

# ANALISIS FAKTOR PENYEBAB KEGAGALAN PRODUK BOX MAPELA HASIL MESIN INJEKSI PLASTIK

Muchammad Chusnul Azhari<sup>1</sup>, Eki Reska Pribadi<sup>2</sup>  
Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung

## Abstrak

Box mapela adalah produk yang digunakan sebagai tempat menyimpan komponen-komponen kecil untuk alat peraga. Dalam proses produksi sebelumnya menggunakan bahan PP dan mengantinya dengan bahan ABS mengalami kegagalan visual yang banyak, salah satu cara meminimalkan kegagalan produknya dilakukan analisis terhadap faktor produksi dan mekanisme proses dari mesin pendinginannya. Jenis kegagalan pada produk ini diantaranya : *short mold*, *black spot*, *flowmark* dan *flashing* yang lebar. Parameter setting: *injection pressure* 140 bar, *injection time* 5 s, *charge time* 35 s, *cooling time* 50 s. Dengan variasi setting temperatur leleh plastik 255 °C - 260 °C dan temperatur *mold* dengan 33 °C, 44 °C dan 50 °C, diujikan pada produksi 150 box mapela. Metode yang digunakan adalah *kausal komparatif*, bertujuan untuk menyelidiki kemungkinan hubungan sebab-akibat berdasarkan atas pengamatan terhadap akibat yang ada, dan mencari kembali fakta yang mungkin menjadi penyebab melalui data tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegagalan produk pada temperatur *mold* sebesar 33 °C dan temperatur leleh plastik sebesar 260 °C sebanyak 17,3%, ini merupakan settingan yang digunakan sebelum penelitian dilakukan. Penurunan terjadi pada temperatur *mold* sebesar 44 °C dan temperatur leleh plastik sebesar 260 °C yaitu sebanyak 7,3%. Dan untuk mempertahankan temperatur *mold* sebesar 44 °C dengan temperatur leleh plastik sebesar 260 °C, settingan temperatur *chiller* yang tepat terjadi pada 25 °C. Dapat disimpulkan bahwa faktor yang mempengaruhi kegagalan produk box mapela adalah hubungan antara temperatur leleh plastik sebagai bahan baku dengan temperatur *mold* yang digunakan.

**Kata kunci** : Injeksi plastik, Kegagalan produk, Temperatur *mold*

## 1. PENDAHULUAN

Di era globalisasi yang kompetitif sekarang ini, setiap perusahaan dihadapkan pada tingkat persaingan yang semakin ketat dengan perubahan-perubahan yang semakin cepat. Salah satunya perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur yang menggunakan bahan baku material plastik. Produk dengan bahan material plastik merupakan salah satu produk yang sering kita jumpai dimana saja, hal ini dikarenakan plastik mempunyai banyak kelebihan-kelebihan yang mulai diperhitungkan oleh masyarakat. Keunggulan plastik pada umumnya adalah lebih efisien dibandingkan penggunaan logam atau kayu dan juga proses pengerjaannya yang relatif sederhana. Selain efisien, plastik juga lebih ringan, lebih murah dan mudah dibentuk. Berbagai produk dan peralatan

yang dihasilkan dari bahan ini dinilai lebih ekonomis, fleksibel dan ringan. Karena itulah produk berbahan material plastik ini banyak di pilih.

Pudak Scientific merupakan perusahaan swasta nasional yang bergerak di bidang industri manufaktur yang memproduksi alat-alat peraga pendidikan. Box mapela adalah salah satu produk yang diproduksi di CV Pudak Scientific, produk ini digunakan sebagai tempat komponen-komponen kecil yang digunakan untuk alat peraga nantinya. Bahan material plastik yang digunakan sebelumnya adalah PP namun dalam produksi yang akan dilakukan berikutnya, konsumen ingin menggunakan bahan ABS sehingga perusahaan mencari parameter setting yang tepat untuk material ini, dengan mengacu pada settingan sebelumnya kegagalan visual masih banyak terjadi. Salah satu cara meminimalkan

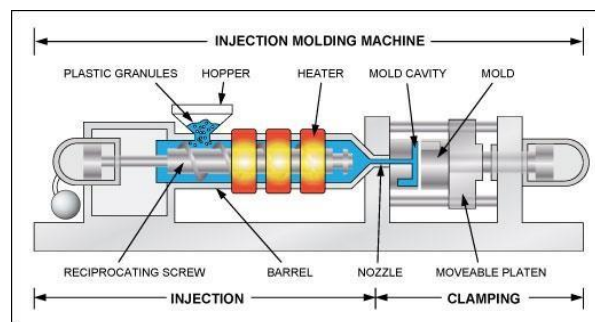
kegagalan produknya yaitu melalui analisis terhadap faktor produksi dan mekanisme proses dari mesin pendinginannya, yang diharapkan dapat mengurangi kegagalan visual pada produk box mapela dan dapat memenuhi target produksi yang diinginkan. ujuan dari penelitian ini adalah mengetahui faktor yang menjadi penyebab terjadinya kegagalan produk untuk mengurangi biaya produksi yang berlebih.

