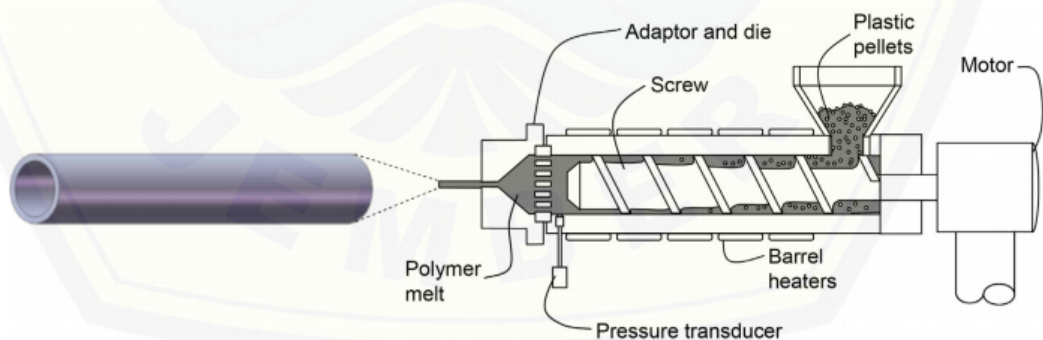
Gambar 2.4 Serbuk Alumunium (Irawan, 2013)

## 2.3 Mesin Produksi Produk Plastik

Banyak produsen produk plastik berlomba-lomba untuk meningkatkan kualitas produk mereka agar produk yang dihasilkan diminati oleh konsumen, serta dapat membuat produk – produk inovatif dari plastik. Ada beberapa jenis mesin yang digunakan untuk membuat produk plastik yaitu: *extrusion*, *thermoforming*, *blow molding* dan *injection blow molding* (Kazmer, 2017)

### 2.3.1 *Extrusion*

*Extrusion* adalah proses berkelanjutan digunakan untuk membentuk produk linier yang memiliki konstanta persilangan. *Extrusion* sekrup dan terdiri dari *barrel* yang dipanaskan yang mengelilingi satu sekrup yang berputar atau lebih yang diputar oleh sebuah motor. Selama proses, pelet plastik padat dimasukkan pada sekrup. Sekrup dirancang untuk memutar pelet plastik dan mendorong palet menuju *die* dengan rotasi terus menerus. Saat material sampai pada *die* yang awalnya pelet plastik padat dan kemudian menjadi cair. Proses ini disebabkan oleh pemanas *barrel* yang melelehkan pelet plastik pada sekrup. Plastik cair terus didorong oleh sekrup menuju die yang lubangnya sudah diatur sesuai produk yang diinginkan. Contoh produk *extrusi* plastik antara lain pipa, frame jendela, pelapis termoplastik dan insulasi kawat. Contoh gambar mesin *extrusion* dapat dilihat pada Gambar 2.5 (Kazmer,2017)

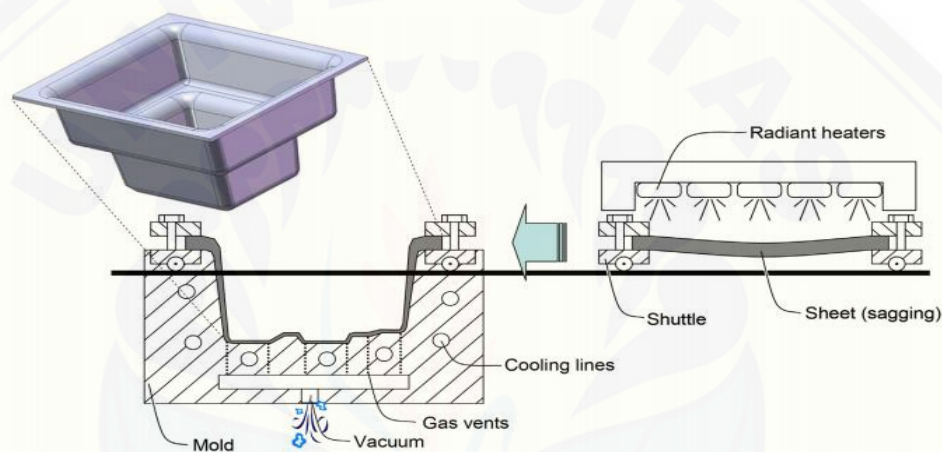


Gambar 2.5 *Plastic extrusion* (Kazmer, 2017)

### 2.3.2 *Thermoforming*

*Thermoforming* adalah proses siklus untuk membuat produk lembaran plastik dengan pemanasan kemudian diikuti pembentukan dengan cara pengisapan

atau penekanan ke rongga  *mold*. Ada banyak perbedaan jenis proses *thermoforming* termasuk vakum pembentukan, pembentukan tekanan, *plug* pembantu pembentukan dan yang lainnya. Proses awal adalah pemanasan lembaran plastik menggunakan oven. Setelah lembaran plastik cukup memenuhi syarat, lembaran tersebut dipasang pada cetakan dan divakum agar udara yang ada pada cetakan tersedot dan lembaran plastik akan mengisi cetakan. Contoh produk *thermoforming* gelas plastik sekali pakai, wadah makanan, dasbor panel dan lain-lain. Contoh gambar mesin *thermoforming* dapat dilihat pada Gambar 2.6 (Kazmer, 2017)



Gambar 2.6 *Plastics thermoforming* (Kazmer, 2017)

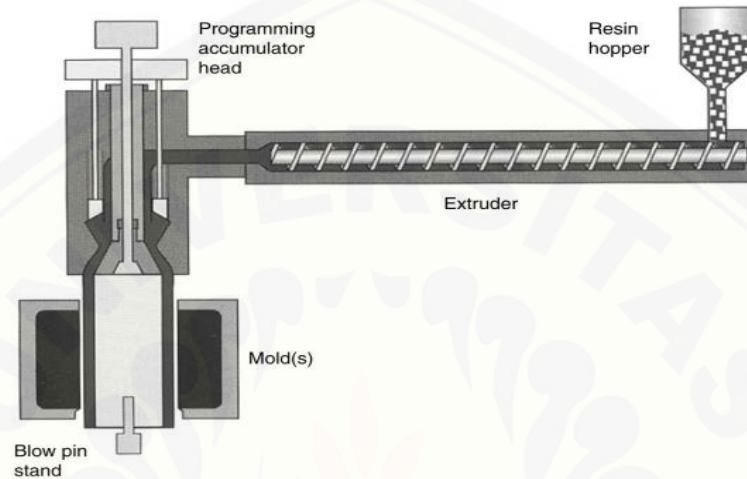
### 2.3.3 *Blow Molding*

*Blow molding* adalah proses umum untuk memproduksi plastik berongga, mulai dari produk komoditas seperti produk botol bersoda, botol air minum, tangki gas dan kabel. Tiga jenis *blow molding* yang paling umum adalah ekstrusi *blow molding*, injeksi *blow molding* dan *stretch blow molding*.

#### 1. *Extrusion Blow Molding*

*Ekstrusion blow molding* diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, ekstrusi terus menerus dan ekstrusi intermiten. *Ekstrusion blow molding* akan mengekstrusi *parisson* panas. *Ekstrusion blow molding* merupakan proses pembentukan material plastik dengan cara diteteskan dari *extruder*. *Extruder* akan mendorong plastik cair melalui lubang *ekstruder* untuk membentuk *parisson*

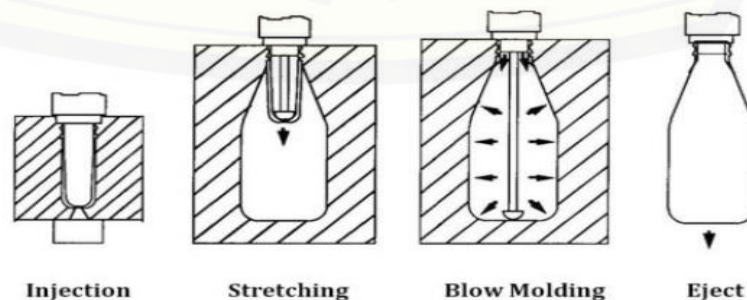
berkelanjutan. Saat *parisson* memasuki cetakan kemudian cetakan pin menutup *parisson* panas. Ketika *parisson* berada di pin cetakan, cetakan bergerak secara diagonal hingga *parisson* diekstrusi. *Parisson* panas akan didinginkan melalui lubang pendingin pada cetakan. Contoh gambar mesin *extrusion blow molding* dapat dilihat pada Gambar 2.7 (Belcher, 2011)



Gambar 2.7 *Extrusion blow molding* (Belcher, 2011)

