

## ANALISA PENYUSUTAN PRODUK PLASTIK PADA PROSES INJECTION MOLDING MENGGUNAKAN MEDIA PENDINGIN COOLING TOWER DAN UDARA DENGAN MATERIAL POLYPROPYLENE

### ANALYSIS OF PLASTIC DEPRECIATION ON INJECTION MOLDING PROCESS USING COOLANT MEDIA OF COOLING TOWER AND AIR WITH POLYPROPYLENE MATERIAL

Anwar Ilmar Ramadhan<sup>1\*</sup>, Ery Diniardi<sup>1</sup>, Muhamad Daroji<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta Pusat 10510 Indonesia

\*E-mail : anwar.ilmar@ftumj.ac.id

#### Abstrak

Histori Artikel:

Submitted:

19/06/2017

Revised:

12/07/2017

Accepted:

24/07/2017

*Shrinkage* merupakan suatu cacat berupa perubahan dimensi produk hasil proses *injection molding*. Pendinginan *mold* merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi cacat produk *shrinkage*. Pendinginan pada *mold* dapat dilakukan dengan media pendinginan udara ( *air cooling* ) atau fluida ( *water cooling* ). Pemanfaatannya tergantung dari efektivitas pendinginan yang perlu dicapai sehingga produk cepat berada pada batas temperatur sentak yang diijinkan sesuai material plastik, fasilitas yang tersedia dan konstruksi pendinginan yang mendukung. Pengujian dilakukan menggunakan material *polypropylene* dengan parameter yang konstan seperti waktu injeksi 1 detik, tekanan injeksi 650 bar, kecepatan injeksi 25 mm/s dan temperatur leleh 230°C - 240°C, serta variabel *backpressure* yang digunakan pada masing – masing zat pendinginan yaitu 15 kgf/cm<sup>2</sup>, 25 kgf/cm<sup>2</sup>, dan 35 kgf/cm<sup>2</sup>. Pada pengujian pendinginan *cooling tower* dengan menggunakan settingan temperatur leleh 230°C - 240°C dengan waktu injeksi 1 detik dan *backpressure* 15 kgf/cm<sup>2</sup> nilai *shrinkage*-nya adalah 1,65%, dan *backpressure* 25 kgf/cm<sup>2</sup> nilai *shrinkage*-nya 1,57 % serta pada *backpressure* 35 kgf/cm<sup>2</sup> nilai *shrinkage*-nya adalah 1,49 %. Pada pengujian menggunakan pendinginan udara dengan menggunakan settingan yang sama seperti pada pendinginan *cooling tower* didapat nilai *shrinkage* pada *backpressure* 15 kgf/cm<sup>2</sup> adalah 1,78 %, dan *backpressure* 25 kgf/cm<sup>2</sup> nilai *shrinkage* sebesar 1,7 %, serta pada *backpressure* 35 kgf/cm<sup>2</sup> nilai *shrinkage*-nya adalah 1,61 %. Berdasarkan hasil pengujian, *shrinkage* pada pengujian *injection molding* dengan pendinginan *cooling tower* lebih kecil dibandingkan pada pengujian *injection molding* dengan pendinginan udara. Hal ini disebabkan karena laju perpindahan panas konveksi maupun konduksi yang terjadi pada pendinginan *cooling tower* lebih baik dibandingkan dengan menggunakan pendinginan udara, sehingga pemerataan panas pada *mold* akan lebih merata dan akan memiliki temperatur yang konstan.

**Kata kunci:** *Shrinkage*, Material plastik, Pendinginan *Mold*, Perpindahan Panas

#### **ABSTRACT**

Shrinkage is a defect which makes the product dimensions of injection molding process change. Mold cooling is one of the factors that shrinkage defect. Cooling mold can be done by air cooling or water cooling. The function depends on the effectiveness of cooling which needs to be achieved in order to make the product reaches on the hitch temperature limit as the plastic material used, the available facilities and the supported cooling constructed. The test was conducted using a polypropylene material with constant parameters such as 1 second injection time, 650 bar of injection pressure, 25 mm/s of injection speed and 230°C - 240°C of melting temperature, as well as backpressure variable used in each cooling agents are 15 kgf/cm<sup>2</sup>, 25 kgf/cm<sup>2</sup>, and 35 kgf/cm<sup>2</sup>. On the testing of cooling tower and use setting the melting temperature of 230°C - 240°C with 1 second injection time and backpressure 15 kgf/cm<sup>2</sup> shrinkage of its value is 1,65%, and the backpressure 25 kgf/cm<sup>2</sup> shrinkage of its value is 1,57% as well as the backpressure 35 kgf/cm<sup>2</sup> shrinkage of its value is 1,49 %. On testing using air cooling and using the same setting as in the cooling tower, shrinkage values obtained in backpressure 15 kgf/cm<sup>2</sup> is 1,78%, and backpressure 25 kgf/cm<sup>2</sup> shrinkage of its value is 1,7%, as well as the backpressure 35 kgf/cm<sup>2</sup> shrinkage of its value is 1,61%. Based on the result of testing, test of shrinkage in injection molding with cooling tower is smaller than the test injection molding with air cooling. This is because the rate of convection and conduction heat transfer that occurs in cooling tower is better than using air cooling in the mold, so that heat distribution will be uneven and will have a constant temperature.

