



**PENGARUH VARIASI *BARREL TEMPERATURE*, *INJECTION PRESSURE*, DAN *COOLING TIME* TERHADAP CACAT *WARPAGE* PADA PROSES *INJECTION MOLDING* (AI-PP)**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Dheo Ardi Nugraha Saputra**

**171910101114**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**



**PENGARUH VARIASI *BARREL TEMPERATURE*, *INJECTION PRESSURE*, DAN *COOLING TIME* TERHADAP CACAT *WARPAGE* PADA PROSES *INJECTION MOLDING* (AI-PP)**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Mesin dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Dheo Ardi Nugraha Saputra**

**NIM 171910101114**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**

## PERSEMBAHAN

Laporan Proyek Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Ibunda Sri Rahayu dan Ayahanda Katijan yang tercinta, terima kasih atas pengorbanan, usaha, kasih sayang, dorongan, nasehat dan air mata yang menetes dalam setiap untaian do'a yang senantiasa mengiringi setiap langkah bagi perjuangan dan keberhasilan penulis;
2. Guru-guru sejak TK hingga SMA, dosen, dan seluruh civitas akademika Universitas Jember khususnya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin yang telah menjadi tempat menimba ilmu dan telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran;
3. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.
4. Dulur-dulur Teknik Mesin angkatan 2014 yang telah memberikan do'a, dukungan, kontribusi, ide dan kritikan;

**MOTO**

*“Orang-orang hebat di bidang apapun bukan baru bekerja karena mereka terinspirasi,  
namun mereka menjadi terinspirasi karena mereka lebih suka bekerja.*

*Mereka tidak menyia-nyiakan waktu untuk menunggu inspirasi”*

*( Ernest Newman )\**

atau

*“Ilmu itu diperoleh dari lidah yang gemar bertanya serta akal yang suka berfikir”*

*( Abdullah bin Abbas )\**

atau

*“Solidarity Forever”*

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dheo Ardi Nugraha Saputra

NIM : 171910101114

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Variasi *Barrel Temperature*, *Injection Pressure* Dan *Cooling Time* Terhadap Cacat *Warpage* Pada Proses *Injection Molding* (AI-PP)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Maret 2019

Yang menyatakan,

Dheo Ardi Nugraha Saputra  
171910101114

**SKRIPSI**

**PENGARUH VARIASI *BARREL TEMPERATURE*, *INJECTION PRESSURE*, DAN *COOLING TIME* TERHADAP CACAT *WARPAGE* PADA PROSES *INJECTION MOLDING* (AI-PP)**

Oleh

Dheo Ardi Nugraha Saputra  
NIM 171910101114

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Hary Sutjahjono, S.T.,M.T.

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

**PENGESAHAN**

Skripsi yang berjudul ” Pengaruh Variasi *Barrel Temperature*, *Injection Pressure* dan *CoolingTime* Terhadap Cacat *Warpage* Pada Proses *Injection Molding* (Al-PP)” karya Dheo Ardi Nugraha Saputra telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 20 Maret 2019

tempat : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

**Pembimbing**

Pembimbing Utama,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.  
NIP 196812051997021002

Pembimbing Anggota,

Danang Yudistiro, S.T., M.T.  
NIP 197902072015041001

**Penguji**

Penguji I,

Dr. Agus Triono, ST., M.T.  
NIP 197008072002121001

Penguji II,

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.  
NIP 19681207 199512 1 002

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M  
NIP 19661215 199503 2 001

**RINGKASAN**

**PENGARUH VARIASI *BARREL TEMPERATURE*, *INJECTION PRESSURE* DAN *COOLING TIME* TERHADAP CACAT *WARPAGE* PADA PROSES *INJECTION MOLDING* (AL-PP)**

Dheo Ardi Nugraha Saputra, 171910101114; 2019; 49 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Plastik merupakan suatu polimer yang memiliki sifat karakteristik unik dan luar biasa. Plastik diketahui sebagai bahan yang serbaguna, murah, tidak mudah korosi, dan dapat didaur ulang. Dengan bahan pengikat (*binder*) plastik dapat dipadukan dengan unsur metal yaitu alumunium. Alumunium merupakan suatu logam ringan yang memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Alumunium dipilih sebagai bahan paduan karena mempunyai kekuatan dan keuletan yang cukup baik pula.

Dekade terakhir ini plastik paduan metal dapat diproses dengan suatu metode yang disebut *injection molding*. *Injection molding* adalah suatu proses yang digunakan dalam membuat produk berbahan plastik. Metode *injection molding* memiliki kelebihan yaitu tidak ada batasan kerumitan dalam desain produk, dapat meghasilkan variasi yang luas, ukuran produk dapat dicetak mulai produk kecil hingga besar, dan menghasilkan produk yang memiliki toleransi presisi yang sangat baik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi parameter proses yaitu *barrel temperature*, *injection pressure*, *cooling time* terhadap cacat *warpage* produk *injection molding*, dan mengetahui variasi parameter optimum pada proses *injection molding* agar cacat *warpage* pada spesimen uji tarik ASTM A370 menjadi minimum. Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi plastik *polypropylene*, plastik *polyoxymethylene* dan aluminium powder, komposisi bahan tersebut berurutan yaitu 65%, 5%, dan 30%.

Hasil penelitian diperoleh didapatkan bahwa *barrel temperature* memberikan pengaruh terhadap nilai respon cacat *warpage*, kondisi ini dapat diamati seiring kenaikan level *barrel temperature* maka nilai cacat *warpage* juga

semakin naik . Hal tersebut juga dibuktikan oleh perhitungan persen kontribusi *barrel temperature* yang menunjukkan nilai 91,62%.

Perhitungan persen kontribusi dari *injection pressure* sebesar 6,43% hal tersebut menunjukkan bahwa *injection pressure* berpengaruh yang terhadap nilai dari cacat *warpage* karena peningkatan setiap level *injection pressure* akan menurunkan peluang terjadinya cacat *warpage*.

*Cooling time* berpengaruh terhadap nilai cacat *warpage* yang menunjukkan peningkatan pada tiap-tiap level yang berarti semakin lama *cooling time* maka semakin besar pula respon atau *warpage* yang dihasilkan. Persen kontribusi yang dihasilkan dari parameter *cooling time* sebesar 1,78% terhadap nilai cacat *warpage*.

Variasi parameter optimum pada proses *composite injection molding* agar cacat *warpage* pada spesimen uji tarik ASTM A370 parameter *barrel temperature* pada level 1 yaitu 150 °C, parameter *injection pressure* pada level 3 yaitu 11 bar dan parameter *cooling time* pada level 1 yaitu 15 detik.

**SUMMARY**

***THE EFFECT OF BARREL TEMPERATURE, INJECTION PRESSURE AND COOLING TIME ON WARPAGE DISABILITY IN INJECTION MOLDING PROCESS (AL-PP)***

*Dheo Ardi Nugraha Saputra, 171910101114; 2019; 49 pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.*

*Plastic is a polymer that has unique and extraordinary characteristic properties. Plastics are known to be versatile, inexpensive, not easily corroded, and can be recycled. With a binder (plastic) can be combined with metal elements, namely aluminum. Aluminum is a lightweight metal that has good corrosion resistance and good electrical conductivity. Aluminum is chosen as an alloy material because it has good strength and tenacity.*

*In the last decade metal alloy plastic can be processed by a method called injection molding. Injection molding is a process used in producing plastic products. The injection molding method has the advantage that there are no limitations in complexity in product design, can produce wide variations, the size of the product can be printed from small to large products, and produce products that have excellent precision tolerance..*

*This study aims to determine the effect of process parameter variations, namely barrel temperature, injection pressure, cooling time on warpage defects in injection molding products, and find out optimum parameter variations in the injection molding process so that warpage defects in ASTM A370 tensile test specimens become minimum. The materials used in the study include polypropylene plastic, polyoxymethylene plastic and aluminum powder, the composition of these ingredients is 65%, 5%, and 30%.*

*From the results of the study, the following results are obtained, that barrel temperature gives an effect on the value of warpage defect response, this condition can be observed as the level barrel temperature increases, the value of warpage defects also increases. This is also evidenced by the calculation of the percent contribution of barrel temperature which shows a value of 91.62%.*

*The percentage calculation of injection pressure of 6.43% shows that injection pressure has an effect on the value of warpage defects because an increase in each injection pressure level will reduce the chance of warpage defects.*

*Cooling time affects the value of warpage defects which shows an increase in each level, which means that the longer the cooling time, the greater the response produced. The percentage of contribution generated from the cooling time parameter is 1.78% against the value of warpage defects.*

*The optimum variation of parameters in the composite injection molding process for warpage defects in the ASTM A370 barrel temperature test specimen at temperature level 1 is 150 oC, injection pressure parameters at level 3 are 11 bar and cooling time parameters at level 1 are 15 seconds.*

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh variasi temperatur, *injection pressure* dan *cooling time* terhadap cacat *warpage* pada proses *composite injection molding* (AI-PP)". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan proyek akhir ini;
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin Hari Arbiantara B., S.T., M.T. atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan proyek akhir ini;
3. Hary Sutjahjono, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Danang Yudistiro, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang penuh kesabaran memberi bimbingan, dorongan, meluangkan waktu, pikiran, perhatian dan saran kepada penulis selama penyusunan proyek akhir ini sehingga dapat terlaksana dengan baik;
4. Dr. Agus Triono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II, terima kasih atas saran dan kritiknya;
5. Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama kuliah;
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, bimbingan, pengorbanan, saran dan kritik kepada penulis;
7. Ibunda Sri Rahayu dan Ayahanda Katijan yang telah memberikan segalanya kepada penulis;

8. Para sahabat Khoirul Fahmi Aziz, Moh. Ryan Rizky Permana, Moh. Bagus Amirullah, Risnanda Ari Jupiter, Rizky Bagus Anggara, Panji Hastawirata, Dimas Ilhamsyah. Tri Surya Utama;
9. Diah Ayu Nor Sholeha yang telah membantu selama penyusunan skripsi;
10. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin 2014 yang selalu memberi dukungan dan saran kepada penulis;
11. Pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, Maret 2019

Penulis

DAFTAR ISI

|  | Halaman |
|--|---------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                                       | i       |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....                                 | ii      |
| <b>HALAMAN MOTO</b> .....  | iii     |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....                                  | iv      |
| <b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....                                | v       |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....                                  | vi      |
| <b>RINGKASAN</b> .....   | vii     |
| <b>SUMMARY</b> .....   | ix      |
| <b>PRAKATA</b> .....   | xi      |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....  | xiii    |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....  | xv      |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                       | xvi     |
| <br>   |         |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....                                  | 1       |
| <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</b> .....  | 3       |
| <b>1.5 Manfaat</b> .....   | 4       |
| <b>1.6 Hipotesa</b> .....  | 4       |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                             | 5       |
| <b>2.1 Plastik</b> .....   | 5       |
| <b>2.2 Bahan Baku Plastik dan Campuran</b> .....                 | 6       |
| 2.2.1 <i>Polypropylene</i> .....                                 | 6       |
| 2.2.2 Serbuk Aluminium .....                                     | 7       |
| <b>2.3 Injection Molding</b> .....                               | 8       |
| <b>2.4 Bagian-bagian Mesin Injection Molding</b> .....           | 10      |
| <b>2.5 Parameter Injection Molding</b> .....                     | 11      |
| <b>2.6 Mekanisme Injection Molding</b> .....                     | 13      |
| <b>2.7 Cacat Pada Proses Injection Molding</b> .....             | 14      |
| <b>2.8 Jenis-Jenis Cacat Pada Proses Injection Molding</b> ..... | 14      |
| <b>2.9 Metal Injection Molding</b> .....                         | 17      |
| <b>2.10 Metode Taguchi</b> .....                                 | 17      |
| 2.9.1 Perancangan Percobaan Taguchi .....                        | 18      |
| <b>BAB 3. METODOLOGI</b> .....                                   | 23      |
| <b>3.1 Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....                     | 23      |

|   |    |
|---|----|
| <b>3.2 Alat dan Bahan</b> .....                                     | 23 |
| 3.2.1 Alat .....  | 23 |
| 3.2.2 Bahan .....   | 24 |
| <b>3.3 Variabel Penelitian</b> .....                                | 24 |
| 3.3.1 Variabel Bebas .....  | 24 |
| 3.3.2 Variabel Respon.....  | 24 |
| 3.3.3 Variabel Konstan .....  | 24 |
| <b>3.4 Rancangan Percobaan</b> .....                                | 25 |
| 3.4.1 Pengaturan Variabel Pada Mesin <i>Injection Molding</i> ..... | 25 |
| 3.4.2 Pemilihan Matriks Ortognal.....                               | 25 |
| 3.4.3 Analisis Variansi Dan Persen Kontribusi.....                  | 26 |
| <b>3.5 Langkah-langkah Percobaan</b> .....                          | 28 |
| <b>3.6 Pengambilan Data</b> .....                                   | 28 |
| <b>3.7 Karakteristik Respon Optimum</b> .....                       | 28 |
| <b>3.8 Diagram Alir</b> .....                                       | 30 |
| <b>BAB 4. PEMBAHASAN</b> .....                                      | 32 |
| <b>4.1 Fenomena Cacat Warpage</b> .....                             | 32 |
| <b>4.2 Data Hasil Percobaan</b> .....                               | 32 |
| <b>4.3 Perhitungan S/N Rasio</b> .....                              | 35 |
| <b>4.4 Pengujian Asumsi Residual</b> .....                          | 36 |
| <b>4.5 Hasil Optimasi</b> .....                                     | 38 |
| <b>4.6 Analisis Of Varian (ANOVA)</b> .....                         | 40 |
| <b>4.7 Prediksi Respon Optimum</b> .....                            | 43 |
| <b>4.8 Pembahasan Pengaruh Parameter</b> .....                      | 45 |
| <b>BAB 5. PENUTUP</b> .....   | 47 |
| <b>5.1 Kesimpulan</b> .....   | 47 |
| <b>5.2 Saran</b> .....  | 47 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....   | 48 |
| <b>LAMPIRAN</b> .....   | 50 |

**DAFTAR TABEL**

|   | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 2.1 Perbandingan Spesifikasi Gravitasi Jenis Plastik .....      | 6       |
| Tabel 2.2 Sifat-sifat Dari Polypropylen .....                         | 7       |
| Tabel 2.3 Sifat-Sifat Fisik Alumunium.....                            | 8       |
| Tabel 3.1 Variabel-Variabel Proses Yang Digunakan .....               | 25      |
| Tabel 3.2 Total Derajat Kebebasan Parameter Kendali .....             | 26      |
| Tabel 3.3 Matrix Ortogonal L <sub>9</sub> .....                       | 26      |
| Tabel 3.4 Data Yang Akan Diolah .....                                 | 26      |
| Tabel 3.5 Analisis Variansi (ANOVA).....                              | 27      |
| Tabel 3.6 Hasil ANOVA dan Kontribusi Variabel Proses .....            | 28      |
| Tabel 4.1 Hasil pengambilan data luasan dan berat .....               | 33      |
| Tabel 4.2 Pengambilan data persentase cacat.....                      | 34      |
| Tabel 4.3 Data Hasil Perhitungan Cacat .....                          | 35      |
| Tabel 4.4 Perhitungan S/N Rasio .....                                 | 35      |
| Tabel 4.5 Rata-rata nilai <i>warpage</i> setiap level parameter ..... | 38      |
| Tabel 4.6 Kombinasi parameter respon optimum .....                    | 40      |
| Tabel 4.7 Hasil ANOVA dan kontribusi parameter dengan S/N rasio ..... | 42      |
| Tabel 4.8 Kondisi hipotesa nol multi respon .....                     | 43      |