## 2. *Stretch Blow Molding*

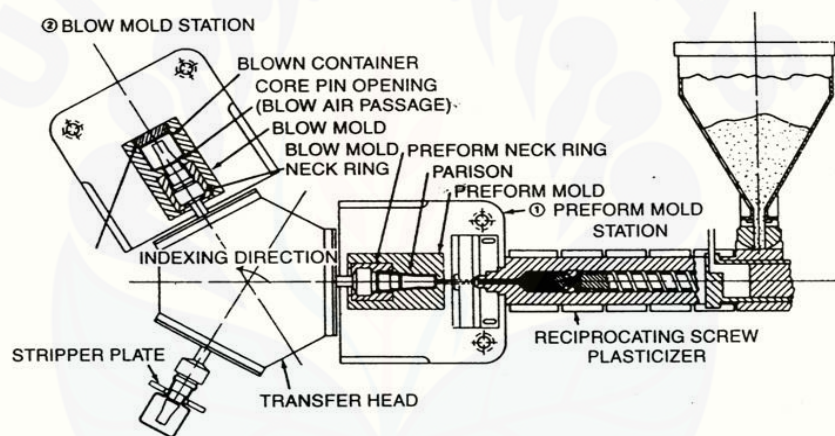
*Stretch blow molding* adalah pembentukan plastik dengan proses peregangan *parisson* sampai ukuran yang diinginkan kemudian diinjeksi sesuai bentuk cetakan. Proses *stretch blow molding* yaitu *parisson* panas akan diinjeksi dalam saluran cetakan, kemudian plastik diregangkan sesuai bentuk yang diinginkan dan diberi tekanan agar *parisson* mengembang. *Parisson* panas akan mengisi cetakan kemudian diberi pendinginan agar hasil produk optimal. Contoh gambar proses *stretch blow molding* dapat dilihat pada Gambar 2.8 (Belcher, 2017)



Gambar 2.8 Proses *stretch blow molding* (Belcher, 2011)

### 3. Injection Blow Molding

*Injection blow molding* adalah proses pembuatan produk plastik dengan cara menginjeksi udara untuk mengembangkan plastik leleh (*parisson*). Proses awal memasukkan pelet plastik ke dalam silinder poros berulir (*screw*) kemudian plastik dipanaskan sampai plastik leleh. Plastik leleh (*parisson*) akan menuju cetakan melalui lubang cetakan. Saat *parrison* berada di dalam cetakan kemudian *parisson* diinjeksi dan akan mengembangkan *parisson*. *Parisson* akan memenuhi rongga cetakan dan saat bersamaan *parisson* akan mentransfer panas sehingga dibutuhkan pendinginan agar *parisson* mengeras dan bisa dikeluarkan dari cetakan. Contoh gambar mesin *injection blow molding* dapat dilihat pada Gambar 2.9 (Belcher, 2017)



Gambar 2.9 *Injection blow molding* (Belcher, 2011)

Secara umum ada tiga *station* di *injection blow molding*, untuk menyelesaikan siklus proses. Proses dibagi menjadi tiga langkah yaitu *injection*, *blow* dan *ejection*

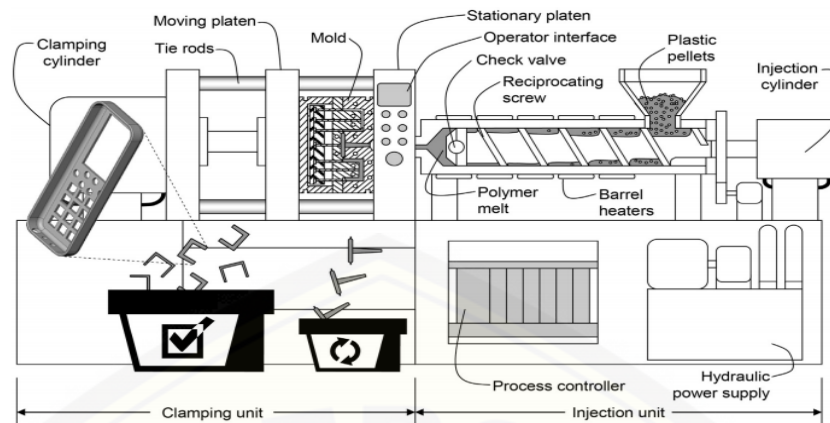
- *Perform mold station* adalah *perform* sebagai pentransfer pada batang logam, yang disebut batang inti. Plastik diinjeksi dibentuk ke pin inti, maka pin inti diputar ke *blow molding station* dan akan didinginkan.
- *Blow mold station* adalah cetakan *perform* terbuka dan batang inti diputar sehingga menjepit kedalam rongga cetakan yang didinginkan

- *Station stripper* setelah proses pendinginan cetakan terbuka dan batang inti diputar ke posisi *ejection*. Selesai hasil plastik di lucuti dari batang inti dan uji kebocoran sebelum pengepakan (Sokkalingam, 2007)

#### 2.3.4 Injection Molding

*Injection molding* adalah proses siklus yang digunakan untuk membuat bagian yang sangat rumit untuk toleransi yang tinggi. Meskipun banyak variasi parameter yang digunakan pada proses *injection molding*, parameter yang sering digunakan antara lain: plastikasi, injeksi, pengepakan, pendinginan dan pengaturan ulang cetakan. Selama proses plastikasi, polimer meleleh adalah *plasticized* dari butiran plastik atau pelet melalui kombinasi konduksi panas dari laras yang dipanaskan dan pemanasan viskositas internal yang disebabkan oleh deformasi molekul dengan rotasi sekrup. Selama tahap pengisian, polimer mencair dan dipaksa dari laras mesin cetak kedalam cetakan. Cairan plastik leleh berpindah melalui rongga atau gerbang cetakan. Kemudian parisson memenuhi rongga cetakan dimana akan menghasilkan produk yang diinginkan. Saat polimer mencair dan mengalir pada rongga cetakan, tekanan leleh pada *injection molding* jauh lebih tinggi daripada *exstrusion* dan *blow molding*. Setelah rongga cetakan di isi dengan polimer leleh, tahap pengepakan diberi tekanan untuk mengembangkan produk. Kerusakan volume (*shrinkage*) bervariasi dengan sifat material dan proses penginjeksian. Setelah polimer leleh berhenti mengalir, tahap pendinginan memberi waktu untuk polimer leleh mengeras dan menjadi cukup kaku untuk dikeluarkan dari cetakan. Kemudian mesin cetakan menggerakkan inti, slide dan pin yang berfungsi untuk membuka cetakan. *Injection molding* cenderung tidak hanya menghitung waktu siklus tercepat karena pendinginan juga sangat berpengaruh pada proses produksi *injection molding*. Contoh gambar mesin *injection molding* dapat dilihat pada Gambar 2.10 (Kazmer, 2017)





Gambar 2.10 *Plastic injection molding* (Kazmer, 2017)

*Injection molding* memiliki komponen – komponen dalam berbagai konfigurasi, antara lain konfigurasi vertikal dan konfigurasi horizontal. semua mesin *injection molding* menggunakan penggerak, unit injeksi, cetakan, dan unit penjepit untuk melakukan empat tahap dari siklus proses.

#### 1. Unit Injeksi (*Injection Unit*)

Unit injeksi mempunyai peranan dalam pemanasan dan penyuntikan bahan ke dalam cetakan. komponen pertama pada unit injeksi adalah *hopper*, tempat wadah bahan mentah dituangkan. *Hopper* merupakan tempat memasukan bahan ke dalam *barrel* dan *barrel* mempunyai fungsi untuk memanaskan bahan dan menyuntikkan bahan menuju cetakan. mekanisme ini dibantu oleh sebuah *ram* atau *screw* untuk mendorong bahan. *Screw* bekerja memutar kedepan dan bergeser secara aksial dalam sistemnya yang didukung oleh motor listrik atau motor hidrolis. Bahan akan meleleh oleh tekanan dan gesekan yang disebabkan oleh pemanas yang mengelilingi *screw*. plastik cair kemudian disuntikkan menuju cetakan dengan cepat melalui *nozzle*. Tekanan yang tepat dapat membuat plastik memenuhi cetakan dan menghasilkan produk yang sesuai keinginan.