**Keywords :** Shrinkage, plastic materials, mold cooling, heat transfer

#### **PENDAHULUAN**

Plastik merupakan suatu polimer yang memiliki sifat – sifat yang luar biasa. Plastik yang digunakan untuk kemasan memiliki berbagai kelebihan, diantaranya yaitu fleksibel, bentuk laminasi (aneka warna, tidak mudah rusak, dan harga yang relatif murah) dan transparan (Akbarzadeh, et al, 2011). Material plastik yang digunakan dalam pembuatan produk plastik diantaranya yaitu polypropylene, polyethylene, polystyrene, dan lain – lain (Amri, 2009, Anggono, 2005, Awaluddin, 2012). Polypropylene digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti komponen otomotif, perlengkapan laboratorium, tempat makanan ataupun minuman. Polyethylene biasa digunakan untuk kemasan botol susu, botol detergen maupun pipa air (Budiarto, 2011). Polystyrene digunakan untuk pembuatan casing TV, lensa yang terbuat dari plastik dan masih banyak lainnya (Febriantoko, 2008).

Proses injection molding merupakan proses yang kompleks karena melibatkan beberapa langkah – langkah proses yang diawali dengan langkah pengisian material yaitu material plastik yang leleh akan mengalir dari unit injeksi melalui sprue, runner, gate dan masuk ke dalam cavity. Material plastik yang terdapat di dalam cavity kemudian ditahan di dalam mold dibawah tekanan tertentu untuk menjaga adanya shrinkage selama produk

mengalami pendinginan (Firdaus, 2002, Kamaruddin, 2010).

Permasalahan umum yang sering terjadi pada industri injeksi plastik adalah adanya penyusutan pada produk hasil proses injeksi. Dalam proses injection molding terdapat banyak parameter yang dapat mempengaruhi hasil injeksi (Gede, 2004, Deden, 2005). Adapun parameter – parameter tersebut adalah holding time, inject time, cooling time, mold temperature dan lain – lain. Jika salah satu parameter proses injeksi tersebut diabaikan, maka hasil benda cetakan tersebut kurang baik antara lain akan timbul cacat shrinkage pada benda hasil cetakan (Santoso, 2014). Shrinkage merupakan suatu cacat berupa perubahan dimensi produk hasil proses injection molding.

Pendinginan mold merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi cacat produk shrinkage. Penggunaan media untuk pendinginan mold di PT XYZ yaitu dengan menggunakan cooling tower dan water chiller. Namun, jika terdapat kondisi mold yang kurang baik seperti mold bocor atau terdapat retak pada daerah insert cavity atau insert core serta output untuk pengiriman bersifat urgent, maka pendinginan harus menggunakan udara untuk sementara waktu hingga mold dijadwalkan untuk diperbaiki setelah selesai produksi.

Melihat kejadian seperti ini, mencoba untuk menganalisa penyusutan produk plastik yang terjadi antara pendinginan menggunakan udara dan cooling tower dengan material

polypropylene. Penelitian tentang analisa penyusutan produk plastik pada proses injection molding menggunakan media pendinginan cooling tower dan udara untuk mengetahui gambaran mengenai besaran nilai penyusutan antara cooling tower dan udara.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui besarnya nilai *shrinkage* atau penyusutan antara media pendingin *cooling tower* dan udara pada proses *injection molding*.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa penyusutan produk plastik pada proses *injection molding* menggunakan media pendingin *cooling tower* dan udara yang dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh pendinginan pada *mold* terhadap seberapa besar nilai cacat penyusutan dimensi produk plastik antara media pendinginan *cooling tower* dan udara serta untuk mengetahui pengaruh terhadap efektifitas yang terjadi dalam proses *injection molding*. Berikut ini tahapan yang akan dilakukan untuk menyelesaikan analisa yaitu sebagai berikut :

### 1. Tahap persiapan

Untuk mengetahui faktor - faktor penyebab terjadinya *shrinkage* perlu dilakukan tahapan persiapan baik itu dengan studi pustaka serta *survey* di lapangan. Studi pustaka dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa literatur dari buku dan jurnal, sedangkan *survey* lapangan dengan melakukan eksperimen langsung di area produksi *injection molding*.

### 2. Persiapan *mold*

Sebelum melakukan eksperimen di area produksi *injection molding* perlu dilakukan persiapan *mold* yang akan dilakukan eksperimen. *Mold* atau cetakan yang dipilih untuk eksperimen terbuat dari material STAVAX.

### 3. Eksperimen proses injeksi

Tahapan ini dilakukan untuk memperoleh data - data penyusutan dimensi atau ukuran produk plastik yang menggunakan media pendinginan *cooling tower* dan udara.

#### a) Proses *injection molding* pendinginan *cooling tower*

Proses ini dilakukan dengan cara melakukan pendinginan dengan air yang disalurkan ke dalam saluran pendingin *mold* atau cetakan selama siklus proses berlangsung hingga menghasilkan produk plastik.