## 1.1 Tjauan Pustaka

### 1.1.1 Bagian-Bagian Mesin Injeksi Plastik

Injeksi plastik adalah proses pembentukan benda kerja dengan bentuk yang dikehendaki dari material plastik dengan menggunakan alat bantu yang berupa cetakan atau *mold* yang dalam proses pembuatannya menggunakan perlakuan panas dan pemberian tekanan.

Pemilihan proses *molding* secara umum ditentukan oleh pemilihan material untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan dari benda kerja (*workpiece*) yang akan dibuat. Selain hal tersebut, pemilihan proses *molding* juga dipengaruhi oleh bentuk desain produknya. Proses ini sangat sesuai untuk material *thermoplastic*, karena dengan pemanasan, material ini akan menjadi lunak. Dan sebaliknya, akan mengeras lagi bila didinginkan. Perubahan-perubahan ini hanya bersifat fisik, bukan perubahan kimia, artinya proses pelunakan dan pengerasan kembali bisa diulang-ulang setiap saat, sehingga memungkinkan mendaur-ulang material *termoplastik* sesuai dengan kebutuhan. (Amri, A., 2009, *Pengaruh Pendinginan Dalam Proses Injection Molding Pembuatan Acetabular Cup Pada Sambungan Hip*, Hlm 11).



Gambar 1. Bagian – bagian mesin injeksi plastik

### Clamping Unit

Bagian – bagian *clamping unit* terdiri dari:

- *Stationary plate* adalah plat tempat untuk pemasangan *mold* bagian *cavity*. Pada bagian atas *stationary plate* ini terdapat tempat kedudukan untuk robot. Plat ini mempunyai lubang lingkaran untuk *locating ring* dan diameter lubang tersebut biasanya ada standar ukuran. Biasanya 100 mm, 110 mm, 150 mm, 300 mm. Fungsi dari *locating ring* pada *mold* adalah untuk memudahkan pemasangan *mold* agar *center* dengan lubang *nozzle*.
- *Moving plate* adalah plat tempat untuk pemasangan *mold* bagian *core*. Disebut *moving plate* karena plat tersebut dapat bergerak menutup atau membuka dan kecepatannya serta pressurnya dapat kita atur sesuai dengan kebutuhan.
- *Ejector* terdapat pada bagian belakang *moving plate* yang berfungsi untuk mengeluarkan produk pada cetakan / *mold*.
- *Operation side door* dan *non operation side door* adalah bagian *clamping unit* yang berfungsi sebagai pintu penutup area *block clamping* agar mesin dapat beroperasi dengan aman. Pada pintu ini biasanya terdapat pengaman. Ada dua jenis pengaman yaitu pengaman secara hidrolis dan elektrik. Fungsi pengaman ini yang utama adalah untuk memastikan keamanan operator pada saat bekerja.

- *Lubrication pump* adalah alat yang berfungsi memberikan pelumasan pada bagian-bagian mesin yang bergerak. Letaknya biasanya berada pada bagian bawah depan mesin. Alat ini digerakan secara manual dan otomatis.

Injection Unit

Bagian-bagian *injection unit* diantaranya:

- *Cylinder barrel* adalah silinder atau tabung yang berfungsi sebagai tempat material plastik yang sudah cair. Silinder ini dibungkus dengan elemen pemanas atau *heater band*. Fungsi dari *heater band* ini adalah sebagai pemanas material yang berada dalam *barrel*. Temperatur pemanas ini dapat kita atur temperaturnya sesuai dengan titik leleh material yang akan kita gunakan.
- *Screw* berada didalam *barrel* yang berfungsi sebagai pengisi material dan mengaduk material yang telah telah mencair sehingga campuran material dan pewarna atau pigment lebih homogen. Pada bagian ujung *screw* terdapat kepala *screw* dan *check ring screw*. Fungsinya adalah mendorong material yang akan kita masukan kedalam cetakan. Cara kerjanya adalah pada waktu *screw* bergerak maju atau posisi inject maka ring akan menutup sehingga material yang berada di depan *screw* akan terdorong maju dan material tidak balik kedalam *screw*. Pada waktu *screw* berputar atau *charging* maka ring akan terbuka dan mengisi ruangan yang berada pada depan *screw*.
- *Hidrolic pump* berada pada bagian bawah *injection unit*. Fungsi *hidrolic pump* adalah untuk memompa oli pada tekanan tertentu. Tekanan pompa oli ini maksimal adalah 145 kg/cm<sup>2</sup>. Oli yang bertekanan ini

digunakan untuk menggerakkan mesin injeksi agar dapat beroperasi.