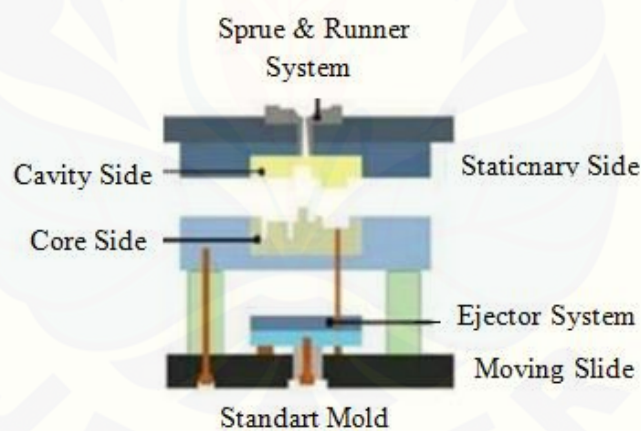
#### 2. Unit Penjepit (*Clamping Unit*)

Sebelum proses penginjeksian plastik leleh ke dalam cetakan, kedua sisi cetakan harus tertutup dengan aman oleh unit penjepit. Ketika cetakan sudah terhubung pada unit injeksi, pada bagian depan penjepit terdapat rongga untuk tempat masuknya plastik leleh yang menjadi *nozzle*. Pada bagian belakang cetakan

disebut inti cetakan yang menempel pada plat penjepit. Plat penjepit pada bagian belakang dapat di gerakan untuk mengunci cetakan maupun membuka cetakan. Biasanya penjepit menggunakan motor hidrolik untuk proses bergerak. Pada proses penjepitan harus benar – benar tertutup dengan rapat pada saat proses penginjeksian, kemudian diberi perlakuan pendinginan. Setelah diberi waktu perlakuan pendinginan yang dirasa cukup, kemudian cetakan dibuka dan mengeluarkan hasil penginjeksian plastik (Sokkalingam, 2007)

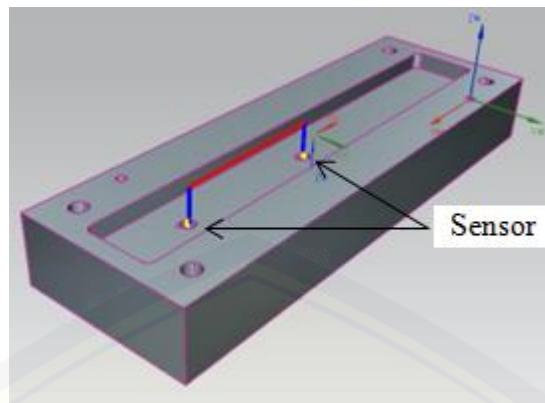
### 3. Unit cetakan (*Mold Unit*)

Unit cetakan merupakan bagian terpenting pada proses injeksi molding, karena hasil produk akan mengikuti bentuk cetakan. Setelah plastik leleh masuk ke dalam cetakan dan mengalami pendinginan akan menghasilkan produk yang sesuai bentuk cetakan. Banyak jenis cetakan yang disesuaikan dengan produk yang akan dibuat. Gambar bagian-bagian cetakan injection molding disajikan pada Gambar 2.11

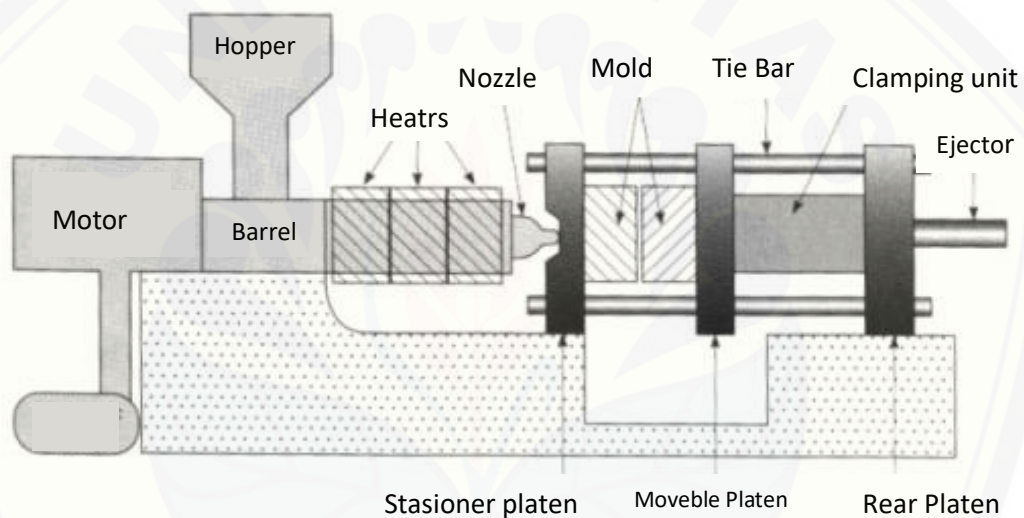


Gambar 2.11 Bagian unit cetakan (Prasetya, 2015)

Pada penelitian ini cetakan akan diberikan sebuah sensor suhu yang akan dapat mengendalikan suhu cetakan. Sensor akan mendeteksi berapa suhu pada cetakan. Contoh cetakan yang akan diberi sensor terdapat pada gambar 2.12



Gambar 2.12 Posisi sensor panas pada cetakan (Kyas, 2012)



Gambar 2.13 Unit *injection molding* (Purba, 2017)

Ada beberapa parameter – parameter yang berpengaruh terdapat pada proses injeksi molding, antara lain:

1. Temperatur Leleh (*Melt Temperature*)

Temperatur leleh merupakan batas suhu leleh dimana bahan plastik akan mulai meleleh disebabkan oleh pemanasan pada *barrel*. Titik suatu plastik berbeda – beda tergantung sifat plastik tersebut. Pada proses pelelehan bahan perlu diperhatikan, seperti bahan plastik apa yang akan dilelehkan, karakterisasi mesin injeksi, dan berat material yang akan diinjeksi.

## 2. Batas Tekanan

Batas tekanan adalah batas tekanan saat penginjeksian plastik leleh. Tekanan saat penginjeksian sangat berpengaruh terhadap hasil produk. Tekanan yang terlalu rendah akan membuat plastik leleh tidak bisa masuk pada cetakan. Sedangkan tekanan yang terlalu besar akan membuat plastik leleh masuki cetakan dengan sangat cepat yang bisa membuat plastik leleh menjadi berhamburan dan produk kurang optimal.

## 3. Waktu Tahan (*Holding Time*)

Waktu tahan adalah waktu yang diperlukan setelah proses mendorong plastik kedalam cetakan sesudah *injection pressure*. Pada tahap ini dilakukan untuk memastikan bahwa plastik benar – benar mengisi cetakan. Maka dari itu waktu tahan sangat berpengaruh pada besarnya cetakan. Sehingga cetakan yang besar akan memerlukan waktu tahan yang lama dan sebaliknya.

## 4. Tekanan Injeksi (*Injection Pressure*)

Tekanan injeksi adalah tekanan yang diperlukan untuk memasukkan plastik leleh kedalam cetakan. Pada proses ini tekanan akan menggerakkan *screw* kedepan yang akan memasukkan plastik leleh pada cetakan melalui *nozzle*. Tekanan injeksi sangat berpengaruh terhadap kualitas produk karena tekanan injeksi yang tepat akan membuat plastik leleh memenuhi rongga cetakan dengan baik.

## 5. Kecepatan Injeksi (*Injection Rate*)

Kecepatan injeksi merupakan kecepatan laju dorong plastik leleh keluar dari *nozzle* untuk mengisi cetakan. Pada mesin injeksi tertentu kecepatan ini dapat diukur namun pada mesin injeksi sederhana biasanya tidak dilengkapi oleh alat pengukur kecepatan tersebut.

## 6. Ketebalan Dinding Cetakan (*Wall Thickness*)

Ketebalan dinding cetakan sangat berpengaruh terhadap terjadinya cacat *shrinkage*. Semakin tebal suatu cetakan maka akan besar pula kemungkinan terjadinya cacat *shrinkage*.

9. Waktu Pendingin (*Cooling time*)

Waktu pendingin akan dipengaruhi oleh material yang dipakai, ketebalan cetakan, suhu cetakan dan suhu leleh.

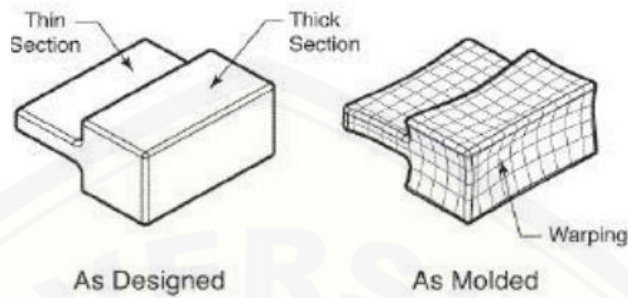
10. Temperatur Cetakan (*Mold temperature*)

Suhu cetakan adalah suhu yang dihasilkan dari pemanas pada cetakan. Panas dihasilkan dari pemanas akan merambat melalui dinding cetakan. Suhu cetakan sangat berpengaruh pada hasil dari proses injeksi molding

Pada produksi menggunakan mesin injeksi juga tidak terlepas dari terdapat beberapa cacat produk, cacat tersebut sering terjadi dan sangat merugikan. Beberapa cacat yang terjadi pada proses injeksi molding antara lain:

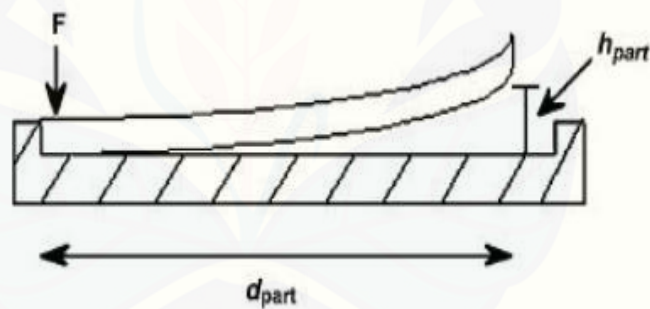
1. *Short molding* adalah cacat produk akibat dari pengisian yang tidak sempurna.
2. *Sink mark* adalah keadaan cacat produk yang berupa bentuk cembung pada permukaan produk.
3. *Air bubble* adalah cacat gelembung udara didalam produk.
4. *Weldmark* dan *Flow mark* adalah cacat yang berupa garis di permukaan produk.
5. *Discolored molding* adalah cacat berupa pelunturan warna pada produk.
6. *Black spot* adalah cacat berupa bintik hitam pada bagian – bagian tertentu pada produk.
7. *Hole/gap* adalah cacat berupa regangan pada bagian part yang dicetak akibat pengaruh temperatur yang kurang panas.
8. *Over molding* adalah cacat produk yang meluber akibat tekanan yang terlalu tinggi
9. *Flash* merupakan sebuah cacat produk yang berada dipinggir produk. Cacat ini terbentuk karena terbukanya celah pada cetakan pada proses pengisian atau pada fasa penahanan.
10. *Warpage* adalah cacat produk yang terlihat pada permukaan produk yang melengkung dan bengkok. Cacat *warpage* biasanya dipengaruhi oleh

parameter waktu tahan dan suhu cetakan. Contoh gambar cacat *warpage* disajikan pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Cacat *Warpage* (Dwi Prasetya, 2016)

Pengukuran cacat *warpage* dilakukan dengan menghitung selisih antara ketebalan produk yang sesuai spesifikasi dengan ketebalan hasil penginjeksian. Gambar pengukuran cacat *warpage* disajikan pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Pengukuran Cacat *Warpage* (Prasetya, 2016)

Persamaan 2.1 merupakan rumus perhitungan cacat *warpage* :

$$W = h_{part} / d_{part} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$W$  = *Warpage*

$h_{part}$  = Ketinggian *warpage* (mm)

$d_{part}$  = Diameter spesimen (mm)

## 2.4 Metode Taguchi

### 2.4.1 Konsep Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang diciptakan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan untuk menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode Taguchi berupa sebuah capaian sasaran dengan menjadikan produk atau proses tidak sensitif terhadap berbagai faktor – faktor yang berupa faktor material, perlengkapan manufaktur, sumber daya manusia, dan kondisi operasional. Metode Taguchi menjadikan produk dan proses bersifat kuat (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*), sebab itu metode ini biasa disebut sebagai perancangan kokoh (*robust design*).

Metode Taguchi merupakan salah satu metode yang dipakai dalam kegiatan *off-line quality control* pada tahap desain produksi. Taguchi menjelaskan bahwa produk yang memiliki kualitas yang sesuai spesifikasi toleransi tidak cukup dibilang tepat sebagai produk ideal. Namun produk yang memiliki kualitas sesuai spesifikasi merupakan produk yang terbaik.

Genichi Taguchi seorang konsultan pengendali kualitas mengemukakan tiga konsep yang mendasar yang bertujuan untuk menghasilkan produk yang berkualitas terbaik (*robust performance*)

1. *Quality Robustness*

Kualitas sebaiknya dirancang ke dalam produk dan tidak diinspeksikan kedalam produk tersebut, produk juga harus dapat dirancang kebal terhadap faktor – faktor lingkungan yang tidak dapat dikendalikan.

2. *Target Oriented Quality*

Kualitas didapatkan dari meminimalisirkan penyimpangan (deviasi) dari sebuah target.

3. *Quality Loss Function*

Kualitas biaya harus dihitung sebagai penyimpangan dari suatu standard dan perhitungan terhadap kerugian meliputi keseluruhan system yang ada.

Sehubungan dengan hal itu, maka Taguchi menekankan bahwa cara yang terbaik untuk meningkatkan kualitas adalah dengan merancang produk yang

dimulai sejak tahap desain produk. Sehingga dengan rancangan yang sudah diperhitungkan maka akan menghasilkan produk dengan kualitas terbaik pula. Oleh sebab itu kualitas secara langsung berhubungan dengan penyimpangan parameter rancang yang digunakan, bukan kesesuaian terhadap batasan spesifikasi toleransi yang sudah ditetapkan.

#### 2.4.2 *Orthogonal Array*

*Orthogonal array* merupakan sebuah desain eksperimen khusus yang merupakan desain faktorial. *Orthogonal* merupakan efek dari setiap tahap – tahap faktor secara matematis yang ditaksirkan secara independen dari efek faktor lain. Tabel *orthogonal array* terdiri kolom dan baris dimana baris menentukan jumlah eksperimen yang akan dilakukan sedangkan jumlah kolom menentukan jumlah faktor yang akan diamati. Taguchi menggunakan *orthogonal array* tidak Cuma untuk mengukur efek dari sebuah faktor pada nilai rata – rata. Dengan menggunakan *orthogonal array* dapat untuk mengetahui hubungan antar faktor. Disebut *orthogonal array* karena untuk setiap level pada setiap faktor dan jumlah semua levelnya sama. Hal ini menjadikan sebuah eksperimen dan efek dari suatu faktor akan dipisah dengan efek dari faktor lain. Sehingga dapat menentukan faktor mana saja yang memiliki efek yang lebih dan paling besar dengan mudah.

#### 2.4.3 *Rasio Signal to Noise (S/N)*

*Signal to noise (S/N)* digunakan untuk mengidentifikasi faktor – faktor yang mempengaruhi variasi respon. Taguchi menciptakan transformasi dari pengulangan data ke nilai lain yang merupakan ukuran dari variabel yang ada. Rasio S/N digunakan untuk mengetahui faktor mana yang berpengaruh terhadap hasil eksperimen. Transformasinya ialah *Signal to Noise Ratio* atau rasio S/N. Perhitungan rasio S/N dilakukan tergantung pada karakteristik mutu yang diinginkan. Karakteristik kulaitas ialah hasil dari sebuah proses yang berhubungan dengan kualitas. Taguchi membagi karakteristik kualitas menjadi tiga katagori, anantara lain :



### 1. *Nominal the better*

Merupakan sebuah produk yang dikatakan baik apabila pada karakteristik kualitas tersebut nilainya mendekati nilai target yang sudah ditentukan.

Nilai S/N untuk *nominal the better* adalah :

$$S/N_{Nr} = 10 \log \left( \frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\bar{y}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

### 2. *Larger the better*

Suatu produk yang memiliki kualitas yang baik apabila memiliki nilai yang semakin tinggi karakteristik kualitasnya.

Nilai S/N untuk *larger the better* adalah :

$$S/N_L = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

### 3. *Smaller the better*

Suatu produk yang dikatakan berkualitas baik apabila pada karakteristik kualitas tertentu memiliki nilai yang semakin rendah.

Nilai S/N untuk *smaller the better* adalah :

$$S/N = -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(y_i^2)}{n} \right] \dots\dots\dots(2.4)$$

#### 2.4.4 Perancangan Parameter

Taguchi mengembangkan perancangan parameter merupakan suatu langkah pengembangan dari suatu riset peningkatan kualitas yang menggunakan dasar perancangan tangguh (*robust*). Dalam rekayasa yang terpenting adalah dapat meningkatkan sebuah informasi tentang bagaimana perancangan parameter yang berbeda mempengaruhi unjuk kerja dibawah kondisi pemakai yang berbeda. Dalam merancang parameter ditunjukkan untuk meminimalisirkan pengaruh faktor – faktor yang tidak dapat dikendalikan (*controllable factors*).

#### 1. Identifikasi produk

Identifikasi produk merupakan tahap penggalihan informasi tentang produk yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan, yang berkaitan dengan faktor *support product*, *core product*, dan *reject* atau

jenis – jenis cacat yang terjadi. Biasanya sebuah informasi diperoleh dari diagram sebab akibat (*couseffect diagram*).