DAFTAR GAMBAR

|   | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Klasifikasi Polimer .....                          | 5       |
| Gambar 2.2 Serbuk Alumunium .....                             | 8       |
| Gambar 2.3 Mesin <i>Injection molding</i> .....               | 9       |
| Gambar 2.4 Bagian-bagian Mesin <i>Injection molding</i> ..... | 10      |
| Gambar 2.5 <i>Mold Unit</i> .....                             | 10      |
| Gambar 2.6 <i>Short-shot</i> .....                            | 15      |
| Gambar 2.7 <i>Warpage</i> .....                               | 16      |
| Gambar 3.1 Mesin <i>Injection Molding</i> .....               | 23      |
| Gambar 3.2 Dimensi ASTM A370 .....                            | 24      |
| Gambar 4.1 Hasil Pencetakan Spesimen ASTM A370.....           | 32      |
| Gambar 4.2 Plot ACF.....                                      | 36      |
| Gambar 4.3 Plot Uji Homogen.....                              | 37      |
| Gambar 4.4 Plot Uji Distribusi Normal .....                   | 38      |
| Gambar 4.5 Plot rata-rata S/N rasio .....                     | 39      |
| Gambar 4.6 <i>Plot for means</i> .....                        | 39      |

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Plastik merupakan suatu polimer yang memiliki sifat karakteristik unik dan luar biasa. Plastik telah berkembang secara pesat dan memiliki peranan penting dibidang elektronik, tekstil, kontruksi, kemasan, mainan anak-anak dan produk industri lainnya. Plastik diketahui sebagai bahan yang serbaguna, murah, tidak mudah korosi, dan dapat didaur ulang. Plastik dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu: plastik *thermoplast* dan plastik *thermoset*. Plastik *thermoplast* adalah plastik yang dapat dicetak secara berulang-ulang dengan bantuan panas. Plastik *thermoset* adalah plastik yang jika mengalami kondisi tertentu tidak dapat dicetak ulang karena susunan polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi (Mujiarto, 2007). Plastik dapat dipadukan dengan unsur metal seperti alumunium dengan bahan pengikat. Alumunium merupakan suatu logam ringan yang memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Sifat alumunium yang terpenting yaitu mempunyai kepadatan yang rendah, kondukstifitas termal dan listrik yang sangat baik serta alumunium juga mempunyai kekuatan dan keuletan yang cukup baik pula (Oxtoby, 2003).

Dalam dekade terakhir ini plastik paduan metal dapat diolah dengan suatu metode mekanik yang disebut *injection molding*. *Injection molding* adalah suatu proses yang digunakan dalam memproduksi produk berbahan plastik. Proses injeksi dilakukan dengan memasukkan bahan plastik yang berupa butiran-butiran kedalam *hopper* dan plastik dipanaskan didalam *barrel*. Setelah bahan plastik meleleh dengan temperatur tertentu, dan plastik tersebut didorong keluar melalui *nozzle* untuk dicetak kedalam cetakan. Plastik dibiarkan membeku didalam cetakan sebelum plastik tersebut dilepas dari cetakan.

Metode *injection molding* memiliki kelebihan yaitu tidak ada batasan kerumitan dalam desain produk, dapat meghasilkan variasi yang luas, ukuran produk dapat dicetak dari produk kecil hingga besar, dan menghasilkan produk yang memiliki toleransi presisi yang sangat baik (Mawardi, 2015). M.H. Othman, dkk (2017) menjelaskan bahwa nilai *warpage* berkurang ketika konten serat

ditingkatkan. Parameter optimum untuk cacat *warpage* adalah  $175^{\circ}\text{C}$  *barrel temperature*, tekanan pengepakan 40%, kecepatan *screw* 35% dan waktu pengisian 2 detik. Dwi Zulianto, (2015) meneliti tentang variasi suhu yang digunakan untuk *injection molding* proses  $138^{\circ}\text{C}$ ,  $140^{\circ}\text{C}$ ,  $145^{\circ}\text{C}$ ,  $150^{\circ}\text{C}$ ,  $155^{\circ}\text{C}$ , dan  $160^{\circ}\text{C}$  didapatkan kesimpulan bahwa dalam penelitiannya secara umum menaikkan temperatur injeksi membuat persentase *warpage* yang terjadi semakin besar begitu juga sebaliknya dan temperatur optimal dari penelitiannya yaitu pada temperatur  $150^{\circ}\text{C}$  karena pada temperatur ini membutuhkan *melting time* tercepat tanpa adanya cacat *warpage*. M.A Fathoni, (2015) menganalisa variasi tekanan yang digunakan pada proses *injection molding* yaitu  $6.37\text{ kg/cm}^2$ ,  $12.74\text{ kg/cm}^2$ ,  $19.11\text{ kg/cm}^2$ ,  $25.48\text{ kg/cm}^2$  dan  $31.85\text{ kg/cm}^2$ , menyimpulkan bahwa menaikkan tekanan injeksi membuat area *warpage* yang terjadi semakin besar akan tetapi nilai *warpage* yang terjadi cenderung stabil walaupun begitu ada tekanan optimal dimana pada tekanan tersebut nilai *warpage* yang terjadi paling kecil dan tekanan yang optimal dalam penelitiannya yaitu pada tekanan  $19.11\text{ kg/cm}^2$ . R. Sanchez, dkk (2012) dalam penelitiannya menganalisa bila cacat *warpage* bisa menjadi lebih rendah jika suhu injeksi adalah  $230^{\circ}\text{C}$ , dan waktu pendinginan yang awalnya 12 detik dinaikkan menjadi 20 detik defleksi maksimum berkurang sekitar 6%, dan jika waktu pendinginan dinaikkan hingga 28 detik, defleksi menurun hingga 30%.

Berdasar pada proses dan mempelajari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya penulis mencoba mengangkat judul penelitian dengan penerapan pengoptimalan cacat *warpage* yang terjadi pada suatu proses *injection molding* dengan bahan campuran plastik *polypropylene* dan aluminium sehingga tetap dihasilkan produk dengan kualitas yang dianggap baik dan sesuai dengan adanya cacat yang dihasilkan. Penelitian yang akan diangkat oleh penulis yaitu dengan judul “Pengaruh Variasi *Barrel Temperature*, *Injection Pressure* dan *Cooling Time* Terhadap Cacat *Warpage* pada Proses *Injection Molding* (Al-PP)” dapat digunakan sebagai kajian dalam mengurangi cacat *warpage* pada mesin *injection molding* Universitas Jember.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari pemaparan latar belakang diatas menghasilkan rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi parameter proses yaitu *barrel temperature*, *injection pressure*, *cooling time* terhadap cacat *warpage* pada proses *injection molding*.
2. Bagaimanakah variasi parameter optimum pada proses *injection molding* agar cacat *warpage* menjadi minimum.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Pencampuran material plastik dan bahan lain dianggap homogen.
2. Komposisi campuran PP, Binder POM, dan Al yaitu 65%, 5%, 30%.
3. Produk yang dibuat yaitu spesimen uji tarik sesuai ASTM A370
4. Tidak membahas proses perpindahan panas yang terjadi dalam proses *injection molding*.
5. Pada saat proses pengambilan data mesin *injection molding* yang digunakan telah terkalibrasi.
6. Proses pendinginan menggunakan udara.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari dilakukanya penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi parameter proses yaitu *barrel temperature*, *injection pressure*, *cooling time* terhadap cacat *warpage* produk *injection molding*.
2. Mengetahui variasi parameter optimum pada proses *injection molding* agar cacat *warpage* menjadi minimum.

### 1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu:

1. Dapat mengetahui pengaruh variasi parameter proses yaitu *barrel temperature*, *injection pressure*, *cooling time* terhadap cacat *warpage* produk *injection molding*.
2. Dapat mengetahui variasi parameter optimum pada proses *injection molding* agar cacat *warpage* menjadi minimum.

### 1.6 Hipotesa

Berdasarkan pengamatan yang didasari pada penelitian-penelitian sebelumnya dapat ditarik sebuah hipotesis awal yaitu jika nilai *barrel temperature* yang rendah, nilai *injection pressure* yang tinggi dan semakin lama *cooling time* maka nilai cacat *warpage* yang terjadi semakin kecil, sebaliknya jika nilai *barrel temperature* yang tinggi, nilai *injection pressure* yang rendah dan semakin cepat *cooling time* maka nilai cacat *warpage* yang terjadi semakin besar.

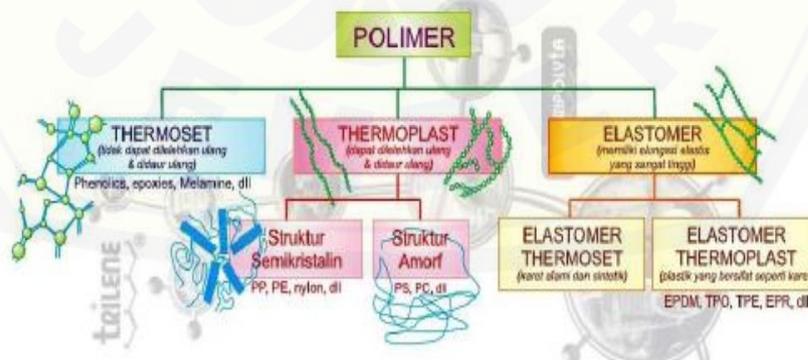
## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Plastik

Plastik adalah material non logam yang dapat dicetak dan dibentuk untuk didapatkan suatu bentuk yang diinginkan. Plastik merupakan suatu kelompok resin alami yang dapat dicetak, di ekstrusi, dituang, dan digunakan sebagai pelapis dari suatu bentuk benda berbahan plastik. Sumber bahan baku plastik banyak terdapat dari batu bara, minyak bumi, atau hasil bumi (Fahrizal, 2009).

Bahan dasar dari plastik secara umum dapat dibagi menjadi 3 golongan yang dilihat dari spesifikasi temperaturnya (Ilham, 2007), yaitu:

1. Bahan Thermoplastik (*Thermoplastic*) adalah bahan plastik yang jika dipanaskan dapat melunak dan dapat mengeras jika mendapat proses pendinginan. Contoh dari bahan *Thermoplastik* yaitu: *Polistirene*, *Polietilene*, Nilon, *Polipropilene*, Teflon dan Plastik Fleksiglas.
2. Bahan Thermoseting (*Thermosetting*) adalah bahan plastik yang berbentuk cair yang dapat dicetak sesuai yang diinginkan dan akan mengeras jika mendapat proses pemanasan tetapi tidak dapat diolah menjadi plastik lagi. Contoh dari bahan *Thermoseting* adalah Epoksi, Silikon, dan Bakelit.
3. Bahan Elastis (*Elastomer*) adalah bahan plastik yang sangat elastis. Contoh dari bahan plastik elastis adalah karet elastis.



Gambar 2.1 Klasifikasi Polimer (Sumber : Ilham, 2007)

## 2.2 Bahan Baku Plastik dan Campuran

### 2.2.1 Polypropylene

*Polypropylene* (PP) merupakan suatu polimer termoplastik yang digunakan dalam berbagai aplikasi benda berbahan plastik diantaranya yaitu pengemasan, tekstil, alat tulis, wadah kosmetik, perlengkapan laboratorium, komponen-komponen otomotif, pengeras suara, wadah makanan dan lain sebagainya (Hartono, 2012). *Polypropylene* adalah polimer yang berbentuk kristal yang dihasilkan dari polimerisasi gas propilena. *Polypropylene* memiliki spesifikasi gravitasi yang cukup rendah dibandingkan jenis plastik yang lain. Perbandingan antara jenis plastik tertera pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan spesifikasi gravitasi jenis plastik

| Resin           | <i>Specific Gravity</i> |
|-----------------|-------------------------|
| PP              | 0,85 – 0,90             |
| LDPE            | 0,91 – 0,93             |
| HDPE            | 0,93 – 0,96             |
| Polistirena     | 1,05 – 1,08             |
| ABS             | 0,99 – 1,10             |
| PVC             | 1,15 – 1,65             |
| Asetil Selulosa | 1,23 – 1,34             |
| Nylon           | 1,09 – 1,14             |
| Poly Karbonat   | 1,20                    |
| Poly Asetat     | 1,38                    |

*Polypropylene* memiliki titik leleh terhadap panas yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 130 °C – 170 °C. Temperatur proses dari *Polypropylene* memiliki rata-rata 130 °C – 200 °C. *Polypropylene* memiliki sifat ketahanan yang tinggi

terhadap bahan kimia (*Chemical Resistance*) dan ketahanan impact (*Impact Strength*) yang rendah (Mujiarto, 2005). Sifat-sifat lain dari bahan *Polypropylene* sebagai berikut:

- a. Lebih tahan panas
- b. Flexibel, keras, dan dapat tembus cahaya
- c. Ketahanan kimia yang bagus.

Tabel 2.2 Sifat-sifat dari *Polypropylene* (Syamsul, 1995)

| Sifat-sifat                              | <i>Polypropylene</i> |
|--|----------------------|
| Kristalinitas                            | 60%                  |
| Massa jenis ( $10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ ) | 0,90                 |
| Tg ( $^{\circ}\text{C}$ )                | 10                   |
| Tm ( $^{\circ}\text{C}$ )                | 176                  |
| Tegangan Tarik ( $\text{N.mm}^{-2}$ )    | 30 sampai 40         |
| Modulus Tarik ( $\text{N.mm}^{-2}$ )     | 1,1 sampai 1,6       |
| Perpanjangan (%)                         | 50 sampai 600        |

Sumber : Hadi Syamsul, Ir. 1995, "Teknologi Bahan 3", Hal 36

### 2.2.2 Serbuk Aluminium

Serbuk Aluminium merupakan suatu logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak. Aluminium adalah logam yang ringan dan mempunyai ketahanan terhadap korosi yang baik, dan hantaran listrik yang baik dan lain sebagainya. Pada umumnya aluminium dicampur dengan logam lain sehingga membentuk aluminium paduan. Material ini dimanfaatkan bukan hanya untuk peralatan rumah tangga, namun juga dipakai untuk keperluan industri, konstruksi dan sebagainya.

Aluminium mempunyai kekuatan tegangan sebanyak 49 Mpa sampai dengan 700 Mpa setelah di bentuk menjadi *alloy*. Temperatur leleh untuk aluminium murni yaitu  $600^{\circ}\text{C}$  dan memiliki massa jenis  $2.79 \text{ g/cm}^3$ . Aluminium mempunyai sifat yang sangat tangguh pada temperatur yang cukup rendah, konduktifitas termal aluminium sekitar Lima kali lebih baik dibandingkan dengan baja karbon rendah. Konduktivitas aluminium adalah sekitar 60% dibanding

tembaga, tahanan korosi alumunium relatif lebih baik pada kekerasan tertentu akibat lapisan tipis oksida pelindung yang menempel. Berikut adalah sifat fisik dari Alumunium.