*Hopper / hopper dryer* adalah tempat material plastik di tampung dan dikeringkan sebelum diproses.

Hopper Loader

*Hopper loader* adalah alat yang menyedot material biji plastik untuk diisikan langsung ke dalam *hopper*. *Hopper dryer* tempat dimana biji plastik engalami pemanasan awal untuk mengurangi kadar airnya.

Control Panel

*Control panel* adalah tempat tombol - tombol untuk mengoperasikan mesin injeksi plastik, terdapat informasi tentang mesin dan parameter setting mesin untuk produk yang sedang diproduksi.

Mesin Pendingin *Chiller*

*Chiller* adalah alat pendingin air dimana suhunya bisa diset sesuai yang diinginkan, alat ini digunakan untuk mendinginka *molding / cetakan* dengan *cycle time* yang pendek sehingga hasil produksi bisa lebih banyak. Mesin yang digunakan yaitu kondensornya menggunakan pendingin kipas, *chiller* jenis ini disebut *air cooled water chiller*. (Wijaya, H., 2011, *Teknologi Pengolahan Plastik Injection Molding*)

### 1.1.2 Jenis – Jenis Reject Pada Produk Hasil Injeksi Plastik

- Short Mold

Adalah suatu kondisi dimana, plastik leleh yang akan diinjeksikan kedalam *cavity* tidak mencapai kapasitas yang ideal atau sesuai settingan mesin. Sehingga plastik yang diinjeksikan kedalam *cavity* mengeras terlebih dahulu sebelum memenuhi *cavity*. b) Flashing (Flash)

Adalah jenis *minor defect* pada material, artinya material masih bisa dikatakan ok tetapi harus dilakukan pembersihan pada produk. *Flashing* sendiri berarti terdapat material lebih yang ikut membeku dipinggir - pinggir produk. c) Sink Mark (Shrink Mark)

Merupakan cekungan atau lengkungan yang terjadi pada permukaan luar pada komponen yang dibentuk. Terjadinya perbedaan ketebalan pada permukaan benda juga dapat disebut sebagai *sink mark*. *Sink* bisa juga bukan termasuk *defect*. Tetapi lain lagi bila pengaruh pada penampilan, *sink mark* dapat diberlakukan pada produk yang memperhatikan kualitas penampilan. Fenomena ini sering menjadi masalah sebagai cacat tetapi masih tergantung pada kualitas produk. Fenomena *sink mark* tergantung daripada *shrinkage* daripada plastik sendiri, dalam hal tertentu fenomena ini terjadi selama masa transisi dari kondisi cair pada injector dengan kondisi yang solid pada saat pendinginan. d) Flow Mark

Kondisi *flow mark* digunakan untuk menggambarkan fenomena dimana terdapat pola bergaris, terbentuk disekitar gate pada saat material mengalir memasuki *cavity*. Dalam hal ini, plastik yang telah didinginkan *sprue* dan *runner* yang selanjutnya didinginkan oleh *cavity* dan mengisi dalam viskositas tinggi. Akibatnya plastik yang kontak dengan permukaan  *mold*  bertekanan dalam kondisi semi-padat dan garisgaris tegak lurus terhadap arah aliran material terbentuk pada permukaan produk yang dicetak. e) Colour Streaks

Fenomena *colour streaks* terjadi karena adanya campuran 2 atau lebih warna pada suatu produk yang menyebabkan warna produk tersebut menjadi belang. Biasanya *colour streaks* ini terjadi sehabis pergantian material, dimana masih ada sisa-sisa material yang lama yang masih terperangkap didalam *manifold*. f) Bubbles

*Bubbles* bisa dibilang juga sebagai melepuh atau gelembung udara yang yang terperangkap dalam produk. Biasanya terjadi pada saat proses injeksi material kedalam *cavity*. Udara tidak sempat keluar melalui airvent pada saat

material plastik memasuki *cavity*. Bisa juga oleh gas yang tercampur dengan material cair dalam *cylinder*.

- Jetting

Garis semburan dipermukaan produk dimulai dari sisi *gate point* dikarenakan aliran turbulen material. Plastik yang dengan suhu yang relatif rendah diinjeksikan kedalam *nozzle* selama tahap awal *molding*, setelah bersentuhan dengan cetakan material ini menjadi sangat kental. Kemudian plastik panas terus diinjeksikan kedalam cetakan, material dengan suhu yang lebih rendah tadi terdorong terus kedalam dan meniggalkan bekas aliran.