## 2. Penetapan faktor – faktor yang mempengaruhi produk

Ada dua faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas yaitu faktor tak terkendali (*noise*) dan faktor terkendali. Faktor terkendali adalah suatu faktor – faktor yang ditentukan oleh produsen selama fase perancangan produk, selama berjalannya proses pelanggan tidak bisa merubah secara mendadak. Faktor *noise* adalah faktor – faktor yang tidak dapat dikendalikan secara langsung oleh produsen dan faktor tak terkendali juga merupakan faktor yang nilainya tidak diingkinkan karena besarnya biaya yang dibutuhkan. Contoh perancangan sederhana Taguchi  $L8(2^7)$  disajikan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Percobaan rancangan parameter sederhana  $L8(2^7)$

Nomor	Faktor –faktor terkendali							Data	
	A	B	C	D	E	F	G		
Trial	Nomor kolom							y1	y2
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1	1	1	1	1	1	1	-	-
2	1	1	1	2	2	2	2	-	-
3	1	2	2	1	1	2	2	-	-
4	1	2	2	2	2	1	1	-	-
5	2	1	2	1	2	1	2	-	-
6	2	1	2	2	1	2	1	-	-
7	2	2	1	1	2	2	1	-	-
8	2	2	1	2	1	1	2	-	-

Sumber : Bonar Harahap, 2018

3. Perhitungan derajat kebebasan

Derajat kebebasan dipilih untuk menentukan tabel matriks *orthogonal* yang tepat. Faktor ditetapkan berlevel dua, maka harus menggunakan *orthogonal array* dua level

4. Pemilihan tabel matriks *orthogonal*

Dalam mengaplikasikan eksperimen dengan metode taguchi menggunakan tabel matriks *orthogonal*. Pemilihan tabel matriks *orthogonal* yang akan digunakan dalam percobaan dilakukan berdasarkan jumlah derajat bebas dari semua faktor yang digunakan dalam percobaan. Derajat bebas faktor didapatkan dari jumlah level faktor yang dikurangi satu. Total jumlah derajat bebas semua faktor tersebut dapat menunjukkan jumlah baris yang harus dimiliki matriks *orthogonal* yang akan dipakai.

5. Pelaksanaan percobaan

Menurut tabel matriks *orthogonal* yang telah ditentukan, kemudian melakukan percobaan sesuai kombinasi level faktor. Untuk mendapatkan presen nilai tafsiran yang lebih akurat mengenai efek dari suatu faktor maka harus dilakukan pengulangan (replikasi).

6. Analisis hasil percobaan

a. Langkah – langkah dalam menganalisa data untuk mengetahui besarnya kontribusi masing – masing faktor terhadap kualitas produk adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan derajat bebas
2. Pemilihan Matriks *orthogonal*
3. Menghitung rasio S/N untuk menganalisa faktor – faktor yang berpengaruh secara signifikan
4. Menghitung efek interaksi dari setiap faktor
5. Analisis variasi (ANOVA)

Tahap analisis ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kontribusi setiap faktor terhadap respon. Tabel ANOVA

dua arah terdiri dari perhitungan derajat bebas (db), jumlah kuadrat, dan rata – rata jumlah kuadrat.

#### 6. Menghitung persen kontribusi

Untuk menghitung persen kontribusi dari berbagai sumber dari analisis varian kita perlu menghitung jumlah kuadrat sesungguhnya dan dibagi dengan jumlah kuadrat total.

Tabel 2.5 ANOVA

Sumber Variasi	Derajat Bebas (df)	Jumlah Kuadrat (SS)	Rata-rata SS (MS)	F Hitung	Presen Kontribusi (%)
Faktor A	Va	SSa	MSa	MSa/MSe	SS'A/SST
Faktor B	Vb	SSb	MSb	MSb/MSe	SS'B/SST
Interaksi AxB	VAXB	SSAXB	MSAXB	MSAXB/MSe	SS'AXB/SST
Residual	Ve	SSe	MSe		SS'e/SST
Total	VT	SST	MST		100%

Sumber : Ermawati dan Hartati, 2014

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium jurusan Teknik Mesin Universitas Jember. Waktu penelitian dijadwalkan bulan Oktober 2018 sampai Januari 2019. Proses yang dilakukan meliputi persiapan alat, pengambilan data, analisa data, dan pengambilan kesimpulan.

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat

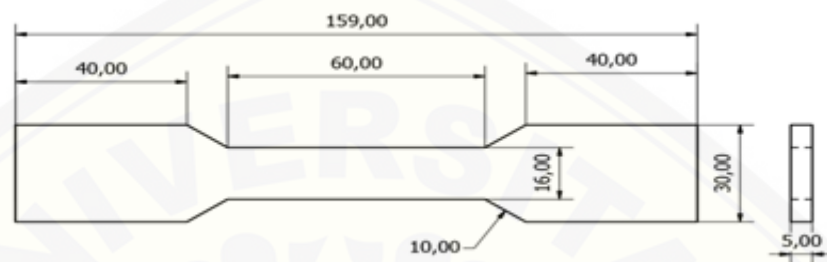
1. Alat yang dipakai pada penelitian ini ialah mesin injeksi molding pneumatik dengan spesifikasi sebagai berikut:
  - a. Tipe : *Injection Pneumatic*
  - b. Tekanan kompresor : 8 bar
  - c. Dimensi : 550 x 500 x1060 mm
  - d. Temperatur : Min 20°C – max 450°C
  - e. Tegangan arus : 220 volt



Gambar 3.1 Mesin injeksi molding pneumatik

### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah plastik jenis PP (*Polypropilene*) dan serbuk alumunium (Al) sebagai pengisi. Contoh gambar spesimen ASTM A370 disajikan pada Gambar 3.2 dan gambar cetakan disajikan pada lampiran A.



Gambar 3.2 Produk ASTM A370

## 3.3 Tahap Penelitian

Langkah awal yang dilakukan pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui informasi yang berkaitan dengan permasalahan yang akan diteliti dan mendapatkan solusi dari permasalahan tersebut, yaitu terdiri dari:

### A. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan tujuan untuk mencari informasi yang berkaitan dengan permasalahan yang akan diteliti. Informasi yang akan dibutuhkan bisa didapat pada penelitian terdahulu, jurnal, buku dan internet yang relevan dengan permasalahan yang diteliti. Tujuan lain dari tahap studi pustaka adalah untuk mengetahui atau memperoleh teori dan konsep yang akan dijadikan landasan dan kerangka berfikir dalam menyelesaikan masalah.

### B. Identifikasi Masalah

Banyak sekali masalah yang didapat dari proses produksi menggunakan mesin *injection molding*, salah satunya adalah terjadinya cacat. Cacat yang terjadi pada produk sangat merugikan produsen karena akan mengurangi pendapatan perusahaan. Biaya produksi dan waktu produksi yang terbuang percuma akibat kegagalan produk merupakan

penyebab dari kerugian perusahaan. Para produsen pun mencari solusi dari kegagalan produksi tersebut. Dengan menggunakan metode taguchi sangat membantu dalam mengolah data pada proses produksi agar mendapatkan parameter yang tepat untuk produksi selanjutnya. Pada penelitian ini memvariasikan parameter yang berpengaruh terhadap pengoptimalan produk agar mendapatkan produk yang optimal tanpa cacat *warpage*.

#### C. Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Setelah mendapat jurnal yang akan dibuat acuan dan mengetahui permasalahan yang akan diteliti tahap selanjutnya adalah menentukan perumusan masalah dan penentuan tujuan penelitian. Perumusan masalah dan penentuan tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui *setting* parameter yang optimal dengan menggunakan metode taguchi yang diterapkan pada mesin injeksi molding yang memproduksi spesimen uji tarik. Tujuan dari penelitian ini untuk memperoleh parameter yang optimal terhadap cacat *warpage*.

#### D. Penetapan Variable Faktor dan Level yang digunakan Serta Respon Variable

Ada beberapa variable dan faktor yang berpengaruh terhadap *injeksi molding*. Dalam penelitian ini terdapat beberapa variable yaitu meliputi :

##### 1. Variable Respon

Variable respon ialah variabel yang diamati pada penelitian. Dalam penelitian ini variable respon yang dipilih adalah Cacat *Warpage*.

##### 2. Variabel Bebas

Variable yang besar dapat ditentukan dan dikendalikan berdasarkan pertimbangan tertentu dan tujuan dari penelitian ini. Terdapat variable sangat berpengaruh dan bisa dikendalikan pada proses injeksi molding. Pada penelitian ini diambil dua faktor kendali yang diduga memiliki pengaruh yang penting terhadap cacat *warpage*. Faktor – faktor tersebut antara lain:

- a.  *Holding time*
  - b.  *Mold temperature*
3. Variabel Konstan

Variabel konstan merupakan variabel yang tidak termasuk dalam penelitian dan nilai dari variabel tersebut sama atau tidak berubah selama percobaan, variabel yang menjadi variabel konstan pada penelitian ini adalah

- a.  *Barrel temperature*
- b.  *Injection pressure*

### 3.4 Rancangan Percobaan

#### 3.4.1 Penentuan Variabel

Penentuan variabel – variabel pada mesin injeksi molding dilakukan sesuai variabel yang dipakai pada penelitian sebelumnya. Penentuan variabel – variabel yang digunakan ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 3.1 Variabel – variabel yang digunakan pada proses Injeksi molding

Kode	Variabel	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	<i> Holding time</i>	Sec	12	15	18
B	<i> Mold temperature</i>	°C	40	60	80

#### 3.4.2 Penentuan *Matriks Ortogonal*

Penentuan *matriks ortogonal* berdasarkan parameter dan level dari setiap parameter kendali. *Matriks ortogonal* harus mempunyai derajat kebebasan yang lebih besar atau sama dari pada derajat kebebasan parameter yang ditetapkan.