Gambar 2.2 Serbuk Alumunium

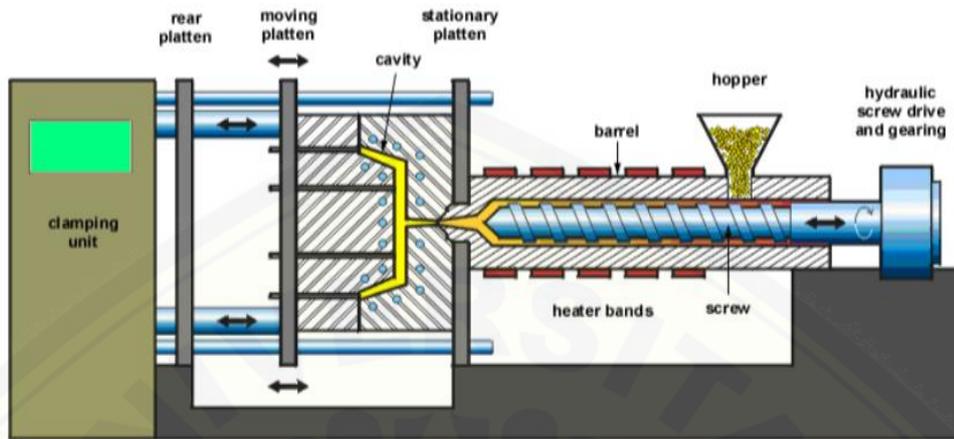
Tabel 2.3 Sifat-sifat Fisik Aluminium( Sonawan, dkk, 2003)

| Sifat-sifat                                | Kemurnian Al (%)       |                       |
|--|------------------------|-----------------------|
|  | 99,996                 | 99,0-99,0-99,996      |
| Massa Jenis (20°)                          | 2,6989                 | 2,71                  |
| Titik Cair                                 | 660,2                  | 653,657               |
| Panas Jenis (cal/g.°C)                     | 0,2226                 | 0,2297                |
| Hantaran Listrik (%)                       | 64,94                  | 59 (Dianil)           |
| Tahanan listrik koefisien Temperature (°C) | 0,00429                | 0,0115                |
| Koefisien Pemuai (20-100%)                 | $23,86 \times 10^{-6}$ | $23,5 \times 10^{-6}$ |
| Jenis kristal, konstanta kisi              | Fcc, a=4,013 kX        | Fcc, a=4,04 kX        |

### 2.3 Injection molding

*Injection molding* adalah suatu metode pembuatan plastik dalam pembuatan benda berbahan plastik. *Injection molding* banyak memiliki keuntungan yaitu kapasitas produksi yang tinggi, penggunaan material (*useless material*) yang sedikit dan tenaga kerja yang minim. Bahan baku plastik yang digunakan dapat diolah satu kali proses dan umumnya metode ini tidak membutuhkan proses *finishing* diakhir prosesnya. Keunggulan dari proses *injection molding* yaitu dapat membuat suatu benda yang berbentuk geometri kompleks dalam satu kali proses produksi yang dilakukan secara otomatis.

Kekurangan metode *injection molding* yaitu biaya investasi dan peralatan yang tinggi dan perancangan produk harus sesuai dengan pembuatan desain cetakan.



Gambar 2.3 Unit Mesin *Injection molding* (Jamaludin, 2002)

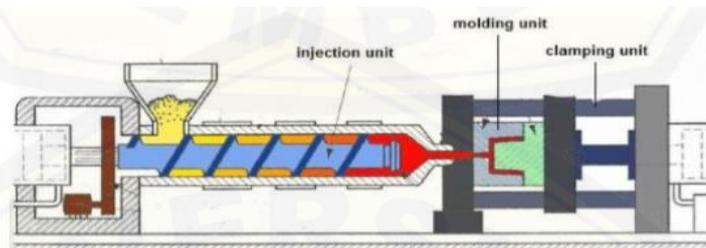
Gambar diatas menunjukkan serangkaian langkah kerja dari proses *injection molding* yaitu memasukkan plastik granule kedalam *hopper*, plastik menuju *barrel* yang didalamnya terdapat *screw* yang berguna untuk mengalirkan plastik yang leleh akibat dari proses pemanasan menuju *noozle*. Plastik yang telah dipanasi dan telah melunak didorong melalui *noozle* dengan injektor melewati sprue ke dalam rongga cetak (*cavity*) dari mold yang sudah tertutup.

Proses *injection molding* memiliki siklus sebagai berikut:

1. Cetakan menutup (*Mould Closing*)
2. Injeksi plastik kedalam cetakan (*injection*)
3. Menekan plastik saat proses *injection* dalam waktu tertentu (*Hoding Pressure*)
4. Pendinginan Plastik dalam cetakan (*Cooling*)
5. Cetakan terbuka (*Mould Opening*)
6. Ejektor mendorong *Mold*
7. Ejektor mundur (*produk turun*), kembali ke proses awal.

## 2.4 Bagian-bagian Mesin *Injection Molding*

Proses *injection molding* dibagi menjadi 3 bagian penting yang sangat mendukung proses dari *injection molding* yaitu *injection unit*, *molding unit*, *clamping unit*.



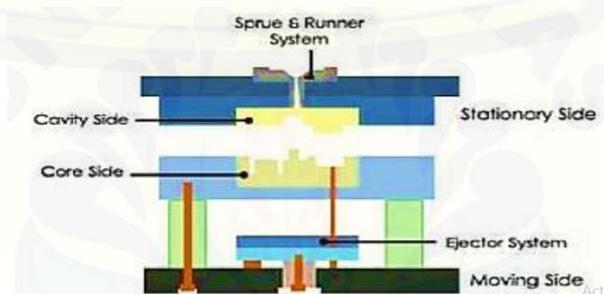
Gambar 2.4 Bagian-bagian Mesin *Injection Molding* (Sunaryo, 2015)

### 1. *Clamping Unit*

*Clamping unit* adalah bagian dari dalam mesin *injection moulding* yang berfungsi sebagai pengatur gerakan dari  *mold unit* serta gerakan dari ejektor saat melepas benda kerja dari *molding unit*. *Clamping unit* adalah bagian yang begitu lengkap yang terdiri dari mesin *molding* (cetakan), *dwelling* untuk memastikan mold terisi penuh oleh plastik yang telah meleleh, *injection* adalah suatu penekanan untuk memasukkan plastik melalui sprue pendingin, ejektor berfungsi untuk mengeluarkan hasil produk dari cetakan *molding* (Sunaryo, 2015).

### 2. *Molding unit*

*Molding unit* adalah salah satu bagian dari *injection unit*. *Molding unit* adalah bagian yang dapat mengatur suatu proses pembentukan material plastik menjadi suatu bentuk yang sesuai dengan cetakan ( *mold*). *Mold unit* memiliki komponen yang berfungsi sebagai peralatan yang membentuk sistem pencetak.



Gambar 2.5 *Mold unit*

### 3. *Injection unit*

*Injection unit* adalah suatu bagian yang berfungsi untuk tempat pengolahan dari plastik. Biji plastik (*granule*) masuk melalui hopper menuju tungku pemanas (*barrel*), didalam barrel meterial plastik dipanaskan menggunakan pemanas *heater* dengan temperatur yang sesuai dengan melting point dari material plastik yang akan diolah. Selain dilelehkan material plastik akan mengalami proses pencampuran (*mixing*), proses pencampuran yang dilakukan menggunakan bantuan screw selain media tekan (*inject*) juga digunakan sebagai media pencampur material plastik agar diperoleh material plastik yang homogeni.

## 2.5 Parameter *Injection Molding*

Untuk memperoleh kualitas hasil yang optimal pada produk cetak *injection molding*, diharuskan mengatur beberapa parameter yang dapat mempengaruhi jalanya proses produksi. Parameter pada suatu proses ada yang sedikit berperan dan ada juga yang memiliki peran yang sangat signifikan dalam mempengaruhi hasil dari suatu produksi. Perlu dilakukan beberapa kali proses hingga ditemukan parameter yang dianggap berpengaruh terhadap produk yang akan dicetak (Firdaus, dkk, 2002).

Parameter-parameter yang berpengaruh pada proses produksi plastik menggunakan metode *injection molding* yaitu:

#### a. *Melt* temperatur (Temperatur leleh)

Temperatur leleh adalah batas temperatur dari suatu bahan plastik meleleh jika diberikan suatu perlakuan panas.

#### b. *Pressure limit* (Batas tekanan)

Batas tekanan adalah batas tekanan udara yang diberikan guna menggerakkan piston yang menekan bahan plastik yang telah meleleh akibat energi panas. Terlalu rendah tekanan yang diberikan, kemungkinan bahan plastik tidak akan bisa keluar atau terinjeksi kedalam cetakan. Tetapi jika tekanan udara terlalu tinggi dapat mengakibatkan terseburnya lelehan bahan plastik dari dalam cetakan dan hal ini dapat mengakibatkan proses dari produksi menjadi tidak efisien.

c. *Holding time* (Waktu tahan)

Waktu tahan adalah waktu yang diukur pada saat penginjekan dari saat temperatur leleh yang sudah diatur sudah tercapai sehingga keseluruhan bahan plastik didalam barrel yang sudah dipanaskan meleleh dengan sempurna. Hal ini disebabkan karena sifat rambatan panas yang memerlukan waktu untuk merambat ke seluruh bagian yang ingin dipanaskan. Dikhawatirkan jika waktu tahan dari proses penginjekan terlalu cepat maka bahan plastik didalam barrel belum meleleh semuanya, sehingga akan mempersulit aliran bahan plastik yang sudah meleleh dari dalam nozzle.

d. *Holding pressure* (waktu penekanan)

*Holding pressure* merupakan durasi dari suatu proses penginjekan yang diperlukan untuk memberikan suatu tekanan pada saat piston mendorong plastik yang telah meleleh. Penyettingan dari waktu penekanan bertujuan untuk meyakinkan bahwa bahan plastik telah benar benar meleleh dan mengisi seluruh cetakan. Oleh karena itu waktu penekanan bergantung pada besar kecilnya dimensi dari cetakan (mold), makin besar ukuran dari cetakan makin lama waktu yang diperlukan untuk penekanan.

e. *Mould* temperatur (temperatur cetakan)

Temperatur cetakan adalah suatu temperatur pemanasan awal dari cetakan sebelum penginjekan dari bahan plastik yang sudah meleleh akibat energi panas.

f. *Injection Rate* (Kecepatan injeksi)

Kecepatan injeksi merupakan kecepatan dari laju bahan plastik yang sudah meleleh keluar dari *nozzle* untuk mengisi rongga cetak (mold). Mesin mesin injeksi tertentu kecepatan injeksi ini dapat terukur, namun untuk mesin injeksi sederhana terkadang tidak dilengkapi dengan pengukur kecepatan.

g. *Wall thickness* (Ketebalan dinding cetakan)

Ketebalan dinding cetakan menyangkut desain secara keseluruhan dari mold, semakin tebal dinding cetakan semakin juga kemungkinan terjadinya cacat *shrinkage*.

## 2.6 Mekanisme *Injection Molding*

Proses pembentukan material plastik pada *proses injection molding* terdiri dari 6 langkah utama sebagai berikut:

### 1. Pengapitan

Suatu mesin *injection molding* mempunyai tiga bagian utama yang sangat penting yaitu cetakan, pengapitan, dan injektor. Unit pengapitan adalah salah satu pemegang cetakan yang mengalami tekanan pada saat proses penginjekan dan pada saat pendinginan. Pada dasarnya, pengapit memegang kedua belah dari cetakan secara bersama sama.

### 2. Suntikan

Material plastik pada saat akan penyuntikan umumnya dalam bentuk butiran/pellet, pengisian dalam suatu wadah saluran tuang yang disebut hopper yang terdapat pada bagian atas mesin *injection molding*. Plastik butiran dimasukkan kedalam silinder *barrel* untuk dipanaskan hingga meleleh. Silinder *barrel* didalamnya terdapat *screw* yang berputar yang mencampur butiran plastik yang meleleh dan mendorong keluar melalui *nozzle*. Ketika material plastik yang dikumpulkan di ujung *screw* telah terisi penuh, proses penginjekan siap dimulai. Material plastik yang meleleh dimasukkan kedalam cetakan melalui suatu *nozzle injektor*, ketika tekanan dan kecepatan diatur oleh *screw* tersebut. Mesin *injection moulding* menggunakan suatu pendorong sebagai pengganti *screw*.

### 3. Penenangan

Tahap penenangan adalah waktu sesaat setelah proses penginjekan. Plastik yang meleleh disuntik kedalam cetakan dengan tekanan yang dipertahankan untuk meyakinkan segala sisi rongga cetakan telah berisikan plastik dengan sempurna.

### 4. Pendinginan

Pendinginan plastik dalam cetakan berfungsi untuk mendapatkan bentuk yang padat didalam cetakan. Pada proses pendinginan ini berfungsi juga sebagai pengisi ulang bahan plastik dari *hopper* ke dalam *barrel* dengan *screw* yang berotasi.

#### 5. Cetakan dibuka

Cetakan dibuka berfungsi untuk memisahkan kedua belah cetakan guna mengeluarkan plastik hasil pengejekan.

#### 6. Pengeluaran

Pena dan plat ejektor berguna untuk mendorong dan mengeluarkan hasil cetakan dari dalam cetakan. Geram dan sisa plastik hasil pengejekan pada sisi-sisi hasil cetakan yang tidak dipakai dapat didaur ulang pada saat percetakan produk berikutnya.

### 2.7 Cacat Pada Proses *Injection molding*

Cacat atau *deffect* adalah sebuah kerusakan yang diakibatkan tidak sesuai parameter proses *injection molding*, maupun prosedur proses pelaksanaan produksi yang dapat mengakibatkan hasil dari produk yang kurang sempurna. Penyebab utama cacat pada produk hasil dari *injection molding* yaitu (Anonimous, 2014):

1. Kualitas dari material plastik
2. Kecocokan dari material plastik tambahan
3. Kondisi saat proses
4. *Maintenance* dari *mold* dan mesin *injection molding*
5. Desain dari *runner*, instalasi dari temperatur dan cetakan
6. Desain dari cetakan, posisi gate dan ukuran, saluran udara, dan posisi ejektor
7. Tidak meratanya dari desain *cooling* pada cetakan.

### 2.8 Jenis-Jenis Cacat Pada Proses *Injection Molding*

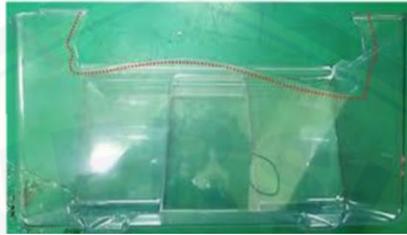
Cacat produk yang sering ditemukan pada proses *injection molding* yaitu:

#### a. *Short-shot*

*Short-shot* merupakan suatu cacat produk yang disebabkan oleh pengisian biji plastik yang tidak sempurna. Penyebab *short-shot* disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

- Pelelehan material plastik yang kurang sempurna

- Penginjekan yang lama
- Tekanan Injeksi yang rendah
- Temperatur lebur yang rendah
- Temperatur cetakan yang rendah
- Udara yang tidak keluar dari *cavity* cetakan.