- Weld Line

*Weld line* dikatakan ketika dua atau lebih aliran lelehan depan material yang digambarkan dengan garis "V" sempit yang bertemu pada kedua ujung aliran lelehan material. Fenomena ini biasanya terjadi pada saat menggunakan sisipan, atau *multipoint gate*. Secara teori tidak dapat dihilangkan, oleh karenanya hanya dapat diminimalisir atau dipindahkan. Untuk mata yang kurang terjadi fenomena ini mungkin terlihat sebagai *crack*, kehadiran *weld line* ini di daerah konsentrasi tegangan dapat menyebabkan masalah kekuatan. Karena itu penanggulangannya harus dilaksanakan sesegera mungkin.

- Black Spot

*Black spot* atau bintik hitam atau goresan pada permukaan produk, biasanya disebabkan oleh kerusakan thermal.

(Area, N., 2016, Jenis-Jenis Defect (NG) dalam

Industri Plastic Injection, <https://inormaarea.blogspot.co.id>).

### 1.1.3 Proses Injeksi Plastik

- Menutup Cetakan (Mold Close)

Dalam 1 siklus kerja proses injeksi, diawali oleh proses menutup cetakan. Istilah  *mold*  dalam dunia injeksi plastik adalah cetakan untuk proses injeksi

plastik. *Mold* itu sendiri terdiri dari 2 bagian besar yaitu sisi *core* dan sisi *cavity*. Sisi *cavity* diikat pada “*stationery platen*” mesin injeksi. Sedangkan sisi *core* diikat pada “*moving platen*” mesin, bagian inilah yang bergerak membuka dan menutup.

- Injeksi Pengisian (*Fill Injection*)

Setelah dipastikan *mold* dihimpit dengan tekanan tinggi. Maka unit injeksi yang terdiri dari *nozzle*, *barrel*, dan *screw* dan seterusnya. Bergerak mendekati *mold* hingga *nozzle* bersentuhan dengan *mold*, juga dengan tekanan tinggi (hingga 100 kg/cm<sup>2</sup>). Bagian *mold* yang bersentuhan langsung dengan *nozzle* disebut *sprue bush*. Kemudian mesin melakukan proses injeksi pengisian, yaitu menyuntikkan plastik cair ke dalam *mold*.

- Injeksi Menahan (*Holding Injection*)

Penyempurnaan hasil produk berada pada bagian proses ini. Sengaja harus dibuat seperti itu agar pada proses penyempurnaan nantinya hanya akan membutuhkan nilai yang benar-benar efisien. Pada proses ini tidak lagi melibatkan kecepatan didalam setting parameternya, hanya besaran tekanan yang kita atur beserta waktu yang kita butuhkan untuk itu.

- Isi Ulang dan Pendinginan (*Charging & Cooling*)

Isi ulang (*charging*) plastik cair untuk siap disuntikkan pada siklus selanjutnya, bersamaan waktunya perhitungan waktu pendinginan pun (*cooling*) dimulai. Parameter yang direkomendasikan adalah waktu pendinginan (*cooling time*) harus lebih lama dari waktu isi ulang (*charging time*). Bila waktu *charging* yang lebih lama, maka yang terjadi adalah tumpahan material plastik dari *nozzle* ketika *mold* terbuka pada proses berikutnya. Proses *charging* sendiri adalah berputarnya *screw* dengan bantuan motor hidrolik ke arah putaran yang telah ditentukan, sehingga biji plastik masuk kedalam

*barrel*, digiling oleh *screw*, dan sampai didepan *torpedo* sudah dalam keadaan cair dan siap untuk disuntikkan ke dalam *mold*. Tentu saja dengan bantuan suhu *barrel* yang dapat kita atur sesuai spesifikasi jenis plastik yang digunakan, yaitu pada suhu titik cair nya. “*Check valve*” yang terbuka, seperti pada gambar di atas. Dengan kondisi adanya aliran dari belakang *torpedo* menuju bagian depan *torpedo*, dan tertutup ketika ada usaha aliran plastic cair dari depan ke belakang *torpedo*. Jadi alat ini berfungsi sebagai katup satu arah.

- Membuka Cetakan (*Mold Open*)

Pada proses ini terdapat 5 urutan kerja, yaitu : □ Melepas himpitan pada cetakan (*mold clamp release*).

- Gerakan membuka pada kecepatan perlahan dengan tekanan rendah (*low mold open velocity & low mold open pressure*)

- Gerakan membuka pada kecepatan tinggi (*high mold open velocity*). Membuka dengan cepat dengan posisi yang memungkinkan □ Gerakan membuka pada kecepatan rendah (*low mold open velocity*).