Tabel 3.2 Jumlah derajat kebebasan parameter kendali

Parameter Kendali	Jumlah Level	Df = k – 1
<i> Holding time</i>	3	2
<i> Mold temperature</i>	3	2
Total		4



Rancangan desain faktorial 3 level dengan 2 pengambilan data secara random menggunakan Minitab. Pada tabel 3.2 menunjukkan bahwa derajat kebebasan berjumlah empat. Sehingga *matriks ortogonal* yang tepat pada percobaan ini dengan derajat kebebasan empat adalah  $L_9(3^2)$ . Tabel *matriks ortogonal*  $L_9$  disajikan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 *Matriks ortogonal*  $L_9$ 

Nomer Percobaan	Parameter Kendali	
	A	B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

Data penelitian diatas akan diolah seperti Tabel 3.4 percobaan sebagai berikut:

Nomer	<i>Control Factor</i>		Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3	Cacat <i>Warpage</i>
	<i>holding time (s)</i>	<i>mold temperature (°C)</i>				
1	12	40				
2	12	60				
3	12	80				
4	15	40				
5	15	60				
6	15	80				
7	18	40				
8	18	60				
9	18	80				

Pada percobaan tersebut dilakukan pengulangan data sebanyak tiga kali agar mendapatkan nilai yang akurat.

### 3.4.3 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Analisis variansi (ANOVA) digunakan sebagai alat untuk menentukan variabel proses yang pengaruhnya signifikan dan kontribusi yang besar terhadap variabel respon. Analisis variansi menggunakan S/N rasio dipilih pada penelitian ini, analisis ini merupakan respon yang mewakili keseluruhan respon. Perhitungan ANOVA S/N rasio pada setiap variabel proses dapat dihitung menggunakan rumus pada tabel 3.5 analisis variasi :

Tabel 3.5 Analisis variansi (ANOVA)

Variasi	Degree of Freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean of Square (MS)	F hitung (F0)
Faktor A	$V_A = k_A - 1$	$SSA = n_A \sum (A_i - \bar{y})^2$	$MSA = SSA/df_A$	$MSA/MSE$
Faktor B	$V_B = k_B - 1$	$SSB = n_B \sum (B_i - \bar{y})^2$	$MSB = SSB/df_B$	$MSB/MSE$
Faktor C	$V_C = k_C - 1$	$SSC = n_C \sum (C_i - \bar{y})^2$	$MSC = SSC/df_C$	$MSC/MSE$
Error	$V_E = df_T - df_A - df_B - df_C$	$SSE = SST - SSA - SSB - SSC$	$MSE = SSE/df_E$	
Total	$V_T = N - 1$	$SST = \sum (y_i - \bar{y})^2$		

Perhitungan dari analisis variansi dilakukan menggunakan rumus :

- Menghitung jumlah kuadrat total ( *sum of square* )  
 $SST = \sum (y_i - \bar{y})^2$
- Menghitung jumlah kuadrat setiap variabel proses ( *sum of square* )  
 $SSA = n_A \sum (A_i - \bar{y})^2$
- Menghitung kuadrat tengah ( *mean of square* )  
 $MSA = SSA/df_A$

Tabel 3.6 Analisa variansi (ANOVA) dari data eksperimen

Variabel Proses	DF	SS	MS	F	P value	Persen
Holding time						
Mold temperature						
Error						
Total						

### 3.5 Langkah – langkah Percobaan dan Pengambilan Data

Untuk tahap ini dilakukan suatu eksperimen untuk melihat variasi parameter yang optimal pada hasil produk. Metode yang dipakai adalah metode taguchi yang dimanfaatkan untuk metode pemecahan masalah. Tahap yang disusun antara lain:

#### 1. Pelaksanaan eksperimen

Pada tahap ini langkah – langkah percobaan yang akan dilaksanakan yaitu:

- 1) Mencari dan mempelajari data dan menentukan parameter serta karakteristik bahan
- 2) Mencari dan mengumpulkan referensi yang berhubungan dengan cacat *warpage* pada injeksi molding
- 3) Menvariasikan dan menganalisa data dengan merujuk pada referensi
- 4) Mempersiapkan alat – alat dan bahan
- 5) Menimbang bahan plastik dengan campuran
- 6) Mencampur bahan sampai tercampur merata
- 7) Memasang  *mold*  pada pencekam yang berada pada meja mesin injeksi molding
- 8) Mengatur parameter sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan pada mesin injeksi molding
- 9) Mencatat hasil nilai dari setiap parameter yang digunakan
- 10) Mematikan dan membersihkan mesin injeksi molding jika telah selesai digunakan
- 11) Menghitung dan analisa cacat *warpage* dengan aplikasi imageJ

#### 2. Pengambilan data

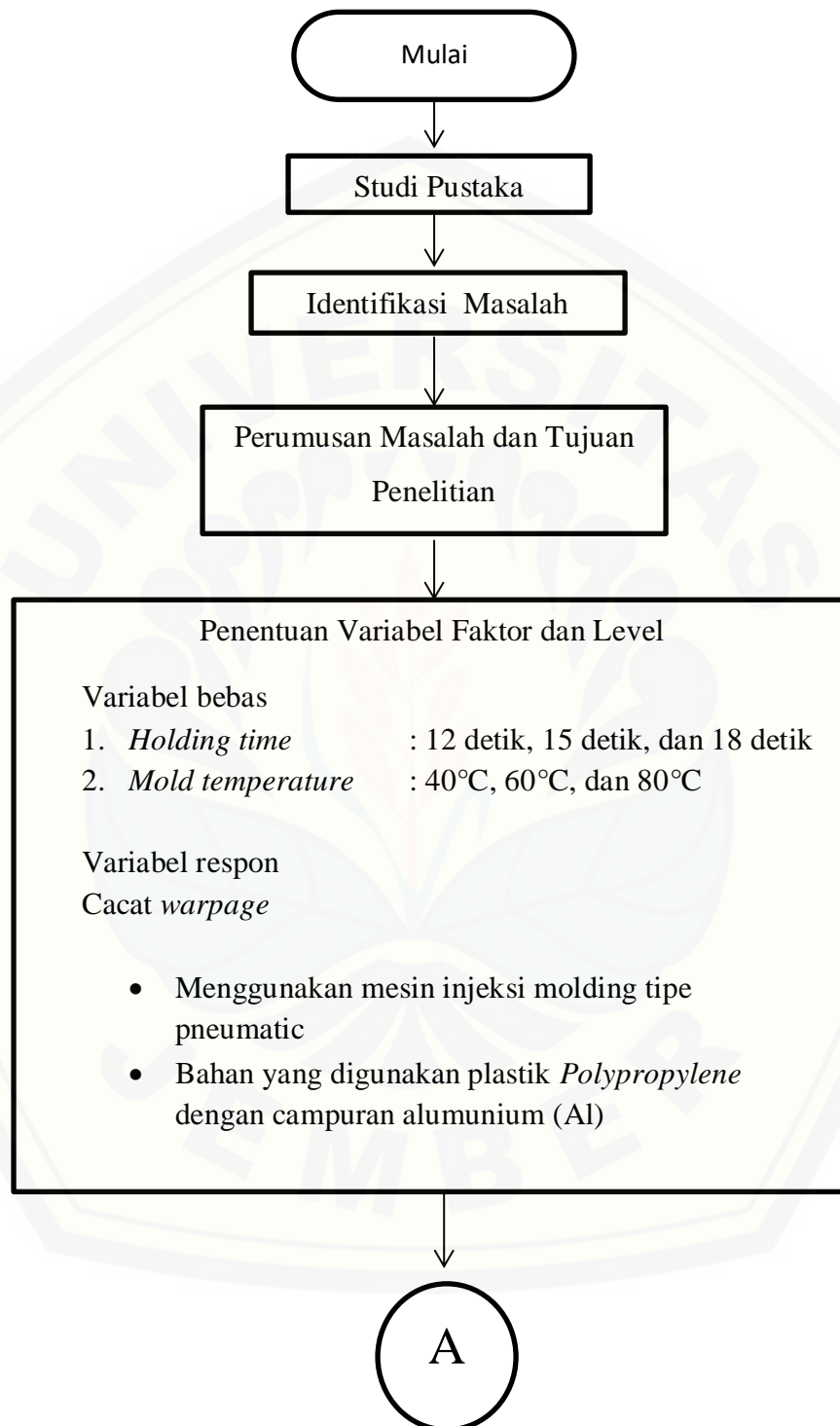
Metode Taguchi digunakan untuk menganalisa parameter yang telah ditetapkan  *mold temperature*  dan  *holding time* . Dengan mengikuti semua prosedur dengan benar maka akan menghasilkan nilai – nilai yang optimal.