#### b) Proses *injection molding* pendinginan udara

Proses ini dilakukan tidak menggunakan air dalam pendinginannya, melainkan menggunakan udara yang dihasilkan dari kompresor yang sudah dialiri ke saluran pipa udara dan udara tersebut dialirkan melalui saluran pendingin yang terdapat di dalam *mold* atau cetakan.

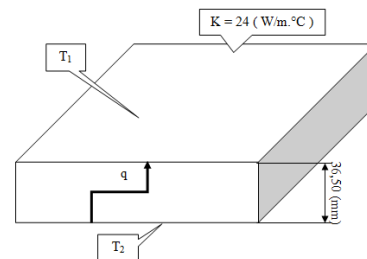
### 4. Analisa penyusutan ukuran produk

Pada tahap ini hasil penelitian dilakukan analisa terhadap data yang telah didapat. Tahapan analisa ini dilakukan dengan mengukur dimensi produk plastik, melakukan perhitungan *shrinkage* dan disajikan dalam bentuk grafik untuk mengetahui nilai penyusutan antara pendinginan *cooling tower* dan udara.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Perpindahan Panas Konduksi

Perhitungan perpindahan panas konduksi dilakukan pada bagian *fix cavity plate*. Berikut ini adalah fenomena perpindahan panas konduksi, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Fenomena konduksi

#### a. Konduksi pada *Cooling Tower*

$$q = \frac{kA (T_2 - T_1)}{L} \quad (1)$$

Dimana :

- nilai konduktivitas panas material stavax ( k ) yaitu 24 ( W/m.°C )
- $T_1$  = temperatur rata-rata permukaan pelat atas = 37 (°C)
- $T_2$  = temperatur rata-rata permukaan pelat bawah = 50 (°C)
- L = tebal pelat = 0,0365 ( m )
- A = luas penampang aliran panas = p x l= 0,3 (m) x 0,25 (m) = 0,075 (m<sup>2</sup>)

Maka,

$$q = \frac{24 \text{ (W/m.°C)} \cdot 0,075 \text{ (m}^2\text{)} [ 50 \text{ (°C)} - 37 \text{ (°C)} ]}{0,0365 \text{ m}}$$

$$q = \frac{24 \text{ (W/m.°C)} \cdot 0,075 \text{ (m}^2\text{)} \cdot 13 \text{ (°C)}}{0,0365 \text{ (m)}}$$

$$q = 641,096 \text{ (W)}$$

Jadi, laju perpindahan panas konduksi yang terjadi pada saat menggunakan pendinginan *cooling tower* adalah sebesar 41,096 (W).

b. Konduksi pada udara

Diketahui nilai temperatur pada pengukuran sebagai berikut :

$$T_1 = 43 \text{ (°C)} \text{ \& } T_2 = 61 \text{ (°C)}$$

Maka,

$$q = \frac{24 \text{ (W/m.°C)} \cdot 0,075 \text{ (m}^2\text{)} [ 61 \text{ (°C)} - 43 \text{ (°C)} ]}{0,0365 \text{ (m)}}$$

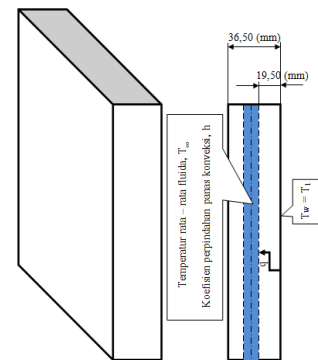
$$q = \frac{24 \text{ (W/m.°C)} \cdot 0,075 \text{ (m}^2\text{)} \cdot 18 \text{ (°C)}}{0,0365 \text{ (m)}}$$

$$q = 887,671 \text{ (W)}$$

Jadi, laju perpindahan panas konduksi (q) yang terjadi pada saat menggunakan pendinginan udara adalah sekitar 887,671 (W)

## B. Perpindahan Panas Konveksi

Perhitungan perpindahan panas konveksi dilakukan pada bagian *fix cavity plate*. Berikut ini adalah fenomena perpindahan panas konveksi.



Gambar 2. Fenomena konveksi

a. Konveksi pada *cooling tower*

$$q = h A (T_w - T_\infty) \quad (2)$$

Dimana :

- A = luas penampang aliran panas = p x l = 0,3 (m) x 0,25 (m) = 0,075 (m<sup>2</sup>)
- $T_w$  = temperatur rata-rata permukaan pelat atas =  $T_1 = 37 \text{ (°C)}$
- $T_\infty$  = temperatur fluida = 33,2 (°C)
- k = konduktivitas termal air = 0,556 (W/m.°C)

Menentukan kecepatan rata-rata fluida :

$$V = Q/A \quad (3)$$

dimana :

Q = kapasitas fluida yang melewati *fix cavity plate* = 8,8404x10<sup>-9</sup> (m<sup>3</sup>/s )

A = luasan lubang *cooling* = 6,3585x10<sup>-5</sup> (m<sup>2</sup>)

maka,

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{8,8404 \times 10^{-9} \text{ (m}^3\text{/s)}}{6,3585 \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$= 1,39 \times 10^{-4} \text{ (m/s)}$$