- Gerakan melepas produk dari dalam cetakan. *Ejector* mendorong produk dari sisi *core* agar mudah diambil, tentu saja produk harus menempel pada sisi *core* ketika cetakan terbuka, dan bukan menempel pada sisi *cavity*. (Wijaya, H., 2011, *Teknologi Pengolahan Plastik Injection Molding*)

## 2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *kausal komparatif* yaitu membandingkan suatu variabel (objek penelitian), antara subjek yang berbeda atau waktu yang berbeda dan menemukan hubungan sebab-akibatnya, dan mencari kembali fakta yang mungkin menjadi penyebab melalui data tertentu.

## 2.1 Pengumpulan Data Penelitian

Langkah-langkah pengumpulan data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Wawancara

Menggunakan teknik wawancara pada beberapa operator dan staff di lapangan untuk mengetahui proses produksi box mapela pada mesin injeksi plastik.

- Observasi langsung

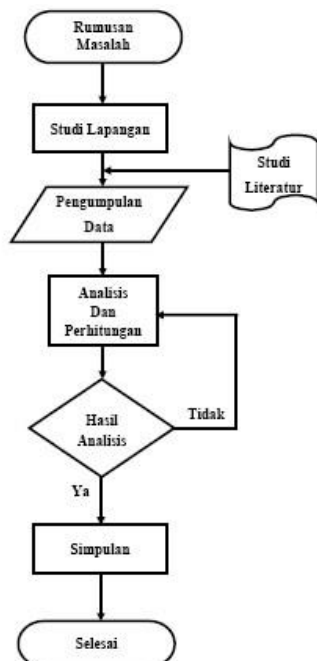
Melakukan pengamatan langsung terhadap objek yang akan diteliti guna memperoleh yang diperlukan selama pelaksanaan penelitian. Dan alat yang digunakan adalah termometer infra merah untuk mengetahui suhunya.

- Percobaan

Melakukan perbandingan kegagalan produk dengan settingan suhu cetakan (*mold*) dan suhu material plastik cair dalam *barrel* yang akan diteliti pada proses produksi box mapela.

- Dokumentasi

Dengan mengumpulkan data-data yang valid serta literatur yang menunjang proses penelitian.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Tindakan Penelitian

Penelitian ini dilakukan langsung di lapangan menggunakan mesin HAITAN MA 6000 yang berkapasitas maksimal 600 ton dengan mengatur temperatur cetakan (*mold*) dan temperatur leleh plastik dalam *barrel* untuk mengetahui perbandingan jumlah kegagalan produk box mapela yang terjadi selama proses produksi.

Instrumen penelitian ini menggunakan parameter *injection pressure* 140 bar, *injection time* 5 s, *charge time* 35 s, *cooling time* 50 s. Parameter yang divariasi adalah temperatur leleh plastik dengan variasi 255 °C, 260 °C dan temperatur *mold* dengan variasi 33 °C, 44 °C dan 50 °C. Material plastik yang digunakan adalah jenis ABS (*Acrylonitril Butadiene Styrene*) dan material *mold* adalah baja S50C.

### 3.2 Proses produksi box mapela

Sebelum mesin *injection molding* mulai memproduksi biji plastik ABS dipanaskan di *hopper dryer* selama 2 jam dalam suhu 82 °C, untuk menghilangkan kadar air yang masih tersisa pada bahan tersebut. Setelah bahan telah siap, kemudian mulai dioperasikan dengan parameter yang sama disetiap percobaan namun dengan variasi temperatur leleh plastik dan temperatur *mold* yang berbeda untuk mengetahui perbandingan kegagalan produknya.

Tabel 1. Pengeringan biji plastik yang disarankan

Material	Temperatur pengeringan		Waktu pengeringan
PE, PP	80 °C	176 °F	2 jam
PS	82 °C	180 °F	2 jam
Acrylic, ABS, AS	82 °C	180 °F	2 jam
Cellulose Series	71 °C	160 °F	3 jam
Polycarbonate	120 °C	248 °F	3 jam
Nylon	82 °C	180 °F	2,5 jam
PVC	72 °C	160 °F	1,5 jam

### 3.3 Kegagalan produk yang dialami

Kegagalan produk yang dialami box mapela ini beragam pada setiap percobaan. Pada keadaan temperatur leleh plastik 255 °C dan 260 °C dalam keadaan temperatur *mold* 33 °C sering terjadi jenis kegagalan produk seperti *short mold*, *flashing* dan *flow mark*, pada temperatur *mold* 44 °C dengan temperatur leleh plastik yang sama kegagalan produk seperti *flow mark* dan *black spot* tidak terjadi, sedangkan pada temperatur *mold* 50 °C terjadi kegagalan produk seperti *short mold*, *flashing* dan *black spot*. *Short mold* yang terjadi pada keadaan temperatur *mold* 33 °C kadang disertai material tertinggal di *sprue mold cavity*, akibatnya harus dikeluarkan secara manual dengan memanaskan baut dan tusuk ke material yang menyumbat dan mencabutnya dengan tang, proses tersebut bisa mengakibatkan waktu produksi terganggu.

