

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

M. Puji Ibnu Mimbar Maulana^{1,a}

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

^aibnum73@gmail.com

Intisari

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

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

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

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

Kale et al., (2013) telah melakukan penelitian mengenai optimalisasi parameter proses *injection molding* untuk meminimalkan *shrinkage* pada material *high density polyethylene (HDPE)* dengan metode DOE Taguchi, yang menghasilkan *shrinkage* 0,515 %. Variasi parameter yang digunakan adalah temperatur leleh, *injection pressure* , *packing time* , *packing pressure* , dan *cooling time* . Dari beberapa parameter yang digunakan, temperatur leleh merupakan parameter yang sangat berpengaruh terhadap *shrinkage* . Penelitian yang dilakukan oleh Lal et al., (2013) mengenai optimalisasi parameter *injection molding* pada material *low density polyethylene (LDPE)*, menyatakan bahwa parameter *cooling time* , dan *refilling pressure* menjadi parameter yang berpengaruh terhadap *shrinkage* pada material LDPE, dengan hasil *shrinkage* optimum sebesar 1,25 %. Berbagai kombinasi variasi parameter yang optimal pada penelitian yang dilakukan adalah temperatur leleh 190 °C, *injection pressure* 55 Mpa, *refilling pressure* 85 Mpa, dan *cooling time* 11 sekon.

Berdasarkan penelitian diatas optimalisasi parameter proses sangat berpengaruh terhadap

besarnya persentase *shrinkage* pada produk plastik. Maka dari itu penelitian mengenai optimalisasi parameter proses pada material plastik *acrylonitril butadiene styrene (ABS)* perlu dilakukan lebih lanjut, untuk mengetahui besarnya persentase *shrinkage* pada material ABS daur ulang dan cara meminimalkan *shrinkage* pada produk plastik dengan mengoptimalkan parameter proses pada *injection molding* . Beberapa parameter yang digunakan adalah *holding pressure* , *holding time* , *back pressure* , *cooling time* , dan temperatur leleh. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan atau rekomendasi untuk pembuatan produk plastik dengan proses *injection molding* , agar menghasilkan produk yang berkualitas.

1.2 Dasar Teori

1.2.1 Plastik Acrylonitril Butadiene Styrene (ABS)

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

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

Temperatur leleh resin ABS ini antara 230°C - 250°C, temperatur leleh ini harus sering diperiksa dan dikontrol agar tidak melebihi suhu yang telah direkomendasikan. Pengontrolan temperatur leleh bertujuan untuk mencegah terjadinya cacat penampilan dan sifat mekanik pada sebuah produk plastik yang dihasilkan.

Berikut ini adalah karakteristik resin ABS (*Acrylonitril Butadiene Styrene*) toyolac tipe 700 341 (Toray plastics malaysia, 2012).

1.2.2 Injection Molding

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

Metode dasar pembentukan plastik molding bertujuan untuk mendapatkan produk yang sesuai dengan sifat – sifat fisik yang diinginkan baik dari sisi luas penampang, ketebalan, desain produk, *insert* yang panjang, dan toleransi dari sebuah produk yang harus dipenuhi. Material plastik yang digunakan juga merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam pembuatan sebuah produk plastik (Budiyantoro, 2010).

1.2.3 Shrinkage

Shrinkage merupakan salah satu cacat yang sering kali kita dapatkan pada produk plastik. *Shrinkage* akan timbul apabila terjadi perubahan *densitas* dari temperatur proses ke temperatur ruangan, cacat *shrinkage* tidak bisa kita hilangkan tetapi dapat *diliminir* atau dikurangi persentasenya dalam sebuah produk. Material plastik dari bahan semi kristal akan lebih besar nilai *shrinkagenya* di bandingkan dengan bahan *amorphous* (Firdaus et al., 2003).

Penyusutan yang terjadi pada proses *injection molding* terbagi menjadi dua macam yaitu *molding shrinkage* adalah perbedaan ukuran antara produk yang dihasilkan dengan ukuran cetakan, dan *post shrinkage* adalah penyusutan ukuran produk setelah di bentuk, dalam kurun waktu penyimpanan, atau kurun waktu pemakaian (Budiyantoro, 2010).

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

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

S : Nilai *Shrinkage*
Lm : Panjang Ukuran Cetakan
Lp : Panjang Ukuran Produk

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

2. Metodologi

2.1 Metode *Design of Experiment* (DOE) Taguchi

Metode Taguchi adalah metode yang

digunakan untuk pengolahan data yang meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *layout* tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih. Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan kualitas produk adalah metode *design of experiment* (DOE) *Taguchi* (Irwan Soejito, 2009).