Gambar 2.6 *Short-shot*

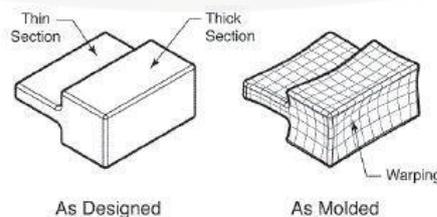
b. *Sink or air bubble*

*Sink* merupakan suatu bentuk cacat produk berupa bentuk cembung pada permukaan dari produk hasil dari proses *injection molding*. *Air bubble* merupakan gelembung udara yang berada didalam produk. Hal tersebut disebabkan oleh faktor sebagai berikut:

- Perbedaan temperatur pada dinding cetakan
- Tekanan injeksi yang lemah
- Temperatur dari material yang sangat tinggi
- Pendinginan pada mold yang kurang cukup
- Terlalu kecilnya lubang angin (*vent*).

c. *Warpage*

*Warpage* merupakan cacat yang disebabkan oleh penyusutan produk yang tidak merata. *Warpage* menyebabkan produk memiliki dimensi yang tidak sesuai. Produk yang terkena cacat *warpage* terdapat sisi yang melengkung sehingga mengubah dimensi, ketebalan dan bentuk suatu produk.



Gambar 2.7 *Warpage*

Cacat *warpage* merupakan masalah penting pada proses pembentukan menggunakan mesin *injection molding*. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya cacat *warpage* diantaranya yaitu adanya perbedaan antara *shrinkage* dan *cooling time* dari hasil distribusi *temperature mold*, *injection pressure* terlalu rendah atau terlalu tinggi, *cooling* terlalu pendek, pengaturan *clamping force* yang tidak ideal, dan kurangnya kekakuan struktural pada produk dan aliran.

d. *Weld mark or flow mark*

*Weld mark* adalah suatu cacat produk yang berupa garis pada permukaan produk, cacat ini disebabkan oleh:

- Penginjekan yang lambat
- Temperatur lebur yang rendah
- Temperatur  *mold* yang rendah
- Terdapat minyak pada permukaan cetakan
- Keluarnya udara yang kurang lancar dari  *mold*.

e. *Discolored molding*

*Discolored* adalah suatu bentuk cacat yang berupa pelunturan warna yang terjadi pada produk. Cacat ini disebabkan oleh:

- Temperatur lebur yang sangat tinggi
- Titik lebur material yang tinggi
- Pencampuran warna yang tidak merata

f. *Black spot*

Keadaan dimana cacat dari suatu produk terdapat bintik hitam yang dipengaruhi oleh faktor berikut ini:

- Kurang bersihnya saat mengganti material
- Material mengalami pelelehan dan pemndingan yang sangat berlebihan
- Proses perwanaaan yang gagal.

## 2.9 *Metal Injection Molding*

*Metal Injection Molding* adalah metode manufaktur untuk memproduksi bagian-bagian bahan yang terbuat dari logam. Proses injeksi dengan campuran logam biasanya disebut dengan MIM. *Metal Injection Molding* memanfaatkan teknologi produksi plastik dari pencetakan dengan bahan yang digunakan yaitu polimer dan logam ataupun keramik. (German & Bose, 1997)

Dasar dari metode manufaktur *metal injection molding* adalah mengkombinasikan pembentukan suatu material plastik dari proses *injection* dengan sifat mekanik ulet dari logam yang memiliki sifat yang kompleks dan rinci dengan kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Metode pembentukan logam pada proses pengecoran membutuhkan temperatur yang tinggi, sebaliknya pada proses *metal injection molding* dengan bahan baku polimer dan logam memungkinkan dilakukan pada suhu yang lebih rendah. (Heaney, 2012)

*Injection molding* adalah suatu metode manufaktur yang digunakan sebagai dasar dari proses *metal injection molding*. Karena pada proses *metal injection molding* dimulai dari bahan baku sejumlah 40% vol polimer. Plastik hanya sebagai komponen pengikat dari bahan baku *metal injection molding* yang meleleh selama proses *injection*. (Heaney, 2012)

## 2.10 Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah suatu metode baru dibidang teknik yang berprinsip pada perbaikan mutu atau kualitas produk dan proses, yang bertujuan untuk menekan biaya serta resources yang seminimal mungkin yang memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan sebab akibatnya. Metode taguchi berupaya mencapai sasaran yang sesuai dengan menjadikan produk dan proses yang tidak sensitif terhadap berbagai faktor gangguan (*noise*), seperti material bahan, perlengkapan manufaktur, sumber daya manusia, dan kondisi operasional lainnya (Soejanto, 2009). Metode taguchi disebut juga robust desain karena menjadikan produk dan proses memiliki sifat terhadap beberapa faktor gangguan yang terjadi. Metode Taguchi memiliki kelebihan dibandingkan metode lain yaitu sebagai berikut (Soejanto, 2009):

- a. Lebih efisien karena dapat melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak variabel proses dan banyak level.
- b. Dapat memperoleh proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan robust terhadap variabel yang tidak dapat dikontrol
- c. Menghasilkan kesimpulan mengenai level dari variabel proses yang menghasilkan respon optimum.

Demikian, metode taghuci memiliki struktur rancangan yang lebih kompleks dan mengorbankan pengaruh interaksi yang signifikan. Oleh sebab itu, pemilihan rancangan penelitian harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Proses evaluasi dua faktor atau lebih secara serentak terhadap kemampuan untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu yang disebut dengan desain eksperimen (Soejanto, 2009). Variabel dari proses dan level variabelnya harus dibuat variasi yang sehingga didapatkan hasil dari kombinasi pengujian yang efektif. Kombinasi pengujian tertentu dapat diamati sehingga kumpulan dari hasil pengujian selengkapnya dapat dianalisis. Hasil dari analisis kemudian digunakan untuk mencari variabel yang sangat berpengaruh dan tindakan yang dapat membuat perbaikan lebih lanjut.

#### 2.10.1 Rancangan Percobaan Taguchi

Secara umum, rancangan percobaan pada metode taghuci dibagi menjadi dua tahap yang mencakup mengenai pendekatan penelitian. Kedua tahap tersebut sebagai berikut (Sojanto, 2009):

##### a. Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan yaitu tahap terpenting. Pada tahap perencanaan ini seseorang peneliti diharuskan untuk mempelajari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Kecermatan pada tahap perencanaan ini akan menghasilkan penelitian yang memberikan informasi positif dan negatif. Penelitian memberikan indikasi tentang variabel dan level yang mengarah pada

peningkatan performa produk yang terjadi adalah positif, begitupun sebaliknya. Langkah-langkah pada tahap perancangan ini antara lain:

1) Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan diteliti harus dirumuskan secara jelas dan spesifik sehingga dapat diterapkan kedalam penelitian yang akan dilakukan.

2) Penentuan Tujuan Penelitian.

Tujuan penelitian harus dapat menjelaskan rumusan masalah yang telah ditetapkan.

3) Penentuan Variabel Respon

Variabel respon memiliki nilai yang tergantung pada tiap tipa variabel lain sehingga dapat disebut variabel bebas.

4) Pengidentifikasian Variabel Proses

Variabel proses merupakan variabel yang tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini, akan ditentukan variabel yang diselidiki pengaruhnya terhadap variabel respon yang bersangkutan. Dalam penelitian, tidak semua variabel yang diperkirakan mempengaruhi respon harus diselidiki. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa penelitian dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

5) Pemisahan Variabel Proses dan Variabel Gangguan

Dalam percobaan menggunakan metode taguchi, variabel proses dan variabel gangguan perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruhnya yang berbeda. Variabel proses yaitu variabel yang nilainya dapat dikendalikan, sedangkan variabel gangguan yaitu variabel yang nilainya tidak dapat dikendalikan atau disebut *factor noise*.

6) Penentuan jumlah dan nilai variabel proses

Pemilihan jumlah level akan mempengaruhi hasil dari penelitian. Semakin banyak level yang akan dilakukan penelitian maka hasilnya akan semakin akurat, akan tetapi biaya yang dikeluarkan juga semakin banyak.

### 7) Perhitungan Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep untuk mendeskripsikan seberapa besar penelitian harus dilakukan dan seberapa banyak informasi yang dapat diberikan oleh penelitian tersebut. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menentukan jumlah penelitian yang akan dilakukan untuk menyelidiki variabel proses yang akan diamati. Derajat kebebasan dari matriks ortogonal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

- a. Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B :

$$V_A = (\text{Jumlah level faktor A}) - 1$$

$$= k_A - 1$$

$$V_B = (\text{jumlah level faktor B}) - 1$$

$$= k_B - 1$$

- b. Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

$$V_{A \times B} = (k_A - 1)(k_B - 1)$$

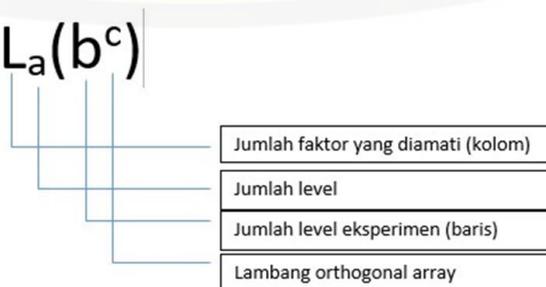
- c. Nilai derajat bebas total

$$= (k_A - 1) + (k_B - 1) + (k_A - 1)(k_B - 1)$$

Tabel Orthogonal Arrays yang dipilih harus mempunyai jumlah baris minimum yang tidak boleh kurang dari jumlah derajat bebas totalnya.

### 8) Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal yang sesuai ditentukan oleh jumlah derajat kebebasan dari jumlah variabel proses dan jumlah levelnya. Matriks ortogonal memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah variabel proses dengan jumlah percobaan yang minimum. Suatu matriks ortogonal dilambangkan dalam bentuk:

$$L_a(b^c)$$


Dengan:

L = jumlah faktor yang diamati (kolom)

a = jumlah level

b = banyaknya level percobaan

c = banyaknya factor

#### b. Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan terdiri dari dua, di antaranya adalah menentukan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan eksperimen.

##### 1) Jumlah Replikasi

Replikasi merupakan suatu pengulangan kembali perlakuan yang sama pada kondisi yang sama dalam sebuah percobaan untuk mendapatkan ketelitian yang tinggi, mengurangi tingkat kesalahan dan memperoleh harga taksiran dari kesalahan.

##### 2) Randomisasi

Pada percobaan, selain faktor yang diselidiki pengaruhnya terhadap suatu variabel, juga terdapat faktor lain yang tidak dapat dikendalikan atau tidak diinginkan seperti kelelahan operator, naik turunnya daya mesin, dan lain-lain. Hal tersebut dapat mempengaruhi hasil dari suatu percobaan. Pengaruh faktor tersebut diminimalisir dengan menyebarkan pengaruh selama percobaan melalui randomisasi (pengacakan) urutan dari percobaan.

#### c. Tahap Analisis

Pada tahap analisis ini dilakukan dengan cara pengumpulan dan pengolahan data. Tahap ini juga meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data sesuai dengan suatu percobaan yang dipilih. Tahap analisis ini juga dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik data hasil percobaan. Metode Taguchi memiliki dua macam analisis yang dilakukan dengan tujuan yang berbeda, yaitu:

##### 1) Analisis Rata-rata (ANOM)

Analisis rata-rata merupakan analisis yang digunakan untuk mencari kombinasi parameter kendali sehingga diperoleh hasil yang optimal sesuai

tujuan penelitian. Caranya yaitu dengan membandingkan nilai rata-rata rasio S/N setiap level dari parameter kendali dengan menggunakan grafik. Dari perbandingan tersebut diketahui apakah parameter kendali yang dimaksud berpengaruh terhadap proses atau tidak.

2) Analisis Variansi (ANOVA)

Analisis variansi merupakan teknik yang digunakan untuk analisis data untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap kelangsungan suatu proses. Analisis variansi pada matriks ortogonal dilakukan dengan dasar perhitungan jumlah kuadrat untuk masing-masing kolom dengan membandingkan nilai sum of square dari suatu parameter kendali terhadap keseluruhan parameter kendali.

3) Uji distribusi F

Pengujian uji distribusi F ini dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang dikarenakan sebab oleh masing-masing variabel proses dan error. *Variansi error* merupakan variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena variabel yang tidak bisa dikendalikan. Secara umum, hipotesa yang digunakan dalam pengujian distribusi F ini digunakan untuk variabel proses yang tidak diambil secara random (*fixed*).

4) Rasio S/N Rasio

S/N (*signal to noise ratio*) digunakan untuk memilih variabel-variabel proses yang memiliki kontribusi dalam mengurangi variansi, mengetahui level variabel proses mana yang berpengaruh terhadap hasil eksperimen dan meminimalkan karakteristik kualitas terhadap variabel gangguan.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Kemasan Jurusan Teknik mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Waktu penelitian akan dijadwalkan mulai pada bulan November 2018 - Januari 2019. Proses tersebut meliputi persiapan alat, pengambilan data, analisis data, dan pengambilan kesimpulan.

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin Injection molding dengan Pneumatik sebagai pendorongnya dan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

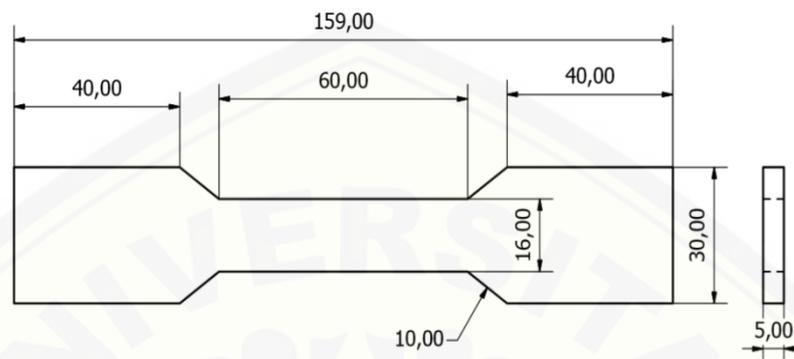
- a. Model : *Pneumatik Injection*
- b. Tegangan Listrik : 220 volt/50 hz/600 watt
- c. Tekanan : 12,73 bar
- d. Temperatur : Max 450 °C – Min 20 °C
- e. Dimensi : 550 x 500x 1060 mm



Gambar 3.1 Mesin *Injection Molding*

### 3.2.2 Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan dasar plastik jenis PP (*Polypropylene*) berupa biji plastik dan serbuk Al sebagai *filler*. Serta menggunakan cetakan dari Aluminium yang dibentuk sesuai dengan desain spesimen uji tarik ASTM A370.