### 3.4 Hasil pengujian kegagalan produk

Dalam penelitian ini setiap parameter settingan mesin sama, dengan menggunakan temperatur leleh 255 °C - 260 °C dan memvariasikan temperatur *mold* yang diujikan yaitu 33 °C, 44 °C dan 50 °C, setiap variasi diuji pada 150 produk box mapela.

Pada pengujian I kegagalan produk cukup banyak, kegagalan yang dialami seperti *flashing* yang cukup lebar dan sering terjadi penyumbatan didalam *mold*, harus mengeluarkan *sprue* yang menyumbat *mold* terlebih dahulu. Dan pada pengujian II kegagalan yang terjadi berkurang namun akibat temperatur lelehnya dinaikan sering terjadi jenis kegagalan *short mold* dan *black spot* bersamaan.

Pada pengujian III kegagalan produk *short mold* masih terjadi namun produk yang gagal lebih sedikit dibanding pada temperatur pengujian I dan pengujian II. Dan pada pengujian IV kegagalan produk

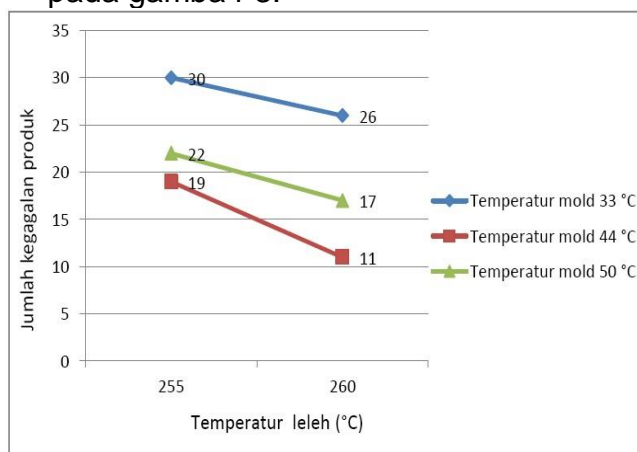
lebih sedikit dibandingkan temperatur yang diujikan lainnya.

Pada pengujian V dan VI jenis kegagalan produk sama seperti pada pengujian III dan IV, namun jumlah produk yang gagal masih banyak dialami dalam pengujian ini. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Jumlah produk gagal

Pengujian	Tempetatur ( °C )		Jumlah produk	Baik	Gagal	Gagal (%)
	Leleh	Mold				
I	255	33	150	120	30	20
II	260	33	150	124	26	17,3
III	255	44	150	131	19	12,6
IV	260	44	150	139	11	7,3
V	255	50	150	128	22	14,6
VI	260	50	150	133	17	11,3

Tabel 2. diatas dapat dibuatkan grafik hubungan antara produk gagal terhadap temperatur leleh, dapat dilihat pada gambar 3.



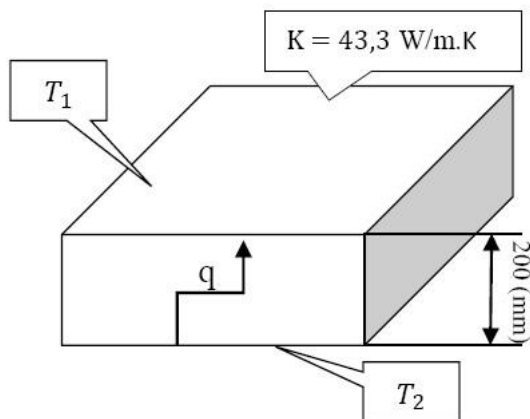
**Gambar 3.** Grafik hasil pengujian

### 3.5 Analisis mesin pendingin chiller

Untuk mempertahankan temperatur *mold* tersebut diperlukan mesin pendingin *chiller*, berikut perhitungan yang terjadi pada *mold* dan mesin pendingin *chiller*.

### 3.6 Perpindahan panas konduksi

Perhitungan perpindahan panas konduksi dilakukan pada bagian *fix cavity plate*. Berikut ini adalah fenomena perpindahan panas konduksi, seperti gambar 4.