Menentukan bilangan Reynold :

$$Re = V \cdot d / \nu \quad (4)$$

dimana :

V = kecepatan rata-rata fluida

d = diameter lubang *cooling mold*

$$= 9 \text{ (mm)}$$

$\nu$  = viskositas kinematik air pada temperatur 33,2 (°C)

$$= 7,55172 \times 10^{-7} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

maka,

$$Re = V \cdot d / \nu$$

$$= \frac{1,39 \times 10^{-4} \text{ (m/s)} \cdot 9 \times 10^{-3} \text{ (m)}}{7,55172 \times 10^{-7} \text{ (m}^2/\text{s)}}$$

$$= 1,66$$

Menentukan bilangan Nusselt:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n \quad (5)$$

Dimana:

Nu = bilangan Nusselt

Re = bilangan Reynold = 1,66

Pr = bilangan Prandtl

Pr = 5,0812, pada temperatur 33,2 (°C)

n = 0,4 untuk pemanasan, karena dinding lebih panas dari fluida yang mengalir

maka, nilai bilangan Nusselt (Nu) :

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n$$

$$Nu = 0,023 \cdot 1,66^{0,8} \cdot 5,0812^{0,4}$$

$$= 0,066$$

Menentukan koefisien perpindahan panas konveksi (h) :

$$h = Nu \cdot k / d \quad (6)$$

dimana :

h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup>.°C)

Nu = bilangan Nusselt = 0,066

k = koefisien konduktivitas panas air = 0,556 (W/m.°C)

d = jarak permukaan *fix cavity plate* bagian atas ke air = 19,50 (mm)

maka, koefisien perpindahan panas konveksi ( h ) :

$$h = Nu \cdot k / d$$

$$= \frac{0,066 \cdot 0,556 \text{ (W/m.°C)}}{0,0195 \text{ m}}$$

$$= 1,88 \text{ (W/m}^2\text{.°C)}$$

Laju perpindahan panas konveksi (q):

$$q = h A (T_w - T_\infty) \quad (7)$$

dimana :

h = koefisien perpindahan panas

konveksi = 1,88 (W/m<sup>2</sup>.°C)

A = luas penampang aliran panas = p x l

$$= 0,3 \text{ (m)} \times 0,25 \text{ (m)} = 0,075 \text{ (m}^2\text{)}$$

T<sub>w</sub> = temperatur rata – rata permukaan pelat atas = T<sub>1</sub> = 37 (°C)

T<sub>∞</sub> = temperatur fluida = 33,2 (°C)

Maka,

$$q = h A (T_w - T_\infty)$$

$$q = 1,88 \text{ (W/m}^2\text{.°C)} \cdot 0,075 \text{ (m}^2\text{)} [3 \text{ (°C)} - 33,2 \text{ (°C)}]$$

$$q = 1,88 \text{ (W/m}^2\text{.°C)} \cdot 0,075 \text{ (m}^2\text{)} \cdot 3,8 \text{ (°C)}$$

$$q = 0,5358 \text{ (W)}$$

Jadi, panas yang dipindahkan pada jarak permukaan *fix cavity plate* bagian atas ke air (q) adalah 0,5358 (W).

b. Konveksi pada udara

$$q = h A (T_w - T_\infty) \quad (8)$$

Dimana :

- A = luas penampang aliran panas

$$= p \times l = 0,3 \text{ (m)} \times 0,25 \text{ (m)} = 0,075 \text{ (m}^2\text{)}$$

- T<sub>w</sub> = temperatur rata-rata permukaan pelat atas = T<sub>1</sub> = 43 (°C)

- T<sub>∞</sub> = temperatur udara = 31,3 (°C)

- k = konduktivitas termal udara = 0,024 (W/m.°C)

Menentukan kecepatan rata-rata fluida :

$$V = Q / A \quad (9)$$

dimana :

Q = kapasitas udara yang melewati *fix cavity plate* = 8,8404x10<sup>-9</sup> (m<sup>3</sup>/s )

A = luasan lubang *cooling* = 6,3585x10<sup>-5</sup> ( m<sup>2</sup> )

maka,

$$V = Q / A$$

$$= \frac{8,8404 \times 10^{-9} \text{ (m}^3/\text{s)}}{6,3585 \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$= 1,39 \times 10^{-4} \text{ ( m/s )}$$

Menentukan bilangan Reynold :

$$Re = V.d/v \quad (10)$$

dimana :

V = kecepatan rata-rata fluida

d = diameter lubang *cooling mold*

$$= 9 \text{ (mm)}$$

v = viskositas kinematik udara pada

temperatur 31,3 (°C)

$$= 1,6078 \times 10^{-5} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

maka, bilangan Reynold ( $Re$ ) :

$$Re = V.d/v$$

$$= \frac{1,39 \times 10^{-4} \text{ (m/s)} \cdot 9 \times 10^{-3} \text{ (m)}}{1,6078 \times 10^{-5} \text{ (m}^2/\text{s)}}$$

$$= 0,078$$

Menentukan bilangan Nusselt:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n$$

Dimana:

Nu = bilangan Nusselt

$Re$  = bilangan Reynold = 0,078

Pr = bilangan Prandtl

Pr = 0,71187, pada temperatur 31,3 (°C)

n = 0,4 untuk pemanasan, karena dinding lebih panas dari fluida yang mengalir

maka, nilai bilangan Nusselt ( $Nu$ ) :

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n \quad (11)$$

$$Nu = 0,023 \cdot 0,078^{0,8} \cdot 0,71187^{0,4}$$

$$= 0,002608$$

Menentukan koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) :

$$h = Nu \cdot k / d \quad (12)$$

dimana :

h = koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

Nu = bilangan Nusselt = 0,002608

k = koefisien konduktivitas panas udara = 0,024 ( $W/m \cdot ^\circ C$ )

d = jarak permukaan *fix cavity plate* bagian atas ke air = 19,50 (mm)

maka, koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) :

$$h = Nu \cdot k / d$$

$$= \frac{0,002608 \cdot 0,024 \text{ (W/m} \cdot ^\circ C\text{)}}{19,50 \text{ (mm)}}$$

$$0,0195 \text{ m}$$

$$= 0,00321 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ C\text{)}$$

Laju perpindahan panas konveksi ( $q$ ):

$$q = h A (T_w - T_\infty) \quad (13)$$

dimana :

h = koefisien perpindahan panas

konveksi = 0,00321 ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

A = luas penampang aliran panas = p x l

$$= 0,3 \text{ (m)} \times 0,25 \text{ (m)} = 0,075 \text{ (m}^2\text{)}$$

$T_w$  = temperatur rata - rata permukaan pelat atas =  $T_1 = 43$  (°C)

$T_\infty$  = temperatur udara = 31,3 (°C)

Maka,

$$q = h A (T_w - T_\infty)$$

$$q = 0,00321 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ C\text{)} \cdot 0,075 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$[43 \text{ (}^\circ C\text{)} - 31,3 \text{ (}^\circ C\text{)}]$$

$$q = 0,00321 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ C\text{)} \cdot 0,075 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$11,7 \text{ (}^\circ C\text{)}$$

$$q = 0,00282 \text{ (W)}$$

Jadi, panas yang dipindahkan pada jarak permukaan *fix cavity plate* bagian atas ke udara ( $q$ ) adalah 0,00282 (W).

### C. Laju Kalor yang Diserap

Dengan data yang ada pada spesifikasi *cooling tower* yang terlampir. Bahwa air yang dialirkan dari *cooling tower* mempunyai debit 1575 (liter/min). *Cooling tower* yang digunakan mempunyai bak dengan diameter minimal 3300 (mm) dan tinggi 2485 (mm). *Piping connections* yang digunakan untuk *inlet* 125 (mm), *outlet* 125 (mm), *over flow* 50 (mm), dan *fan motor* yang digunakan 5 (HP).

Dari data *heat exchanger* didapatkan :

Laju aliran air yang dibutuhkan 1 unit *heat exchanger* adalah :

$$Q_1 = 1575 \text{ (liter/min)} = 94500 \text{ (liter/jam)}$$

$$= 94,5 \text{ (m}^3/\text{jam)}$$

Dengan faktor koreksi 20 % sehingga laju aliran air menjadi :

$$Q_1 = 1,2 \times 94,5 \text{ (m}^3/\text{jam)}$$

$$= 113,4 \text{ (m}^3\text{/jam)}$$

$$= 0,0315 \text{ (m}^3\text{/detik)}$$

Temperatur air masuk *heat exchanger* sisi *shell* = 32 (°C)

Temperatur air keluar *heat exchanger* sisi *shell* = 37 (°C)

Laju kalor yang diserap air pendingin dihitung dengan persamaan :

$$q = \dot{m} \times C_{p\text{air}} \times \Delta T \quad (14)$$

dimana :

$q$  = laju kalor yang diserap

$\dot{m}$  = massa =  $Q \times \rho$

$C_{p\text{air}}$  = 4,179 ( kJ/kg.°K )

$\Delta T$  = perubahan temperatur

$\rho$  = massa jenis

$\rho$  = 995 (kg/m<sup>3</sup>), pada temperatur 32 (°C)

maka, nilai  $\rho$  (massa jenis) pada temperatur 32 (°C) adalah 995 ( kg/m<sup>3</sup> )

Jadi, laju kalor yang diserap sebesar :

$$q = \dot{m} \times C_{p\text{air}} \times \Delta T$$

$$= 3,97 \text{ (kg/detik)} \times 4,179 \text{ (kJ/kg.°K)}$$

$$\times [ 310,15 \text{ (°K)} - 305,15 \text{ (°K)} ]$$

$$= 82,95315 \text{ ( kW )}$$

$$= 82953,15 \text{ ( W )}$$

Maka, *cooling tower* mampu menerima dan melepaskan kalor sebesar 82953,15 (W)

#### D. Data Pengujian Pendinginan dengan *cooling tower*

##### 1) Pengujian I

Waktu injeksi 1 detik dengan *backpressure* 15 (kgf/cm<sup>2</sup>) dan temperatur leleh 230 (°C) - 240 (°C).

$$S = \frac{d_0 - d}{d_0} \times 100\%$$

$$S = \frac{52,79 - 51,92}{52,79} \times 100\% = 1,65 \%$$

##### 2) Pengujian II

Waktu injeksi 1 detik dengan *backpressure* 25 (kgf/cm<sup>2</sup>) dan temperatur leleh 230 (°C) - 240 (°C).

$$S = \frac{52,79 - 51,96}{52,79} \times 100\% = 1,57 \%$$

##### 3) Pengujian III

Waktu injeksi 1 detik dengan *backpressure* 35 (kgf/cm<sup>2</sup>) dan temperatur leleh 230 (°C) - 240 (°C).