Gambar 3.2 Dimensi ASTM A370

### 3.3 Variabel Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari hasil percobaan. Variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah suatu variabel yang mempengaruhi terjadinya sesuatu atau variabel penyebab. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

- a. *Barrel temperature*
- b. *Injection Pressure*
- c. *Cooling Time*

#### 3.3.2 Variabel Respon

Variabel respon adalah variabel yang diamati dalam penelitian. Nilai variabel ini dipengaruhi oleh nilai-nilai variabel proses yang telah ditentukan. Berikut adalah variabel respon yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. *Cacat warpage*

### 3.3.3 Variabel Konstan

Variabel konstan adalah variabel yang tidak termasuk dalam penelitian. Nilai dari variabel ini konstan dan tidak berubah selama percobaan, sehingga mempengaruhi variabel respon. Variabel-variabel yang menjadi variabel konstan pada penelitian ini adalah:

- a.  *Holding time*
- b.  *Holding pressure*
- c.  *Melt Temperature*

## 3.4 Rancangan Percobaan

### 3.4.1 Pengaturan Variabel pada Mesin *Injection molding*

Pengaturan variabel-variabel pada mesin *injection molding* bertujuan untuk memberikan batasan terhadap penelitian yang akan dilakukan berdasarkan variabel yang mempengaruhi proses. Penentuan level *barrel temperature* mengacu pada titik leleh dari bahan plastik yaitu 160 °C (Syamsul, 1995) , sedangkan *injection pressure* mengacu pada mesin yang digunakan yang hanya bisa melakukan *injection pressure* maximum 12,73 bar dan *cooling time* mengacu pada penelitian yang telah dilakukan yaitu 12 s – 20 s. Pengaturan nilai dari variabel-variabel proses yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel :

Tabel 3.1 Variabel-variabel proses yang digunakan

| Kode | Variabel Proses            | Satuan | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
|------|----------------------------|--------|---------|---------|---------|
| A    | <i> Barrel temperature</i> | °C     | 150     | 160     | 170     |
| B    | <i> Injection Pressure</i> | bar    | 7       | 9       | 11      |
| C    | <i> Cooling Time</i>       | sec    | 15      | 20      | 25      |

### 3.4.2 Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal yaitu berdasarkan parameter kendali yang akan digunakan dan jumlah level dari setiap parameter kendali. Matriks ortogonal harus memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar daripada total derajat kebebasan parameter-parameter kendali yang telah ditetapkan. Pada penelitian ini tidak terjadi interaksi antar parameter kendali. Derajat kebebasan dari parameter kendali ini dihitung dengan menggunakan persamaan pada tabel 3.5.

Tabel 3.2 Total Derajat Kebebasan Parameter Kendali

| No    | Parameter Kendali         | Jumlah Level | df = k-1 |
|-------|---------------------------|--------------|----------|
| 1     | <i>Barrel temperature</i> | 3            | 2        |
| 2     | <i>Injection Pressure</i> | 3            | 2        |
| 3     | <i>Cooling Time</i>       | 3            | 2        |
| Total |                           |              | 6        |

Tabel 3.2 menunjukkan bahwa total derajat kebebasan adalah delapan. Maka matriks ortogonal yang sesuai untuk percobaan dengan derajat kebebasan delapan adalah  $L_9(3^3)$ .

Tabel 3.3 Matrix Ortogonal  $L_9$ 

| No Percobaan | Parameter Kendali |   |   |
|--------------|-------------------|---|---|
|              | A                 | B | C |
| 1            | 1                 | 1 | 1 |
| 2            | 1                 | 2 | 2 |
| 3            | 1                 | 3 | 3 |
| 4            | 2                 | 1 | 2 |
| 5            | 2                 | 2 | 3 |
| 6            | 2                 | 3 | 1 |
| 7            | 3                 | 1 | 3 |
| 8            | 3                 | 2 | 1 |
| 9            | 3                 | 3 | 2 |

Data penelitian yang digunakan akan diolah seperti yang terlihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut:

| No Percobaan | <i>Control factor</i> |   |   | Cacat <i>warpage</i> |
|--------------|-----------------------|---|---|----------------------|
|              | A                     | B | C |                      |
| 1            | 1                     | 1 | 1 |                      |
| 2            | 1                     | 2 | 2 |                      |
| 3            | 1                     | 3 | 3 |                      |
| 4            | 2                     | 1 | 2 |                      |
| 5            | 2                     | 2 | 3 |                      |
| 6            | 2                     | 3 | 1 |                      |
| 7            | 3                     | 1 | 3 |                      |
| 8            | 3                     | 2 | 1 |                      |
| 9            | 3                     | 3 | 2 |                      |

### 3.4.3 Analisis Variansi dan Persen Kontribusi

Analisis variansi (ANOVA) digunakan sebagai cara untuk mencari variabel proses yang berpengaruh signifikan dan besarnya kontribusi terhadap variabel respon. Pada penelitian ini, analisis variansi dilakukan menggunakan S/N rasio yang merupakan respon yang mewakili keseluruhan dari seluruh respon. Perhitungan ANOVA S/N rasio dari tiap-tiap variabel proses dapat dihitung menggunakan rumus:

Tabel 3.5 Tabel Analisis Variansi (ANOVA)

| Sumber Variasi | Degree of Freedom (df)  | Sum of Square (SS)  | Mean of Square (MS)     | F hitung (F <sub>0</sub> ) |
|----------------|-------------------------|---|-------------------------|----------------------------|
| Faktor A       | VA = kA - 1             | SSA = n <sub>A</sub> ∑ <sub>i=1</sub> <sup>n</sup> (A <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | MSA = $\frac{SSA}{dfA}$ | $\frac{MSA}{MSE}$          |
| Faktor B       | VB = kB - 1             | SSB = n <sub>B</sub> ∑ <sub>i=1</sub> <sup>n</sup> (A <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | MSB = $\frac{SSB}{dfB}$ | $\frac{MSB}{MSE}$          |
| Faktor C       | VC = kC - 1             | SSC = n <sub>C</sub> ∑ <sub>i=1</sub> <sup>n</sup> (A <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | MSC = $\frac{SSC}{dfC}$ | $\frac{MSC}{MSE}$          |
| Error          | VE = df T - df A - df C | SSE = SST - SSA - SSB - SSC   | MSE = $\frac{SSE}{dfE}$ |                            |
| Total          | VT = N-1                | SST = ∑ <sub>n i=1</sub> (y <sup>i</sup> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup>                           |                         |                            |

Perhitungan analisis variansi dilakukan menggunakan rumus pada tabel 3.5 adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung jumlah kuadrat total (*sum of square*)

$$SST = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad n \quad i=1$$

- b. Menghitung jumlah kuadrat setiap variabel proses (*sum of square*)

$$SSA = n_A \sum (A_i - \bar{y})^2 \quad n \quad i=1$$

- c. Menghitung kuadrat tengah (*mean of square*)

$$MSA = SSA/dfA$$

Hasil dari perhitungan diatas pada setiap analisis variabel proses kemudian dimasukkan ke dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Hasil ANOVA dan kontribusi variabel proses

| Variabel proses           | DF | SS | MS | F | P value | $\rho$ |
|---------------------------|----|----|----|---|---------|--------|
| <i>Barrel temperature</i> |    |    |    |   |         |        |
| <i>Injection Pressure</i> |    |    |    |   |         |        |
| <i>Cooling Time</i>       |    |    |    |   |         |        |
| <i>Error</i>              |    |    |    |   |         |        |
| <i>Total</i>              |    |    |    |   |         |        |

### 3.5 Langkah-langkah Percobaan

Langkah-langkah pelaksanaan percobaan yang akan dilaksanakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan peralatan, benda kerja, bahan plastik dan campuran:
  - 1) Timbang bahan plastik dan campuran yang akan digunakan saat penelitian.
  - 2) Lakukan proses mixing dari bahan plastik dan campuran hingga merata.
  - 3) Membersihkan mold base dari kotoran sisa-sisa dari bahan hasil penginjekan sebelumnya.
- b. Memasang mold base pada meja mesin injection molding kemudian dikencangkan dan atur kelurusannya.
- c. Mengatur parameter pada mesin Injection molding sesuai dengan rancangan percobaan yang telah ditetapkan;
- d. Melakukan proses pembuangan material sisa hasil percobaan sesuai dengan urutan percobaan yang telah ditetapkan
- e. Mencatat nilai yang dibutuhkan untuk mencetak benda kerja sesuai dengan parameter yang ditentukan untuk masing-masing percobaan;
- f. Matikan mesin kemudian melepas dan membersihkan benda kerja dari cairan plastik yang meleleh yang dapat menyebabkan kegagalan produk setelah proses pembuangan material selesai;
- g. Memberi tanda pada benda kerja hasil injection molding sebelum pengambilan data.

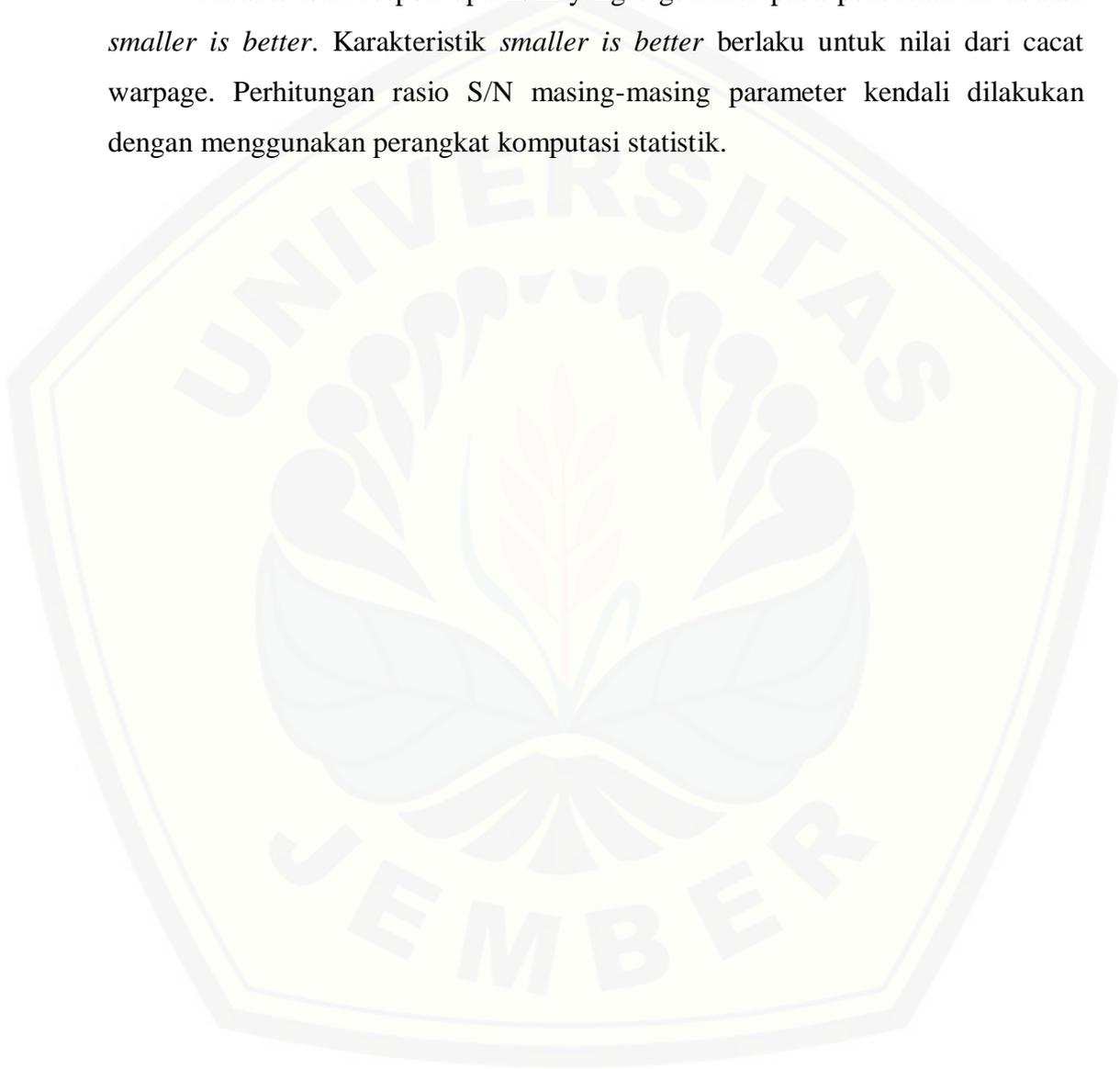
### 3.6 Pengambilan Data

Nilai cacat warpage dapat dilihat atau diketahui dengan menggunakan foto analisis menggunakan ImageJ serta pengolahan data barrel *temperature*,

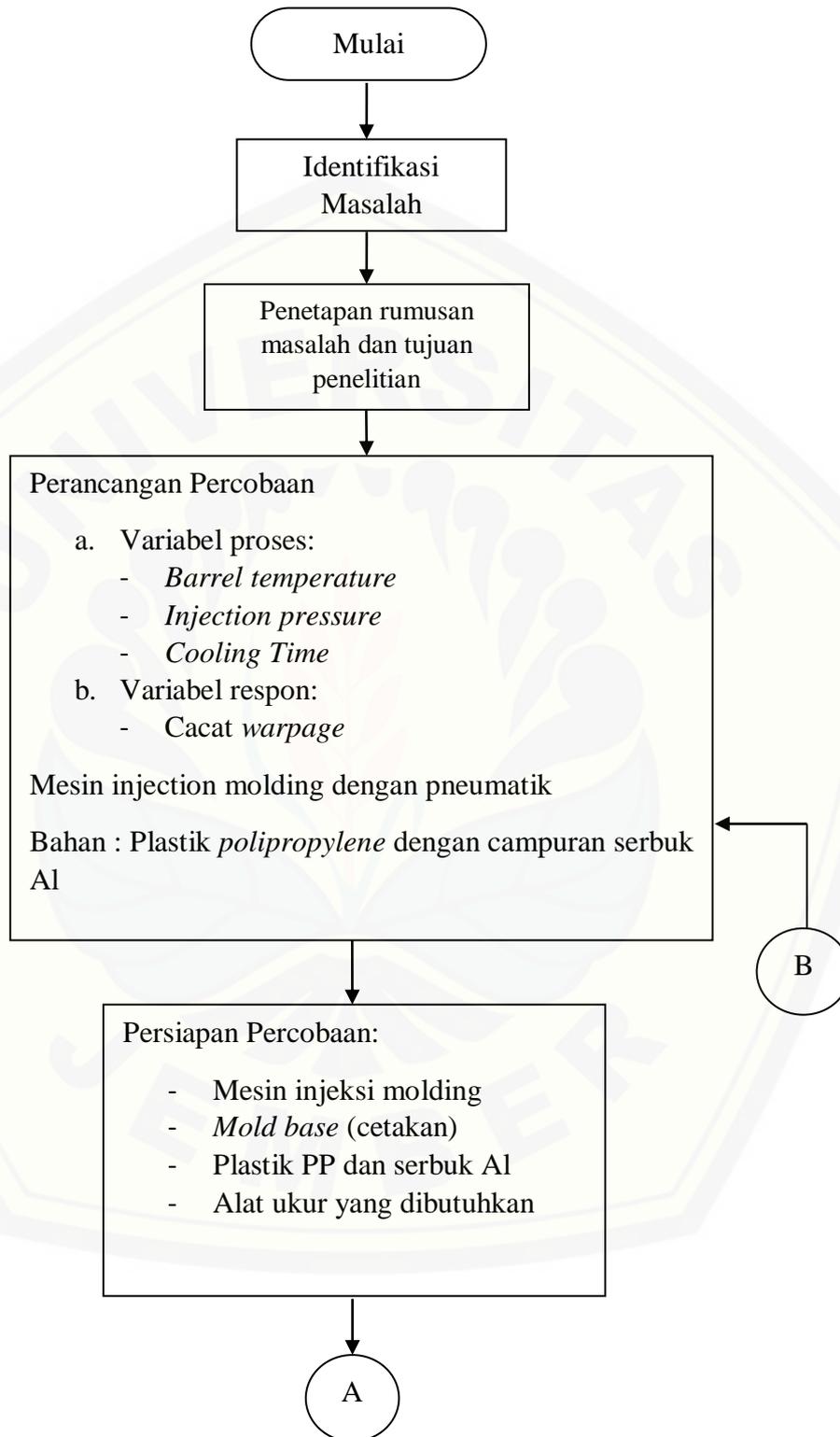
*injection pressure*, dan *cooling time* dengan menggunakan metode taguchi. Dengan mengikuti prosedur-prosedur dan nilai-nilai akan diketahui.