Gambar 4. Fenomena konduksi

□ **Konduksi pada temperatur mold 33 °C**

$$q = \frac{k A(T_2 - T_1)}{L}$$

Dimana :

Nilai konduktivitas panas material baja karbon

S50C (k) yaitu 43,3 W/m.K

T1 = temperatur rata-rata permukaan pelat atas = 30 °C = 303,15 K

T2 = temperatur rata-rata permukaan pelat bawah = 33 °C = 306,15 K

L = tebal pelat 0,2 m

A = luas penampang aliran panas

$p \times l = 0,82 \text{ m} \times 0,895 \text{ m} = 0,734 \text{ m}^2$

Maka,

$$q = \frac{43,3 \text{ W/m.K} \cdot 0,734 \text{ m}^2 \cdot (306,15 \text{ K} - 303,15 \text{ K})}{0,2 \text{ m}}$$

$$q = \frac{43,3 \text{ W/m.K} \cdot 0,734 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ K}}{0,2 \text{ m}}$$

$$q = 476,73 \text{ W}$$

Jadi, laju perpindahan panas konduksi yang terjadi pada saat menggunakan mesin pendingin *chiller* dalam temperatur 33 °C adalah sebesar 476,73 W.

□ **Konduksi pada temperatur mold 44 °C**

Diketahui nilai temperatur pada pengukuran sebagai berikut : T1 = 42 °C = 315,15 K

T2 = 44 °C = 317,15 K Maka,

$$q = \frac{43,3 \text{ W/m.K} \cdot 0,734 \text{ m}^2 \cdot (317,15 \text{ K} - 315,15 \text{ K})}{0,2 \text{ m}}$$

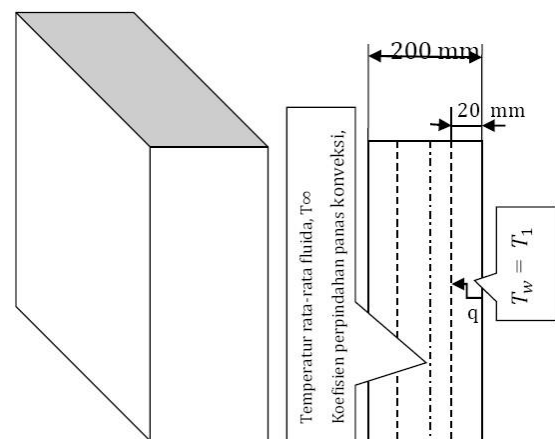
$$q = \frac{43,3 \text{ W/m.K} \cdot 0,734 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ K}}{0,2 \text{ m}}$$

$$q = 317,82 \text{ W}$$

Jadi, laju perpindahan panas konduksi yang terjadi pada saat menggunakan mesin pendingin *chiller* dalam temperatur 44 °C adalah sebesar 317,82 W.

**3.7 Perpindahan panas konveksi**

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



Gambar 5. Fenomena konveksi

□ **Konveksi pada temperatur mold 33 °C**  $q = h A (T_w - T_\infty)$

Dimana :

A = luas penampang aliran panas

$= p \times l = 0,82 \text{ m} \times 0,895 \text{ m}$

$= 0,734 \text{ m}^2$

$T_w$  = temperatur rata-rata permukaan pelat atas = T1 = 30 °C = 303,15 K

$T_\infty$  = temperatur fluida = 25 °C = 298,15 K

k = konduktivitas termal air = 0,556 W/m . K

Menentukan kecepatan rata-rata fluida :

$$V = \frac{Q}{A}$$

Dimana :



Q = kapasitas fluida yang melewati *fix cavity plate* =  $1,383 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$   
 A = luasan lubang *cooling* =  $6,541 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Maka,

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1,383 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{6,541 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 2,144 \text{ m/s}$$

Menentukan bilangan Reynold :

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

Dimana :

V = kecepatan rata-rata fluida = 2,144 m/s  
 d = diameter lubang *cooling mold* = 1½ inci =

0,0381 m  
 ν = viskositas kinematik air pada temperatur 25°C

$$= 0,890 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Maka, bilangan Reynold (Re) :

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{2,144 \text{ m/s} \cdot 0,0381 \text{ m}}{0,890 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = \frac{8,90 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}{0,890 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 917,824$$

Menentukan bilangan Nusselt:

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

Dimana:

Nu = bilangan Nusselt  
 Re = bilangan Reynold = 917,82  
 Pr = bilangan Prandtl  
 Pr = 6,17, pada temperatur 25 °C  
 n = 0,4 untuk pemanasan, karena dinding lebih panas dari fluida yang mengalir

Maka, nilai bilangan Nusselt (Nu) :

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n = 0,023 \cdot 917,82^{0,8} \cdot 6,17^{0,4} = 11,17$$

Menentukan koefisien perpindahan panas konveksi (h) :

$$h = \frac{Nu \cdot k}{d}$$

Dimana :

h = koefisien perpindahan panas konveksi  
 W/m<sup>2</sup> . K

Nu = bilangan Nusselt = 11,17  
 k = koefisien konduktivitas panas air = 0,556 W/m . K

d = jarak permukaan *fix cavity plate* bagian atas ke air  
 = 20 mm = 0,02 m

Maka, koefisien perpindahan panas konveksi (h) :

$$h = \frac{Nu \cdot k}{d} = \frac{11,17 \cdot 0,556 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{0,02 \text{ m}} = 310,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Laju perpindahan panas konveksi (q):