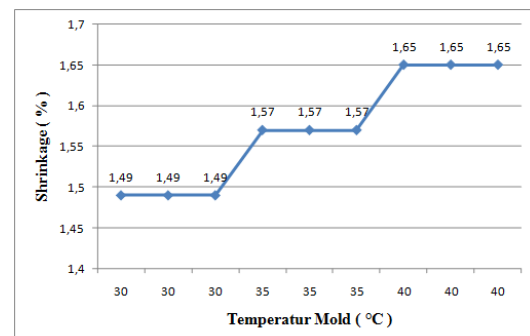
$$S = \frac{52,79 - 52,00}{52,79} \times 100\% = 1,49 \%$$

Hasil dari perhitungan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Data Pengujian Pendinginan dengan *Cooling Tower*

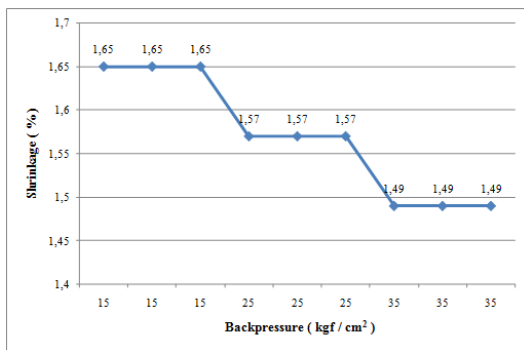
No	Waktu Injeksi ( sec )	Backpressure ( kgf/cm <sup>2</sup> )	Mold Temp. ( °C )	d ( mm )	Shrinkage ( % )
1	1	15	40	51.92	1.65
2	1	15	40	51.92	1.65
3	1	15	40	51.92	1.65
4	1	25	35	51.96	1.57
5	1	25	35	51.96	1.57
6	1	25	35	51.96	1.57
7	1	35	30	52.00	1.49
8	1	35	30	52.00	1.49
9	1	35	30	52.00	1.49

Tabel 1 diatas dapat dibuatkan grafik hubungan antara Shrinkage (%) terhadap Temperatur mold (°C), dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Grafik Hubungan Antara Temperatur *Mold* dengan *Shrinkage*

Pada Tabel 1 diatas dapat dibuatkan juga grafik hubungan antara Shrinkage (%) terhadap Backpressure (kgf/cm<sup>2</sup>), dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Grafik Hubungan Antara Backpressure dengan Shrinkage

#### E. Data Pengujian Pendinginan dengan udara

##### 1) Pengujian I

Waktu injeksi 1 detik dengan *backpressure* 15 (kgf/cm²) dan temperatur leleh 230 (°C) – 240 (°C).

$$S = \frac{d_o - d}{d} \times 100\%$$

$$S = \frac{52,79 - 51,85}{52,79} \times 100\% = 1,78 \%$$

##### 2) Pengujian II

Waktu injeksi 1 detik dengan *backpressure* 25 (kgf/cm²) dan temperatur leleh 230 (°C) – 240 (°C).

$$S = \frac{52,79 - 51,89}{52,79} \times 100\% = 1,70 \%$$

##### 3) Pengujian III

Waktu injeksi 1 detik dengan *backpressure* 35 (kgf/cm²) dan temperatur leleh 230 (°C) – 240 (°C).

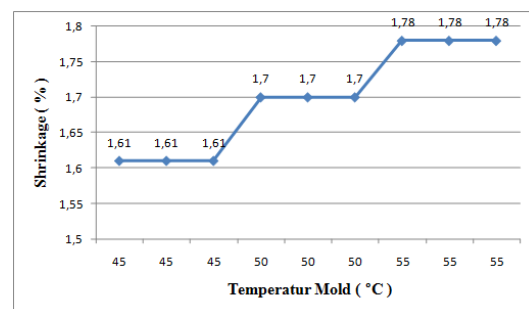
$$S = \frac{52,79 - 51,94}{52,79} \times 100\% = 1,61 \%$$

Hasil dari perhitungan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Data Pengujian Pendinginan dengan Udara

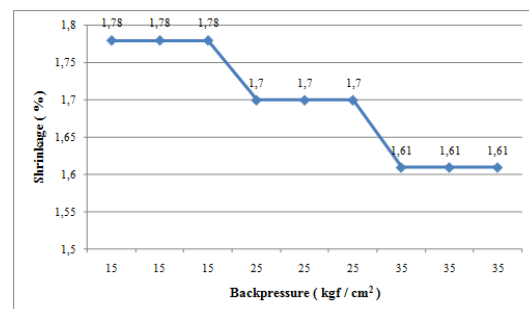
No	Waktu Injeksi ( sec )	Backpressure ( kgf/cm <sup>2</sup> )	Mold Temp. ( °C )	d ( mm )	Shrinkage ( % )
1	1	15	55	51.85	1.78
2	1	15	55	51.85	1.78
3	1	15	55	51.85	1.78
4	1	25	50	51.89	1.70
5	1	25	50	51.89	1.70
6	1	25	50	51.89	1.70
7	1	35	45	51.94	1.61
8	1	35	45	51.94	1.61
9	1	35	45	51.94	1.61