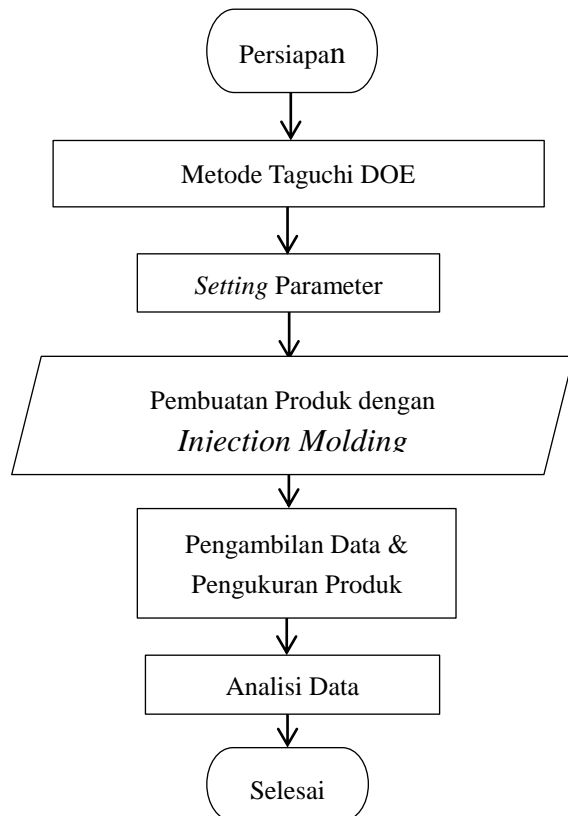
Design of experiment merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam sebuah penelitian. Pada metode DOE tiap langkah dalam percobaan atau tindakan dapat teridentifikasi sedemikian rupa sehingga informasi yang diperlukan dalam persoalan yang sedang diteliti dapat terkumpul. Data – data yang diperoleh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

2.2 Alat dan Bahan

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah ABS daur ulang toyolac 700 341, sedangkan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: mesin *injection molding*, *minitab*, *mold release*, *hairdryer*, tabung *drying*, jangka sorong, *micrometer*, *thermo infrared*, kunci inggris, dan kunci L / *hex*.

2.3 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini di lakukan di laboratorium *injection molding* Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. (Gb.2.1)



Gambar 1 Diagram alir penelitian

2.4 Menentukan Parameter Proses

Berikut ini besarnya nilai disetiap *level* yang digunakan pada penelitian.

Tabel 1 Variabel parameter dan *level*

| Faktorial | Variabel | Satuan | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
|-----------|-------------------------|--------|---------|---------|---------|
| A | <i>Holding Pressure</i> | Bar | 87 | 90 | 93 |
| B | <i>Holding Time</i> | Detik | 3 | 3,25 | 3,5 |
| C | <i>Cooling Time</i> | Detik | 16 | 18 | 20 |
| D | <i>Back Pressure</i> | Bar | 10 | 15 | 20 |
| E | Temperatur Leleh | °C | 205 | 210 | 215 |

Tabel 2 Variasi Parameter

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

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran *Longitudinal*

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

Tabel 3 Hasil pengukuran *longitudinal* minimum

| PERCOBAAN 2 |
|-------------|
|-------------|

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

Tabel 4 Hasil pengukuran *longitudinal* optimum

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

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

$$S = 0,42 \%$$

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

$$S = 0,28 \%$$

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

3.2 Hasil Pengukuran *Transversal*

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

Tabel 5 Hasil pengukuran *transversal* minimum.

| PERCOBAAN 2 | | | |
|-------------|-------------------------|-----------|------------------------------|
| No. | <i>Transversal</i> (mm) | Rata-rata | <i>Shrinkage Transversal</i> |

| | | | | | (%) |
|-----------|------|------|------|-------|-------|
| 1 | 9,77 | 9,82 | 9,8 | 9,796 | 2,033 |
| 2 | 9,76 | 9,57 | 9,69 | 9,673 | 3,266 |
| 3 | 9,7 | 9,75 | 9,75 | 9,733 | 2,666 |
| 4 | 9,71 | 9,8 | 9,71 | 9,74 | 2,6 |
| 5 | 9,71 | 9,74 | 9,73 | 9,726 | 2,733 |
| 6 | 9,76 | 9,76 | 9,73 | 9,75 | 2,5 |
| 7 | 9,77 | 9,84 | 9,8 | 9,803 | 1,966 |
| 8 | 9,79 | 9,74 | 9,76 | 9,763 | 2,366 |
| 9 | 9,77 | 9,77 | 9,75 | 9,763 | 2,366 |
| 10 | 9,76 | 9,98 | 9,72 | 9,82 | 1,8 |
| Rata-Rata | 9,75 | 9,77 | 9,74 | 9,757 | 2,43 |