### 3.7 Karakteristik Respon Optimum

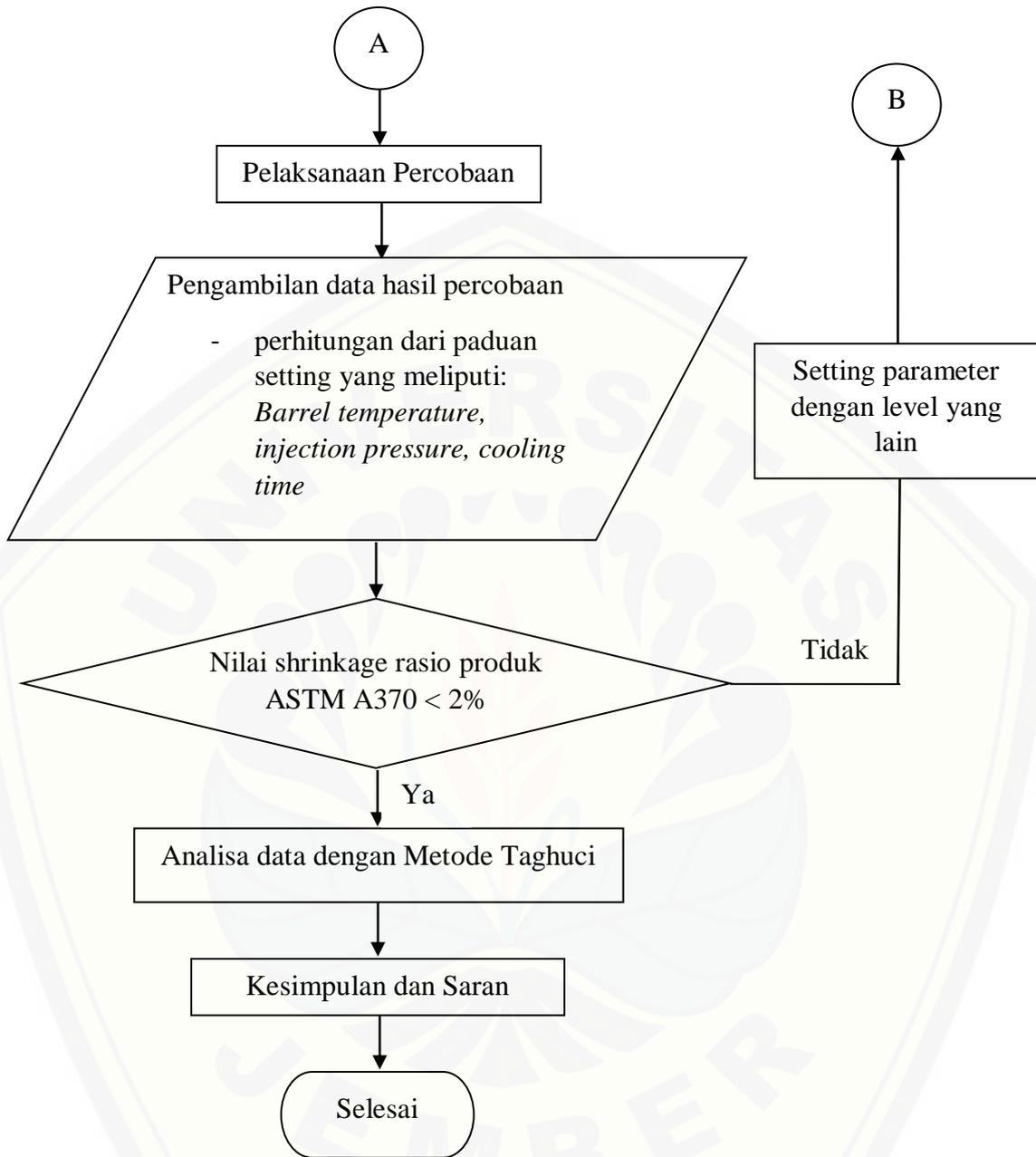
Karakteristik respon optimum yang digunakan pada penelitian ini adalah *smaller is better*. Karakteristik *smaller is better* berlaku untuk nilai dari cacat warpage. Perhitungan rasio S/N masing-masing parameter kendali dilakukan dengan menggunakan perangkat komputasi statistik.



## 3.8 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Metode Penelitian

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian dengan judul “Pengaruh Variasi *Barrel Temperature, Injection Pressure, dan Cooling Time* pada Proses *Composite Injection Molding (Al-PP)*” yaitu sebagai berikut:

- a. Pengaruh setting parameter *injection molding* terhadap cacat *warpage* produk uji tarik ASTM A370 menggunakan bahan campuran *polypropylene* dan alumunium secara berurutan dipengaruhi oleh *barrel temperature* (BT) sebesar 91,62 %, *injection pressure* (IP) sebesar 6,43 %, dan *cooling time* sebesar 1,78 %.
- b. Setting parameter optimum produk uji tarik ASTM A370 menggunakan bahan paduan *polypropylene* dan alumunium dengan nilai cacat *warpage* paling kecil adalah *barrel temperature* pada level 1 dengan temperatur 150 °C, *injection pressure* pada level 3 dengan tekanan 11 bar, dan *cooling time* pada level 1 dengan waktu 15 detik.

### 5.2 Saran

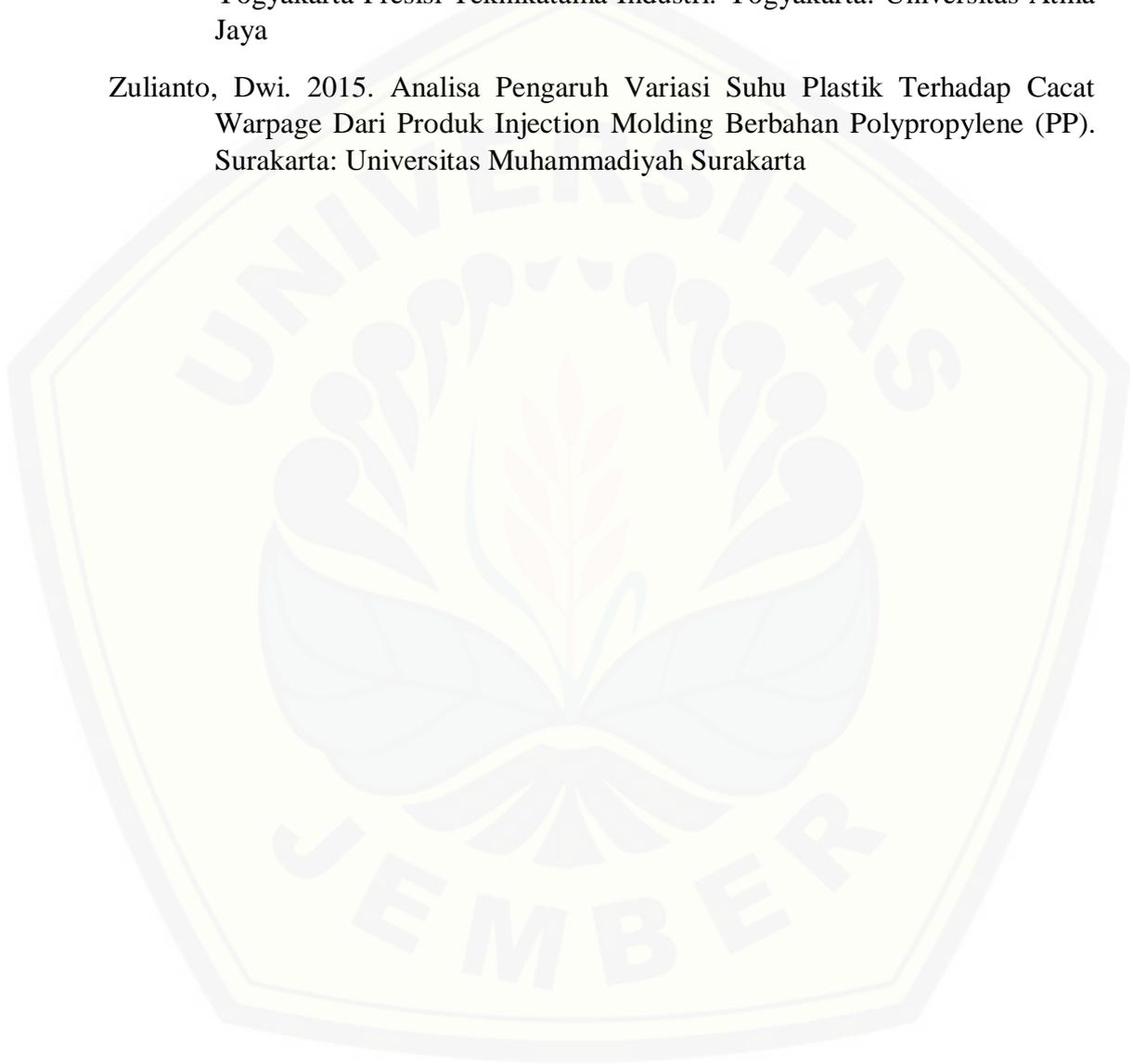
Saran yang bisa saya berikan setelah melakukan penelitian ini yaitu sebagai berikut :

- a. Parameter yang digunakan untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan parameter terbaru yang lebih konstan sehingga dapat memperoleh produk yang lebih optimum
- b. Metode yang digunakan dalam untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan metode lain seperti *response surface* dan lain sebagainya sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan presentasinya.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Fahrizal, 2009. *Prosedur Pengolahan Plastik Dengan Metode Injection molding*. APTEK Vol. 1 No.1
- Fathoni, M.A. 2015. *Analisa Pengaruh Parameter Tekanan Terhadap Cacat Warpage Dari Produk Injection Molding Berbahan Polypropylene*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Firdaus., dan Tjitro, Soejono. 2002. *Studi Eksperimental Pengaruh Paramater Proses Pencetakan Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Benda Cetak Pneumatics Holder*. Jurnal Teknik Mesin Vol. 4, No. 2. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra
- Hadi Syamsul, Ir.1995, *Teknologi Bahan 3*, Hal 36
- Hartono, M. 2012. *Meningkatkan Mutu Produk Plastik dengan Metode Taguchi*. Politeknik Negeri Malang
- Jamaludin, Anif. 2007. *Injection Molding dan Penerapannya di Industri Manufaktur*
- Jerry M. Fischer, 2013. *Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage Second Edition*. Great Britain: Elsevier.
- Mawardi I., Hasrin. & Hanif., 2015. *Analisis Kualitas Produk Dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik Polypropylene (PP) Pada Proses Injection Molding*. Aceh: Universitas Negeri Lhokseumawe
- Mujiarto, Imam. 2005. *Sifat Dan Karakteristik Material Plastik Dan Bahan Aditif*. Traksi
- Mullah, Ilham 2007. *Kajian Rheologi Minyak Kelapa Sawit Sebagai binder untuk feedstock Pada Proses Metal Injection Molding*
- Othman, M.H., Hasan, S., Khamis, S.Z., Ibrahim, M.H.I. & Amin, S.Y.M., 2017. *Optimisation Of Injection Moulding Parameter Towards Shrinkage And Warpage For Polypropylene-Nanoclay-Gigatochloa Scortechinii Nanocomposites*. Johor darul Takzim: Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.
- Oxtoby, 2003. *Alumunium And Classification*. New York: Marcel Dekker
- Sanchez, R., Aisa, J., Martinez, A., & Mercado, D., 2012. *On The Relationship Between Cooling Setup And Warpage In Injection Molding*. Zaragoza: Zaragoza University (CSIC)

- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimental Dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Sonawan, Hery dan Suratman, Rochim. 2003 “pengantar untuk memahami proses pengelasan logam”. ALFABETA. Bandung
- Sunaryo, F.H. 2015. Perancangan Mold Base YO-YO Tipe 1A Pada PT. Yogyakarta Presisi Teknikatama Industri. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya
- Zulianto, Dwi. 2015. Analisa Pengaruh Variasi Suhu Plastik Terhadap Cacat Warpage Dari Produk Injection Molding Berbahan Polypropylene (PP). Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta



LAMPIRAN

6.1 Lampiran tabel minitab

| ↓ | C1  | C2 | C3 | C4 <input checked="" type="checkbox"/> | C5 <input checked="" type="checkbox"/> | C6       | C7        |
|---|-----|----|----|--|--|----------|-----------|
|   | BT  | IP | CT | PERSENTASE                             | SNRA1                                  | MEAN1    | ACF1      |
| 1 | 150 | 7  | 15 | 0.1116                                 | 19.0441                                | 0.111633 | 0.452436  |
| 2 | 150 | 9  | 20 | 0.1088                                 | 19.2674                                | 0.108800 | 0.149613  |
| 3 | 150 | 11 | 25 | 0.1002                                 | 19.9826                                | 0.100200 | -0.029849 |
| 4 | 160 | 7  | 20 | 0.2848                                 | 10.9102                                | 0.284767 | -0.189485 |
| 5 | 160 | 9  | 25 | 0.2498                                 | 12.0493                                | 0.249767 | -0.252890 |
| 6 | 160 | 11 | 15 | 0.1939                                 | 14.2470                                | 0.193933 | -0.374570 |
| 7 | 170 | 7  | 25 | 0.3474                                 | 9.1834                                 | 0.347400 | -0.178700 |
| 8 | 170 | 9  | 15 | 0.2669                                 | 11.4730                                | 0.266900 | -0.076555 |
| 9 | 170 | 11 | 20 | 0.2485                                 | 12.0935                                | 0.248500 |           |

Gambar 1. Penyajian data menggunakan minitab

6.2 Analisa ANOVA

General Linear Model: SNRA1 versus BT, IP, CT

Method

Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

| Factor | Type  | Levels | Values        |
|--------|-------|--------|---------------|
| BT     | Fixed | 3      | 150, 160, 170 |
| IP     | Fixed | 3      | 7, 9, 11      |
| CT     | Fixed | 3      | 15, 20, 25    |