Tabel 2 diatas dapat dibuatkan grafik hubungan antara Shrinkage (%) terhadap Temperatur mold (°C), dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5** Grafik Hubungan Antara Temperatur Mold dengan Shrinkage

Pada Tabel 2 diatas dapat dibuatkan juga grafik hubungan antara Shrinkage (%) terhadap Backpressure (kgf/cm²), dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Grafik Hubungan Antara Backpressure dengan Shrinkage

Pengujian dilakukan pada produk yang memiliki ketebalan 0,8 (mm). Temperatur yang tinggi digunakan untuk mempercepat pengisian material ke dalam rongga *mold* karena semakin tinggi temperatur maka semakin rendah viskositasnya. Tetapi hal ini berdampak pada penyusutan produk yang semakin besar.



Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan variasi *backpressure* antara pendinginan *cooling tower* dan udara menghasilkan kecenderungan pada nilai *shrinkage* atau penyusutan. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4 dan 6, bahwa semakin besar nilai *backpressure* yang digunakan, maka akan semakin kecil nilai penyusutannya. Hasil ini sama seperti pengujian yang dilakukan oleh U. Wahyudi, (2014) dengan menggunakan material *polystyrene* dengan tingkat pengujian yang berbeda lewat settingan parameter. Dalam pengujian tersebut dapat diketahui dengan waktu injeksi yang lama dan *backpressure* yang relative besar, maka akan mengurangi cacat produk yang disebabkan oleh penyusutan dikarenakan produk semakin kokoh atau ada kecenderungan produk lebih padat sehingga penyusutan dapat diminimalkan.

Pada Gambar 3 dan 5 tentang grafik hubungan antara temperatur *mold* dengan *shrinkage*, maka dapat disimpulkan bahwa nilai *shrinkage* atau penyusutan pada material *polypropylene* dengan menggunakan pendinginan *cooling tower* lebih kecil dibandingkan menggunakan pendinginan udara. Tetapi, selisih nilai *shrinkage* antara pendinginan menggunakan *cooling tower* dan udara tidak terlalu signifikan. Hasil penyusutan ini lebih baik dibandingkan pada pengujian yang dilakukan oleh Alfian Amri, (2009) yang melakukan pengujian dengan metode menggunakan pendinginan dan tanpa pendinginan dengan material plastik yang sama. Dalam pengujian tersebut dihasilkan selisih nilai penyusutan yang cukup besar.

Pada grafik hubungan antara temperatur *mold* dengan *shrinkage* terlihat bahwa semakin tinggi temperatur *mold*, maka *shrinkage* atau penyusutan yang terjadi akan semakin tinggi pula. Hal ini disebabkan karena dalam kondisi yang panas, pergerakan molekul *resin* cenderung lebih cepat dibanding kondisi dingin. Hal ini yang menyebabkan *shrinkage* lebih besar jika dibandingkan dengan produk yang saat keluar dari *mold* dalam kondisi dingin karena pergerakan molekul *resin*-nya cenderung lambat sehingga penyusutannya lebih kecil sehingga proses pendinginan terjadi pemerataan distribusi perpindahan panas pada produk.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisa dan pengujian serta pembahasan data yang diperoleh tentang

*shrinkage* atau penyusutan antara pendinginan *mold* menggunakan pendingin *cooling tower* dan udara dapat disimpulkan bahwa pendinginan pada proses *injection molding* sangat berpengaruh terhadap *shrinkage* produk. Hal ini dapat diketahui pada laju perpindahan panas konveksi yang terjadi antara penggunaan media pendingin *cooling tower* dan udara. Pada penggunaan pendinginan udara, panas yang dapat dipindahkan nilainya sangat kecil sehingga berdampak pada temperatur *mold* yang terjadi. Selain pendinginan *mold*, faktor yang menyebabkan terjadinya *shrinkage* yaitu parameter proses *injection molding* dan jenis material plastik yang digunakan.

Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai *shrinkage* dalam pengujian antara pendinginan *cooling tower* dan udara dengan material *polypropylene* yaitu menggunakan parameter proses *injection molding* yang konstan seperti waktu injeksi 1 detik, tekanan injeksi 650 bar, kecepatan injeksi 25 (mm/s) dan temperatur leleh 230 – 240 (°C), serta *backpressure* yang digunakan pada masing – masing media pendingin yaitu 15, 25, dan 35 (kgf/cm<sup>2</sup>). Maka dapat disimpulkan besarnya nilai *shrinkage* antara media pendingin *cooling tower* yaitu sebagai berikut:

1. Nilai *shrinkage* atau penyusutan material *polypropylene* terbesar terjadi pada pendinginan menggunakan udara dengan *backpressure* 15 (kg/cm<sup>3</sup>) yaitu sebesar 1,78 %.
2. Nilai *shrinkage* atau penyusutan material *polypropylene* terkecil terjadi pada pendinginan menggunakan *cooling tower* dengan *backpressure* 35 (kg/cm<sup>3</sup>) yaitu sebesar 1,49 %.