Tabel 6 Hasil pengukuran transversal optimum

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

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

$$S = 2,43 \%$$

Pada percobaan ke 13 didapat nilai terukur rata-rata produk sebesar 9,92 mm, maka persentase *shrinkage* rata-ratanya adalah

$$S = 0,77 \%$$

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

3.3 Analisa Shrinkage pada Longitudinal dan Transversal

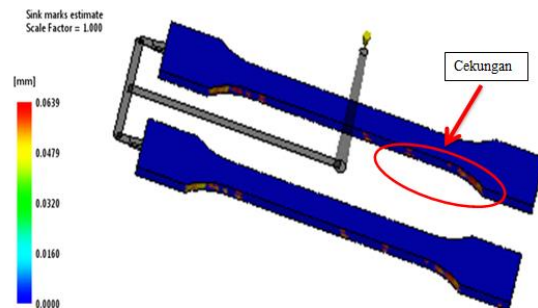
Pada hasil penelitian yang dilakukan nilai *shrinkage* pada longitudinal lebih kecil dibandingkan dengan nilai *shrinkage* transversal. Berikut ini adalah tabel nilai *shrinkage* pada percobaan ke 2 dan 13.

Tabel 7 Nilai *shrinkage* longitudinal dan transversal

| No. Percobaan | Shrinkage | |
|---------------|------------------|-----------------|
| | Longitudinal (%) | Transversal (%) |
| 2 | 0,42 | 2,43 |
| 13 | 0,28 | 0,77 |

Analisa nilai *shrinkage* longitudinal dan transversal, diperlukan agar spesimen yang

dihasilkan memiliki bentuk dan ukuran yang sesuai dengan desain produk. Nilai *shrinkage longitudinal* lebih kecil dibandingkan transversal. Hal ini dikarenakan pada daerah transversal terdapat lekukan atau cekungan yang dapat mengakibatkan nilai *shrinkage* pada daerah transversal akan lebih besar. (Gb.3.1)



Gambar 2. Sink mark estimate

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

4. Kesimpulan

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

Daftar Pustaka

- Anggono, A.D., 2005. *Prediksi Shrinkage Untuk Menghindari Cacat Produk Pada Plastic Injection*. Media Mesin, 6(2): 70-77.
- Akbarzadeh, A. dan Mohammad S., 2011. *Parameter Study in Plastic Injection Molding Process using Statistical Methods and IWO Algorithm*. International Journal of Modeling and Optimization, 1(2):141-145.
- Firdaus dan Soejono T., 2002. *Studi Eksperimental Pengaruh Parameter Proses Pencetakan*



- Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Benda Cetak Pnuematics Holder.* Jurnal Teknik Mesin, 4(2): 75-85.
- Kavande, M. V dan S.D. Kadam. 2012. *Parameter Optimization of Injection Molding of Polypropylene by using Taguchi Methodology.* IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 4(4): 49-58.
- Kale, H.P., dan Umesh V.H. 2015. *Optimization of Injection Moulding Process Parameters for Reducing Shrinkage by Using High Density Polyethylene (HDPE) Material.* Internatinal Journal of Science and Research. 4(5): 722-725.
- Kamaruddin, S., Zahid A.K., dan S.H. Foong. 2010. *Application of Taguchi Method in the Optimization of Injection Moulding Parameters of Manufacturing Products from Plastic Blend.* IACSIT International Journal of Engineering and Technology, 2(6):574-580.
- Kristanto, Y., Bambang K., dan Ubaidillah. 2013. *Pengaruh Suhu Pemanas Terhadap Shrinkage Pada Proses Injeksi Polypropylene.* Jurnal Mekanika, 12(1):7-10.
- Lal, S.K. dan Hari V. 2013. *Optimization of Injection Moulding Process Parameters in the Moulding of Low Density Polyethylene (LDPE).* Internatinal Journal of Engineering Research and Development, 7(5): 35-39.
- Oktaviansi, S.D. 2012. *Anlisa Pengaruh Parameter Tekanan dan Waktu Penekanan Terhadap Sifat Mekanik dan Cacat Penyusutan dari Produk Injection Molding Berbahan Polyethylene (PE).* Skripsi. Program Strata-1. Universitas Sultan Agung Tirtayasa.
- Soejito, I. 2009. *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi.* Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sugondo, A., Willyanto A., dan Ian H.S., 2007. *Minimalisasi Cacat dengan Pengaturan Tekanan Terhadap Kualitas Produk pada Proses Injection Molding dengan Menggunakan Simulasi.* Tekno Sim 2007. Hal 34 -40.