Gambar 2. Informasi tiap faktor

**Analysis of Variance**

| Source | DF | Adj SS  | Adj MS  | F-Value | P-Value |
|--------|----|---------|---------|---------|---------|
| BT     | 2  | 124.118 | 62.0591 | 1091.46 | 0.001   |
| IP     | 2  | 8.606   | 4.3028  | 75.68   | 0.013   |
| CT     | 2  | 2.214   | 1.1068  | 19.47   | 0.049   |
| Error  | 2  | 0.114   | 0.0569  |         |         |
| Total  | 8  | 135.051 |         |         |         |

**Model Summary**

| S        | R-sq   | R-sq(adj) | R-sq(pred) |
|----------|--------|-----------|------------|
| 0.238451 | 99.92% | 99.66%    | 98.29%     |

Gambar 3. Analisis varian dari S/N rasio

**Coefficients**

| Term     | Coef    | SE Coef | T-Value | P-Value | VIF  |
|----------|---------|---------|---------|---------|------|
| Constant | 14.2501 | 0.0795  | 179.28  | 0.000   |      |
| BT       |         |         |         |         |      |
| 150      | 5.181   | 0.112   | 46.09   | 0.000   | 1.33 |
| 160      | -1.848  | 0.112   | -16.44  | 0.004   | 1.33 |
| IP       |         |         |         |         |      |
| 7        | -1.204  | 0.112   | -10.71  | 0.009   | 1.33 |
| 9        | 0.013   | 0.112   | 0.12    | 0.917   | 1.33 |
| CT       |         |         |         |         |      |
| 15       | 0.671   | 0.112   | 5.97    | 0.027   | 1.33 |
| 20       | -0.160  | 0.112   | -1.42   | 0.291   | 1.33 |

**Regression Equation**

$$\text{SNRA1} = 14.2501 + 5.181 \text{ BT}_{150} - 1.848 \text{ BT}_{160} - 3.333 \text{ BT}_{170} - 1.204 \text{ IP}_7 + 0.013 \text{ IP}_9 + 1.191 \text{ IP}_{11} + 0.671 \text{ CT}_{15} - 0.160 \text{ CT}_{20} - 0.512 \text{ CT}_{25}$$

Gambar 4. Koefisien tiap parameter

**Autocorrelation Function: SNRA1****Autocorrelations**

| Lag | ACF       | T     | LBQ   |
|-----|-----------|-------|-------|
| 1   | 0.452436  | 1.36  | 2.53  |
| 2   | 0.149613  | 0.38  | 2.85  |
| 3   | -0.029849 | -0.07 | 2.86  |
| 4   | -0.189485 | -0.47 | 3.58  |
| 5   | -0.252890 | -0.61 | 5.16  |
| 6   | -0.374570 | -0.87 | 9.79  |
| 7   | -0.178700 | -0.39 | 11.37 |
| 8   | -0.076555 | -0.16 | 11.95 |

Gambar 5. Nilai ACF

**Response Table for Signal to Noise Ratios**

Smaller is better

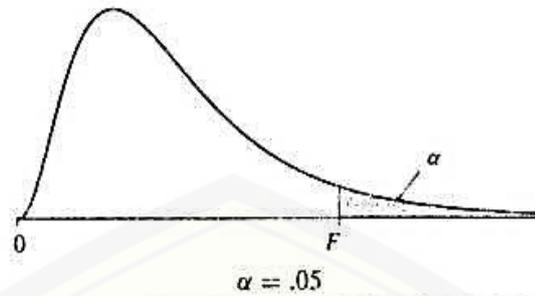
| Level | BT    | IP    | CT    |
|-------|-------|-------|-------|
| 1     | 19.43 | 13.05 | 14.92 |
| 2     | 12.40 | 14.26 | 14.09 |
| 3     | 10.92 | 15.44 | 13.74 |
| Delta | 8.51  | 2.40  | 1.18  |
| Rank  | 1     | 2     | 3     |

**Response Table for Means**

| Level | BT     | IP     | CT     |
|-------|--------|--------|--------|
| 1     | 0.1069 | 0.2479 | 0.1908 |
| 2     | 0.2428 | 0.2085 | 0.2140 |
| 3     | 0.2876 | 0.1809 | 0.2325 |
| Delta | 0.1807 | 0.0671 | 0.0416 |
| Rank  | 1      | 2      | 3      |

Gambar 6. Rata-rata data pada tabel

6.3 Tabel uji statistik  $\alpha = 0.05$



| $df_2$   | $df_1$ |       |       |       |       |       |       |       |       |          |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
|          | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 8     | 12    | 24    | $\infty$ |
| 1        | 161.4  | 199.5 | 215.7 | 224.6 | 230.2 | 234.0 | 238.9 | 243.9 | 249.0 | 254.3    |
| 2        | 18.51  | 19.00 | 19.16 | 19.25 | 19.30 | 19.33 | 19.37 | 19.41 | 19.45 | 19.50    |
| 3        | 10.13  | 9.55  | 9.28  | 9.12  | 9.01  | 8.94  | 8.84  | 8.74  | 8.64  | 8.53     |
| 4        | 7.71   | 6.94  | 6.59  | 6.39  | 6.26  | 6.16  | 6.04  | 5.91  | 5.77  | 5.63     |
| 5        | 6.61   | 5.79  | 5.41  | 5.19  | 5.05  | 4.95  | 4.82  | 4.68  | 4.53  | 4.36     |
| 6        | 5.99   | 5.14  | 4.76  | 4.53  | 4.39  | 4.28  | 4.15  | 4.00  | 3.84  | 3.67     |
| 7        | 5.59   | 4.74  | 4.35  | 4.12  | 3.97  | 3.87  | 3.73  | 3.57  | 3.41  | 3.23     |
| 8        | 5.32   | 4.46  | 4.07  | 3.84  | 3.69  | 3.58  | 3.44  | 3.28  | 3.12  | 2.93     |
| 9        | 5.12   | 4.26  | 3.86  | 3.63  | 3.48  | 3.37  | 3.23  | 3.07  | 2.90  | 2.71     |
| 10       | 4.96   | 4.10  | 3.71  | 3.48  | 3.33  | 3.22  | 3.07  | 2.91  | 2.74  | 2.54     |
| 11       | 4.84   | 3.98  | 3.59  | 3.36  | 3.20  | 3.09  | 2.95  | 2.79  | 2.61  | 2.40     |
| 12       | 4.75   | 3.88  | 3.49  | 3.26  | 3.11  | 3.00  | 2.85  | 2.69  | 2.50  | 2.30     |
| 13       | 4.67   | 3.80  | 3.41  | 3.18  | 3.02  | 2.92  | 2.77  | 2.60  | 2.42  | 2.21     |
| 14       | 4.60   | 3.74  | 3.34  | 3.11  | 2.96  | 2.85  | 2.70  | 2.53  | 2.35  | 2.13     |
| 15       | 4.54   | 3.68  | 3.29  | 3.06  | 2.90  | 2.79  | 2.64  | 2.48  | 2.29  | 2.07     |
| 16       | 4.49   | 3.63  | 3.24  | 3.01  | 2.85  | 2.74  | 2.59  | 2.42  | 2.24  | 2.01     |
| 17       | 4.45   | 3.59  | 3.20  | 2.96  | 2.81  | 2.70  | 2.55  | 2.38  | 2.19  | 1.96     |
| 18       | 4.41   | 3.55  | 3.16  | 2.93  | 2.77  | 2.66  | 2.51  | 2.34  | 2.15  | 1.92     |
| 19       | 4.38   | 3.52  | 3.13  | 2.90  | 2.74  | 2.63  | 2.48  | 2.31  | 2.11  | 1.88     |
| 20       | 4.35   | 3.49  | 3.10  | 2.87  | 2.71  | 2.60  | 2.45  | 2.28  | 2.08  | 1.84     |
| 21       | 4.32   | 3.47  | 3.07  | 2.84  | 2.68  | 2.57  | 2.42  | 2.25  | 2.05  | 1.81     |
| 22       | 4.30   | 3.44  | 3.05  | 2.82  | 2.66  | 2.55  | 2.40  | 2.23  | 2.03  | 1.78     |
| 23       | 4.28   | 3.42  | 3.03  | 2.80  | 2.64  | 2.53  | 2.38  | 2.20  | 2.00  | 1.76     |
| 24       | 4.26   | 3.40  | 3.01  | 2.78  | 2.62  | 2.51  | 2.36  | 2.18  | 1.98  | 1.73     |
| 25       | 4.24   | 3.38  | 2.99  | 2.76  | 2.60  | 2.49  | 2.34  | 2.16  | 1.96  | 1.71     |
| 26       | 4.22   | 3.37  | 2.98  | 2.74  | 2.59  | 2.47  | 2.32  | 2.15  | 1.95  | 1.69     |
| 27       | 4.21   | 3.35  | 2.96  | 2.73  | 2.57  | 2.46  | 2.30  | 2.13  | 1.93  | 1.67     |
| 28       | 4.20   | 3.34  | 2.95  | 2.71  | 2.56  | 2.44  | 2.29  | 2.12  | 1.91  | 1.65     |
| 29       | 4.18   | 3.33  | 2.93  | 2.70  | 2.54  | 2.43  | 2.28  | 2.10  | 1.90  | 1.64     |
| 30       | 4.17   | 3.32  | 2.92  | 2.69  | 2.53  | 2.42  | 2.27  | 2.09  | 1.89  | 1.62     |
| 40       | 4.08   | 3.23  | 2.84  | 2.61  | 2.45  | 2.34  | 2.18  | 2.00  | 1.79  | 1.51     |
| 60       | 4.00   | 3.15  | 2.76  | 2.52  | 2.37  | 2.25  | 2.10  | 1.92  | 1.70  | 1.39     |
| 120      | 3.92   | 3.07  | 2.68  | 2.45  | 2.29  | 2.17  | 2.02  | 1.83  | 1.61  | 1.25     |
| $\infty$ | 3.84   | 2.99  | 2.60  | 2.37  | 2.21  | 2.09  | 1.94  | 1.75  | 1.52  | 1.00     |



### 6.5 Bahan yang digunakan



Gambar 7. Plastik *Polypropylene*



Gambar 8. Plastik POM



Gambar 9. Al Powder

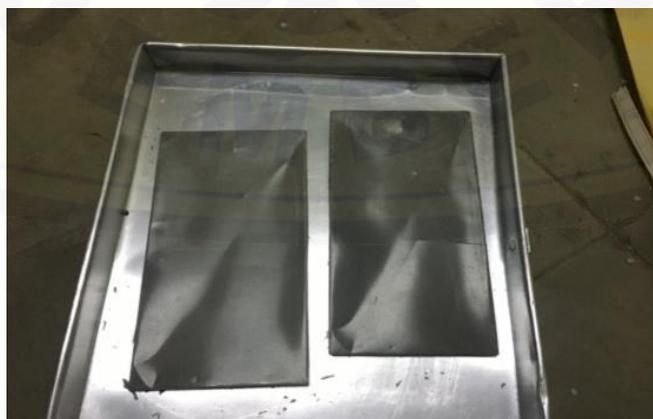
## 6.6 Pencampuran bahan



Gambar 10. *Mixing* tahap 1 (Pemanasan)



Gambar 11. *Mixing* tahap 2 (Pendinginan)