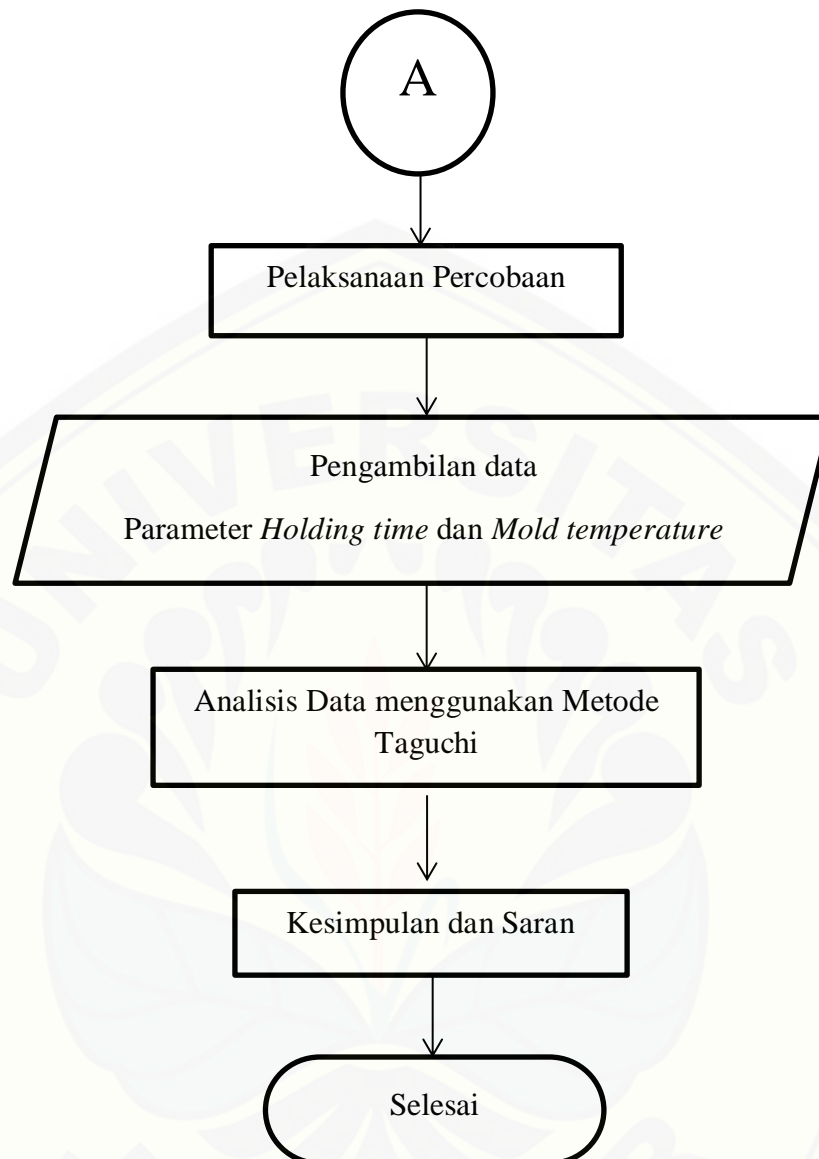
### **3.6 Tahap Penarikan Kesimpulan**

Tahap penarikan kesimpulan merupakan tahap akhir dari penelitian ini. Pada tahap ini yang dilakukan adalah menganalisa dan menginterpretasi (tafsir) terhadap hasil pengolahan data. Dari hasil melakukan analisa dan interpretasi dapat menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai jawaban atas perumusan masalah yang telah diteliti. Serta dapat memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.



## 3.7 Diagram Alir





Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian data analisis yang sudah dilakukan menggunakan seperangkat aturan dalam metode Taguchi, maka dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa:

- a. Parameter *holding time* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai cacat *warpage* dengan pengaruh sebesar 90%. Sedangkan pada parameter *mold temperature* mempunyai pengaruh terhadap cacat *warpage* namun tidak sebesar parameter *holding time* dan memiliki pengaruh sebesar 8%.
- b. Dihasilkan kondisi optimal *setting* parameter pembuatan spesimen uji tarik yaitu dengan kombinasi parameter *holding time* sebesar 18 detik dan parameter *mold temperature* sebesar 60 °C, menghasilkan nilai cacat *warpage* paling kecil yaitu 1 %.

### 5.2 Saran

Bedasarkan analisis data penelitian dari hasil penelitian pembuatan spesimen uji tarik dengan bahan Al-PP di laboratorium Teknik Universitas Jember, penulis memberikan saran sebagai berikut:

- a. Jumlah parameter atau faktor dalam mesin *injection molding* masih banyak yang belum dikaji. Jadi untuk penelitian selanjutnya supaya mengkaji ulang parameter yang digunakan. Sehingga didapatkan data analisis yang lebih lengkap mengenai pengaruh faktor terhadap hasil produksi *injection molding*.
- b. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya menghitung waktu siklus (*cycle time*).
- c. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya agar membenahi bagian-bagian mesin injeksi pneumatik di laboratorium Teknik mesin Universitas Jember terutama pada bagian pencetak.



## DAFTAR PUSTAKA

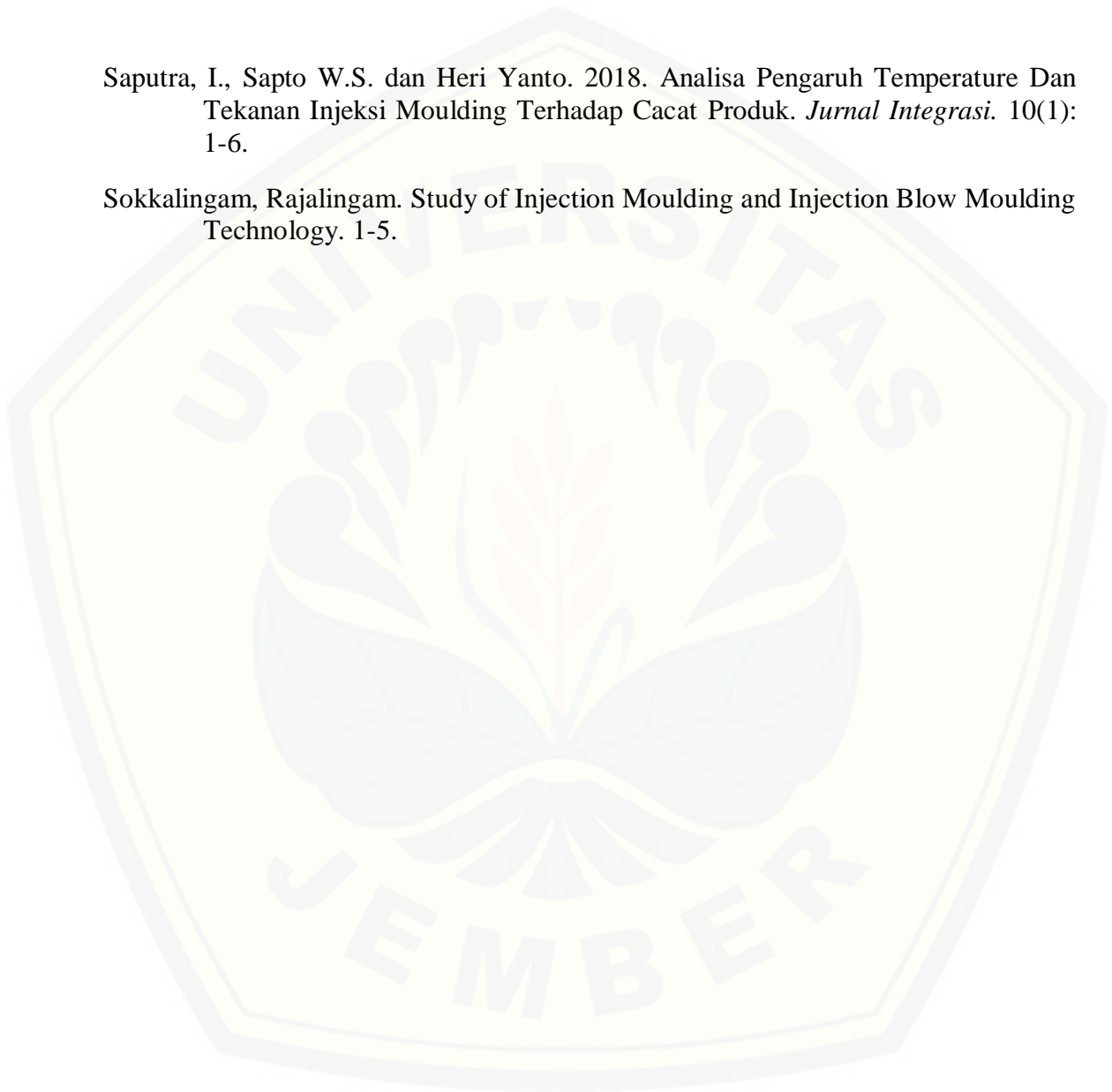
- Bagherzadeg, F.R. Biglari dan K. Nikbin. 2009. Parameter Study of Stretch-Blow Moulding Process of Polyethylene Terephthalate Bottle Using Finite Element Simulation. *Journal of Engineering Manufacture ResearchGate* 224:1217-1227
- Belcher, Samuel L. 2011. Blow Molding Applied Plastics Engineering Handbook. 267-288.
- Berginc, B, Z. Kampus dan B. Sustarsic. 2006. The use of the Taguchi approach to determine the influence of injection-molding parameters of the properties of green parts. *Journal of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering*. 15(1-2): 63-70.
- Cahyadi, Dadi. 2010. Analisis Parameter Operasi pada Proses Plastik Injection Moulding untuk Pengendalian Cacat. *Jurnal SINTEK*. 8(2) : 8-16.
- Gibran, M.K. dan FX Kristianta. 2016. Optimasi Waktu Siklus Produksi Kemasan Produk 50 ml pada Proses Blow Molding dengan Metode Respon Permukaan. *Jurnal ROTOR*. 9: 1.
- Irawan, Yudi S., 2013. Material Teknik. *Jurnal Material*.
- Kazmer, David. 2017. Design of Plastic Parts. *Journal Applied Plastic of Engineering HandBook*. 535-551
- Klein, Rolf. 2011. *Laser Welding of Plastic*. *Journal HandBook*. 2: 1-5.