Penggunaan pendinginan pada *mold* dengan menggunakan pendingin *cooling tower* dan udara akan berpengaruh pada temperatur *mold* yang terjadi. Dalam analisa yang dilakukan, pendinginan yang baik antara media pendingin *cooling tower* dan udara yaitu dengan menggunakan pendingin air. Penggunaan pendinginan udara mengakibatkan temperatur yang terjadi pada *mold* akan memiliki temperatur yang tidak konstan sehingga pemerataan panas pada *mold* akan tidak merata dan akan berdampak pada besarnya *shrinkage* atau penyusutan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Akbarzadeh, A., Sadeghi, M., 2011, *Parameter Study in Plastic Injection Molding Process using Statistical Methods and IWO Algorithm*, International Journal Modeling And Obtimization, Vol. 1, No. 2, June 2011.
- Amri, Alfian., 2009, *Pengaruh Pendinginan Dalam Proses Injection Molding Pembuatan Acetabular Cup Pada Sambungan Hip*, Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Anggono, A. D., 2005, *Prediksi Shrinkage Untuk Menghindari Cacat Produk Pada Plastic Injection*, Media Mesin, Vol. 6, No. 2, Juli 2005: 70-77.
- Awwaluddin, Muhammad., Santosa Puji., Suwardiyono., 2012, *Perhitungan Kebutuhan Cooling Tower Pada Rancang Bangun Untai Uji Sistem Kendali Reaktor Riset*, BATAN, Vol. 9, No. 1, ISSN: 1411-0296.
- Badri, MG., 2014, *Sifat Mekanik Dan Cacat Penyusutan ( Shrinkage ) Akibat Variasi Komposisi Campuran Daur Ulang Polyethylene Pada Injection Moulding*, Jurnal ROTOR, Vol. 7, No. 1, April 2014.
- Budiarto., 2002, *Perancangan Peralatan Pencetak*, Bandung : Politeknik Manufaktur Bandung.
- Febriantoko, B. W., Wibowo, A. H., 2008, *Studi Peningkatan Siklus Injeksi Dan Pengurangan Prosentase Penyusutan Pada Produk Injeksi Plastik Dengan Mold Tipe Laminated Steel Tooling*, Teknik Mesin, ISBN : 978-979-3980-15-7.
- Firdaus, et al., 2002, *Studi Eksperimental Pengaruh Parameter Proses Pencetakan Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Benda Cetak Pneumatics Holder*, Teknik Mesin, Vol. 4, No. 2, Oktober 2002: 75-80.
- Gutowski., 2002., *Injection Molding Machine*.
- Harinaldi., Budiarmo., 2003, *Mekanika Fluida*, Jakarta : Erlangga.
- Holman, J.P., 1997, *Heat Transfer*, International Edition: The McGraw-Hill.
- Kamaruddin, S., Khan, A. Z., dan Foong, S. H., 2010, *Application of Taguchi Method in the Optimization of Injection Moulding Parameters for Manufacturing Products from Plastic Blend*, IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 2, No. 6, ISSN: 1793-8236.
- Kristanto, Yuli., Kusharjanta, Bambang., Ubaidillah., 2013, *Pengaruh Suhu Pemanas Terhadap Shrinkage Pada Proses Injeksi Polypropylene*, Mekanika, Vol. 12, No.1, September 2013.
- Liang Chi Cooling Tower., *Counter Flow Induced Draft ( Model LBC )*
- M. Artama, Gede., 2004, *Proses Injection Molding Cycle Pada Injection Molding Machine dan Molding Defect*, Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Mennig, Günter., 1998, *Mold Making Handbook*, München : Germany.
- Moerbani, J., 1999, *Plastic Moulding*, Jurnal Akademi Teknik Mesin Industri ( ATMI ), Surakarta.
- Muhammad, Deden., 2005, *Analisa Proses Perpindahan Kalor dan Massa Pada Counter-Flow Cooling Tower*, Teknik Fisika, Vol. 1, ISSN: 0216-9681, halaman 39- 48.
- Santoso, Slamet Teguh., 2014, *Proses Produksi dan Perawatan Mesin Injection Molding*, Bekasi : Politeknik Gunakarya Indonesia.
- Schey, John A., 2009, *Proses Manufaktur*, Yogyakarta : ANDI.
- Sularso., 2008, *Pompa dan Kompresor*, Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Wahyudi, U., 2014, *Studi Pengaruh Injection Time Dan Backpressure Terhadap Cacat Penyusutan Pada Produk Kemasan Toples Dengan Proses Injection Molding Menggunakan Material Polistyrene*, Jakarta : Universitas Mercubuana.
- Wiwoho, B., 1986, *Barometer Bisnis Plastik Indonesia*, Jakarta: Yayasan Bina Pembangunan.