Gambar 12. Pencetakan



Gambar 13. Bahan Al-PP

### 6.7 Foto saat penelitian



Gambar 14. Tekanan kompresor



Gambar 15. Setting pemanas dan timer



Gambar 16. Masukkan bahan ke *barrel*



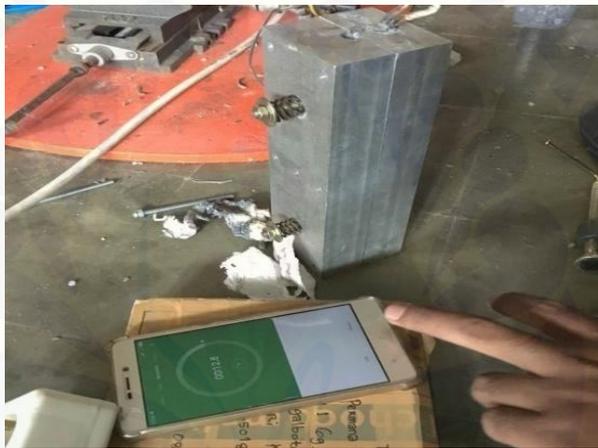
Gambar 17. Pemasangan *modal*



Gambar 18. Mengencangkan tuas *barrel*



Gambar 19. Penginjekan



Gambar 20. Mencatat waktu pendinginan



Gambar 21. Pengeluaran spesimen

### 6.8 Gambar hasil spesimen ASTM A370

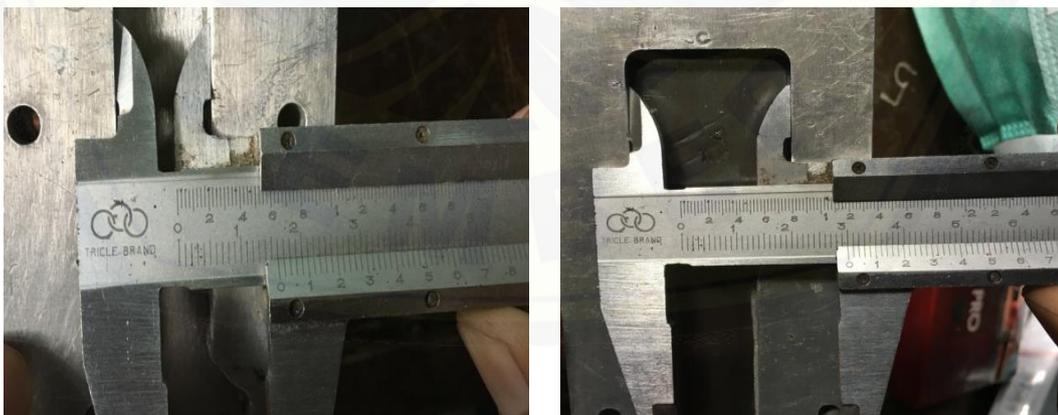


Gambar 22. Spesimen tampak atas

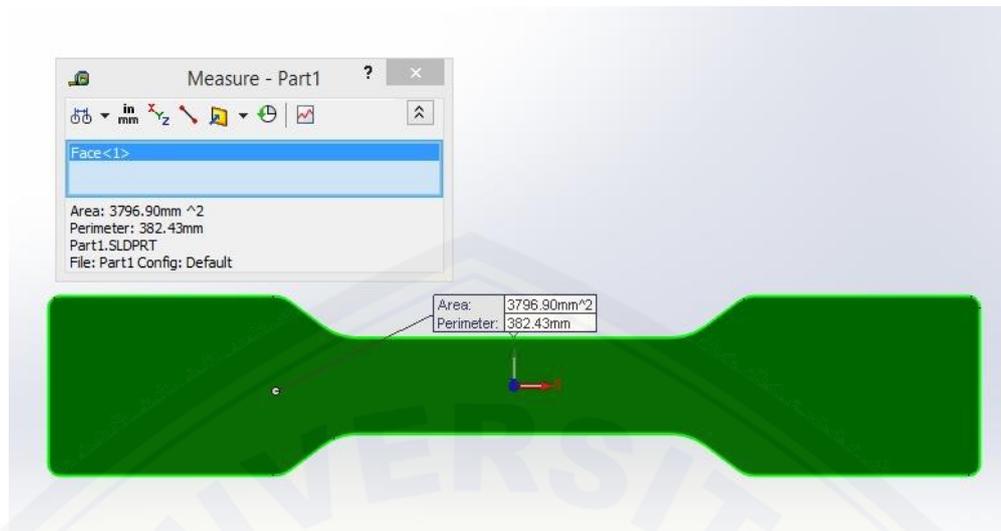


Gambar 23. Spesimen tampak bawah

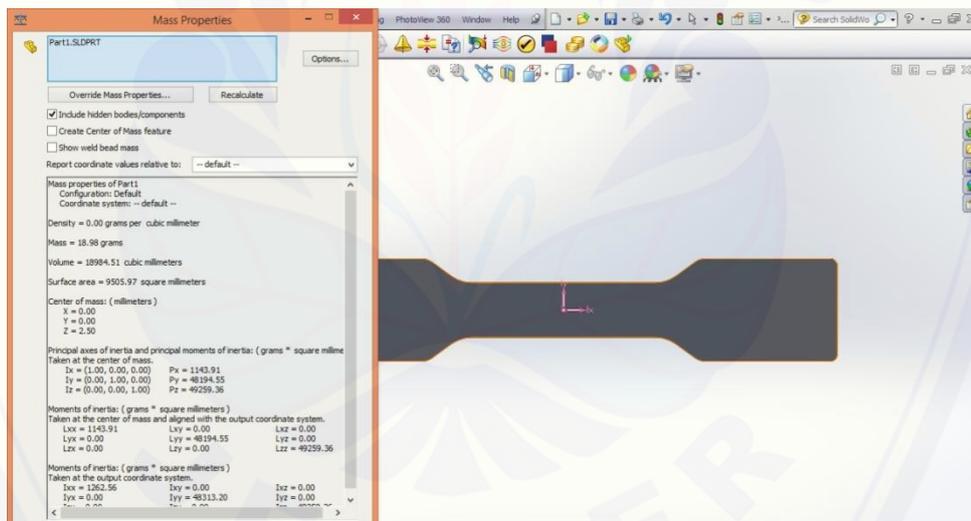
### 6.9 Pengambilan data cacat *warpage*



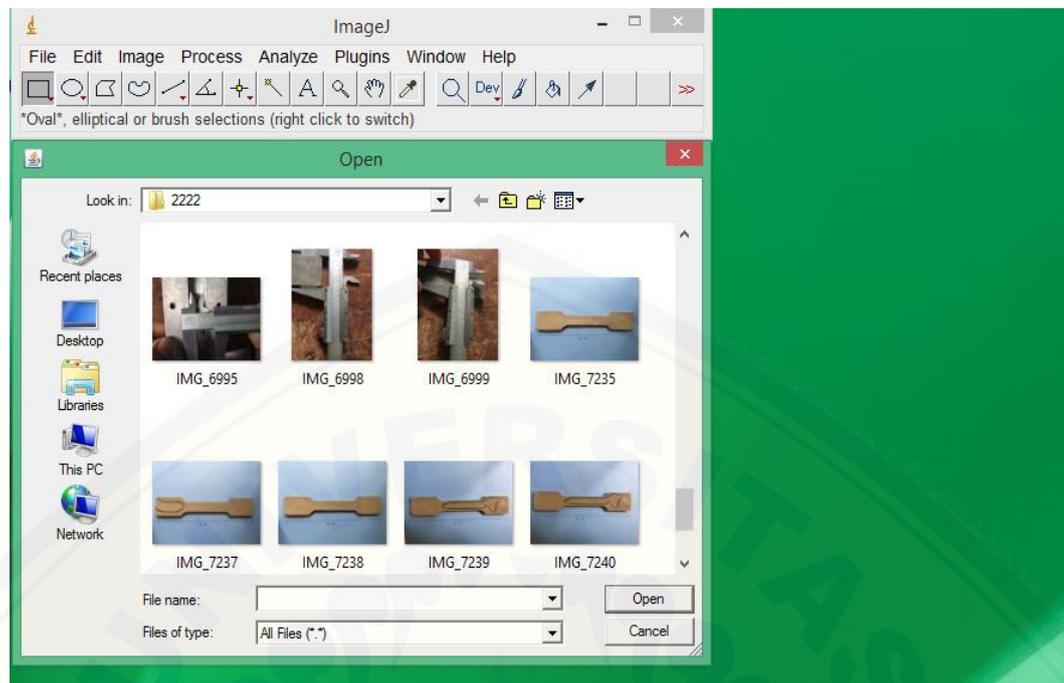
Gambar 24. Pengukuran cetakan



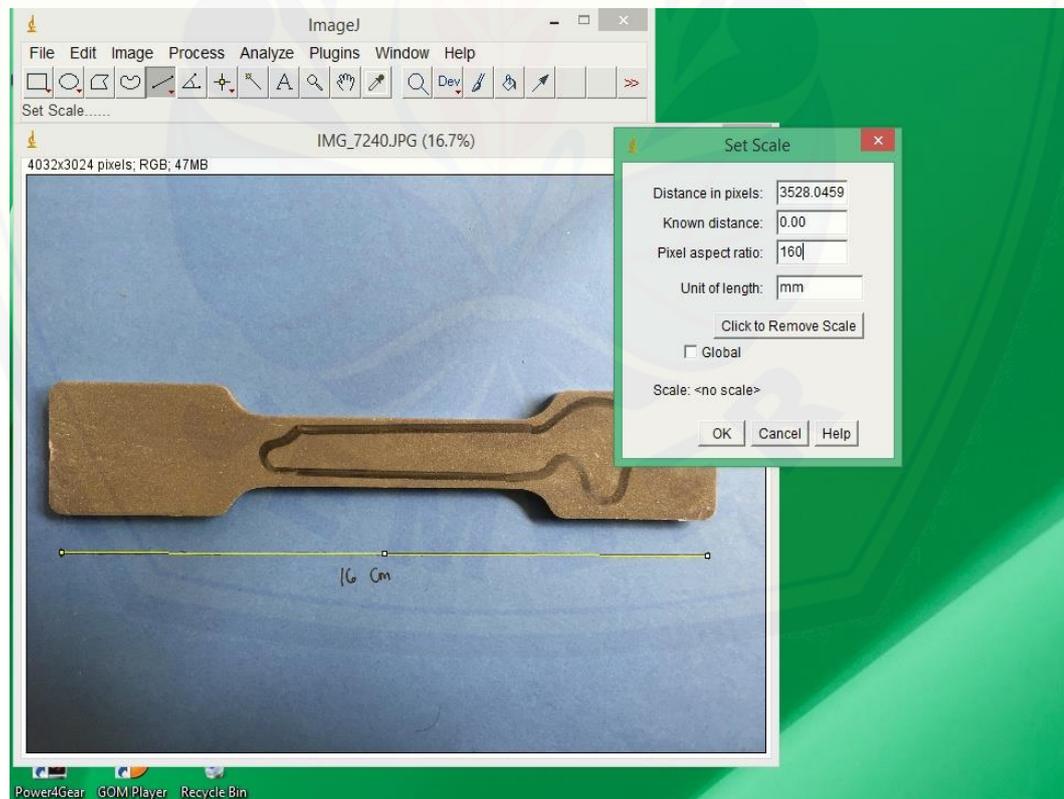
Gambar 25. Luasan cetakan



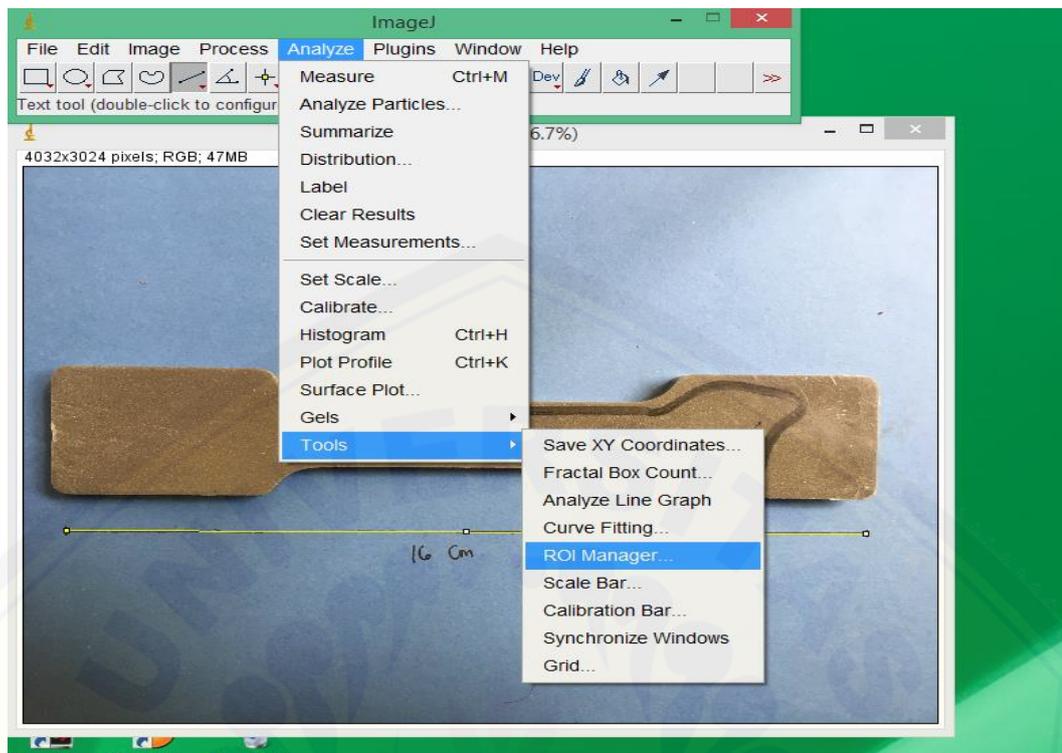
Gambar 26. Volume pattern



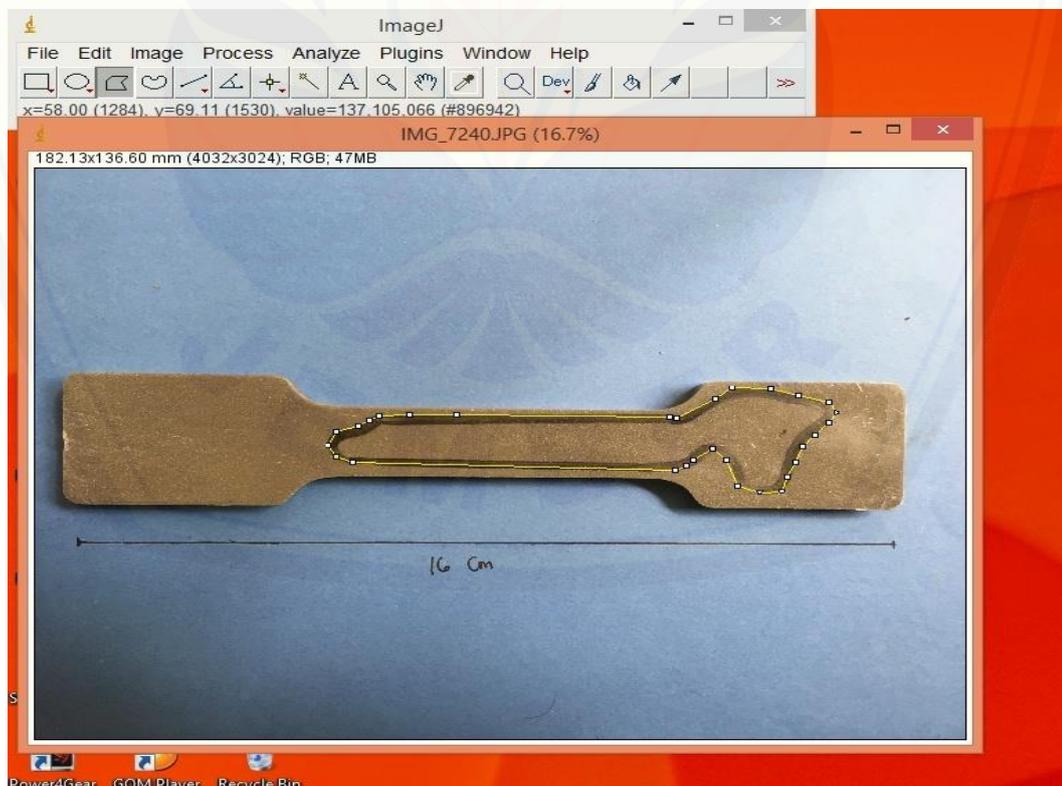
Gambar 26. Membuka foto ke ImageJ



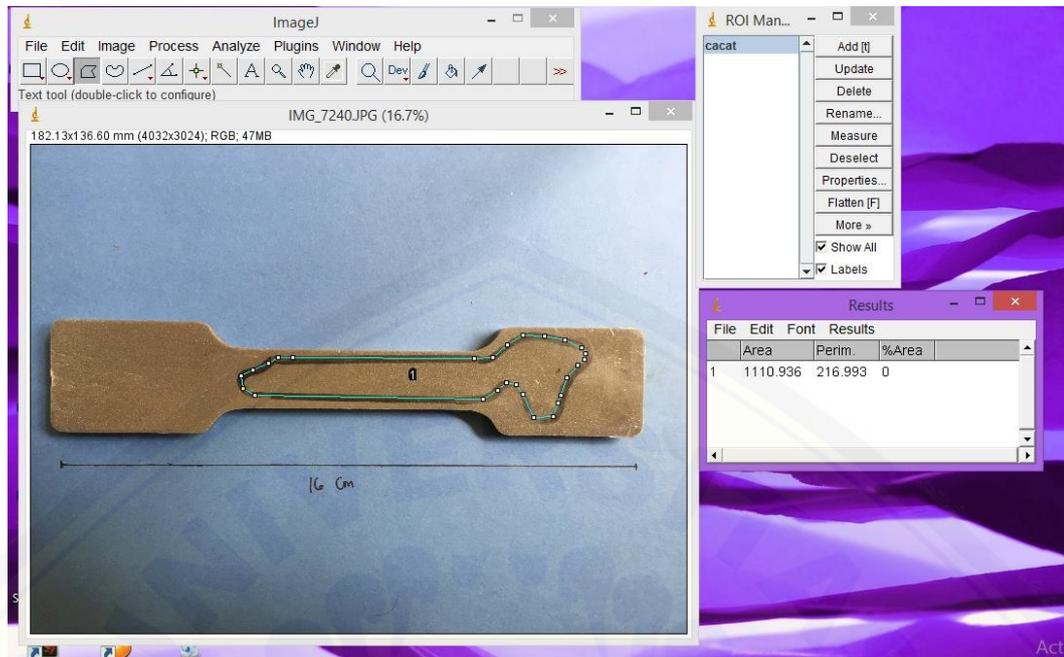
Gambar 27. Mengatur skala



Gambar 28. Membuat pencatat kerja



Gambar 29. Membuat garis tanda



Gambar 30. Menghitung luasan cacat *warp*age