- Kyas, K dan J. Cerny, 2012. Measuring of Temperature and Pressure in Injection Molding. *International Journal of Matematics And Computers In Simulation*. 6(6): 600-607.
- Maryanti, B., A.A. Sonief dan S. Wahyudi. 2011. Pengaruh Alkalasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan tarik. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2(2): 123-129.
- Mujiarto, Iman. 2005. Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. *Jurnal Traksi*. 3(2): 65.
- Musthofa, Ariezal dan Moch. Arif Irfa'i. 2014. Penentuan Setting Parameter Botol DK 8251 B pada Proses Blow Moulding dengan kenggunakan RSM ( Response Surface Methodology ) Studi Kasus di PT. Packaging Indonesia. *JTM*. 02(03): 47-55.
- Paralikar H.A., S.U. Ratnaparkhi dan Mr. Patil. 2016. Mold Flow Simulation of Bellypan for Feeding and Warpage. *Volume (2) Issue: 5*
- Praksanko, Andika W. 2017. Analisis Parameter Injection Molding terhadap Waktu Siklus dan Cacat Flash Produk Botol 180 ml menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal ROTOR*. 10(1): 45-50.
- Prasetya, J.D., 2016. Analisa Pengaruh Waktu Tahan Terhadap Cacat Warpage Pada Proses Injeksi Plastik Bahan Polypropylene (PP). *Jurnal Naskah Publikasi Tugas Akhir*. 1-11.
- Purba, S.Y., Muhammad Hasan A, dan Nugroho P.A. 2017. Pengaruh Temperatur Media Pendingin dan Cycle Time terhadap Defect Crack line pada Produk SP 04 Haemonetics. *Jurnal Integrasi*. 9(1):48-52.

Rao, Jahannatha M.B. dan Dr. Ramni. 2013. Analysis of Plastic Flow in Two Plate Multi Cavity Injection Moulding for Plastic component for Pump Seal. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 3(8): 1-4.

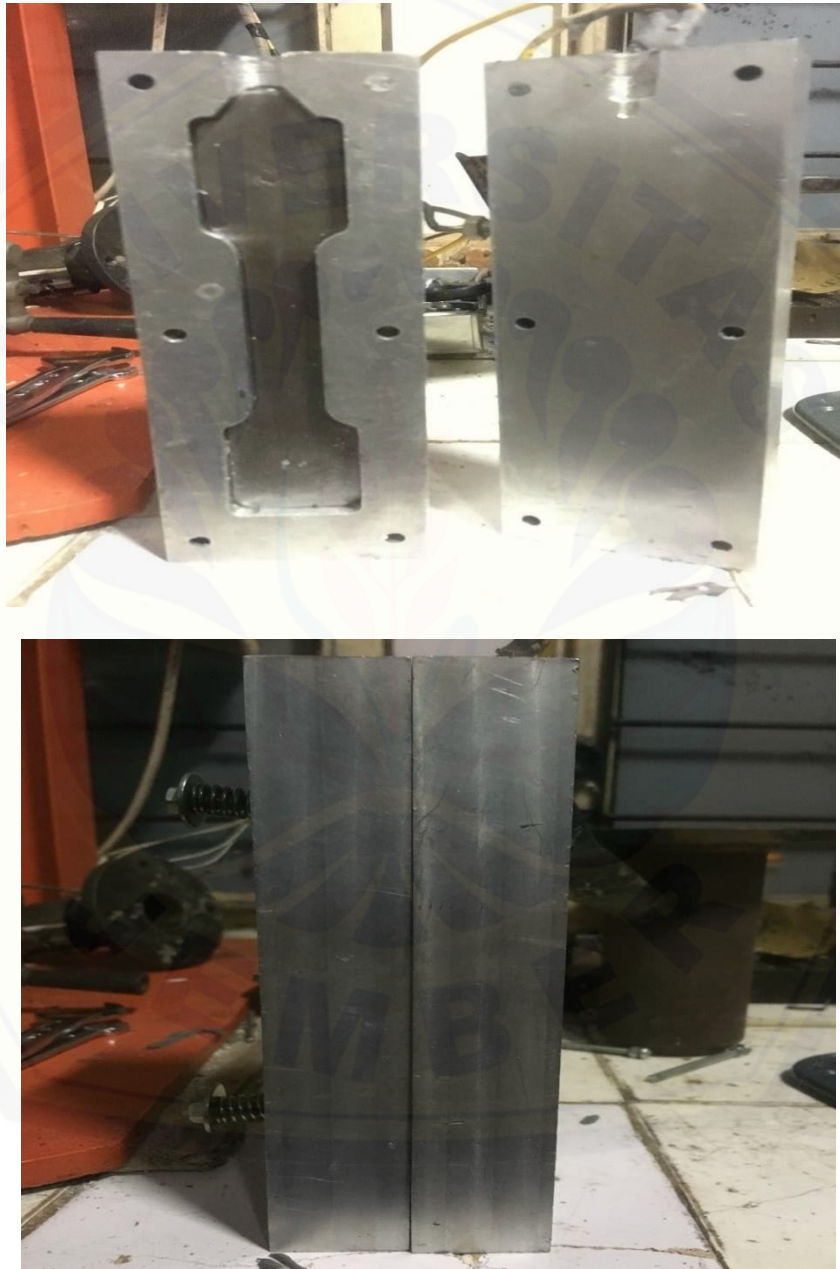
Saputra, I., Sapto W.S. dan Heri Yanto. 2018. Analisa Pengaruh Temperature Dan Tekanan Injeksi Moulding Terhadap Cacat Produk. *Jurnal Integrasi*. 10(1): 1-6.

Sokkalingam, Rajalingam. Study of Injection Moulding and Injection Blow Moulding Technology. 1-5.



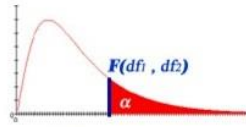
**Lampiran**

Lampiran A. cetakan



Gambar A. Cetakan injeksi molding

Lampiran B. F tabel



F Table for  $\alpha = 0.05$

/	df <sub>1</sub> =1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
df <sub>2</sub> =2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

## Lampiran C. Data analisis mini tab

↓	C1	C2	C3	C4 <input checked="" type="checkbox"/>	C5
	HT	MT	Warpage	SNRA1	MEAN1
3	12	80	0.233376	12.6389	0.233376
4	15	40	0.040536	27.8433	0.040536
5	15	60	0.024686	32.1510	0.024686
6	15	80	0.073185	22.7115	0.073185
7	18	40	0.010788	39.3408	0.010788
8	18	60	0.006964	43.1424	0.006964
9	18	80	0.021051	33.5347	0.021051

Gambar C.1 Data Awal Mini Tab

## Taguchi Design

### Design Summary

Taguchi Array L9(3<sup>2</sup>)

Factors: 2

Runs: 9

Columns of L9(3<sup>4</sup>) array: 1 2

Gambar C.2 Design Summary

### Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

Level	HT	MT
1	14.07	27.27
2	27.57	30.08
3	38.67	22.96
Delta	24.61	7.12
Rank	1	2

Gambar C.3 Small is Better

## Autocorrelation Function: SNRA1

### Autocorrelations

Lag	ACF	T	LBQ
1	0.542076	1.63	3.64
2	0.163980	0.39	4.02
3	0.054505	0.13	4.07
4	-0.140280	-0.33	4.46
5	-0.321596	-0.74	7.02
6	-0.439498	-0.96	13.39
7	-0.277422	-0.55	17.20
8	-0.081764	-0.16	17.86

Gambar C.4 Data ACF

### Lampiran D. Luas *pattern*