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

Dimana :  
 h = koefisien perpindahan panas konveksi = 310,52 W/m<sup>2</sup> . K

A = luas penampang aliran panas p x l = 0,82 m x 0,895 m = 0,734 m<sup>2</sup>

T<sub>w</sub> = temperatur rata – rata permukaan pelat

atas = T<sub>1</sub> = 30 °C = 303,15 K

T<sub>∞</sub> = temperatur fluida = 25 °C = 298,15 K

Maka,

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

$$q = 310,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,734 \text{ m}^2 (303,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K})$$

$$q = 310,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,734 \text{ m}^2 \cdot 5 \text{ K}$$

$$q = 1139,6 \text{ W}$$

Jadi, panas yang dipindahkan pada jarak permukaan *fix cavity plate* bagian atas ke air dalam keadaan temperatur *mold* 33 °C (q) adalah 1139,6 W.

□ **Konveksi pada temperatur *mold* 44 °C**

Laju perpindahan panas konveksi (q):

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

dimana :

$$A = 0,734 \text{ m}^2$$

$$T_w = T_1 = 42 \text{ }^\circ\text{C} = 315,15 \text{ K}$$

$$T_\infty = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$h = 0,556 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$q = 310,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Maka,

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

$$q = 310,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,734 \text{ m}^2 (315,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K})$$

$$q = 310,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 0,734 \text{ m}^2 \cdot 17 \text{ K}$$

$$q = 3874,6 \text{ W}$$

Jadi, panas yang dipindahkan pada jarak permukaan *fix cavity plate* bagian atas ke air dalam keadaan temperatur *mold* 44 °C (q) adalah 3874,6 W.

### 3.8 Laju Kalor yang Diserap

Dengan data yang ada pada spesifikasi mesin pendingin *chiller* yang terlampir. Bahwa air yang dialirkan dari mesin pendingin *chiller* mempunyai debit 83 liter/min. *Chiller* yang digunakan mempunyai bak dengan kapasitas 50 L. *Piping connections* yang digunakan untuk *inlet* 1 inchi, *outlet* 1 inchi, *fan motor* yang digunakan 5 HP, dan *thermo control* diset pada angka 25 °C untuk temperatur *mold* 44°C.

Dari data *chiller* didapatkan : Laju aliran air yang dibutuhkan 1 unit *chiller* adalah :

$$Q_1 = 83 \text{ liter/min} = 4980 \text{ liter/jam}$$

$$= 4,98 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dengan faktor koreksi 20 % sehingga laju aliran air menjadi :

$$Q_1 = 0,2 \times 4,98 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0,996 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0,0002 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Temperatur air masuk } \textit{chiller} = 35 \text{ }^\circ\text{C} = 308,15\text{K}$$

$$\text{Temperatur air keluar } \textit{chiller} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15\text{K}$$

Laju kalor yang diserap air pendingin dihitung dengan persamaan :

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

:

$$q = \text{laju kalor yang diserap}$$

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

$$= 0,0002 \text{ m}^3/\text{detik} \times 993,7 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,198 \text{ kg/detik}$$

$$C_{p\text{air}} = 4,174 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

K

$\Delta T$  = perubahan temperatur

$\rho$  = massa jenis 993,7 kg/m<sup>3</sup>, pada temperatur 35 °C

Jadi, laju kalor yang diserap sebesar :

$$q = \dot{m} \times C_{p\text{air}} \times \Delta T = 0,198 \text{ kg/detik} \times 4,174 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \times$$

$$(308,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K})$$

$$= 8,2645 \text{ kW}$$

$$= 8264,5 \text{ W}$$

Maka, mesin pendingin *chiller* mampu menerima dan melepaskan kalor sebesar 8264,5 W.

### 3.9 Pembahasan Temperatur leleh plastik terhadap temperatur *mold*

Dari tabel 2. dan grafik hasil pengujian 3. menunjukkan adanya keterkaitan hubungan antara temperatur leleh plastik pada proses produksi dengan temperatur *mold* yang digunakan terhadap baik tidaknya hasil produksi. Pada pengujian I menggunakan parameter setting temperatur leleh plastik sebesar 255 °C dan temperatur *mold* sebesar 33 °C terjadi kegagalan produk sebesar 20%, pada pengujian II menggunakan parameter setting temperatur leleh plastik sebesar 260 °C dan temperatur *mold* sebesar 33 °C terjadi kegagalan produk sebesar 17,3%, parameter settingan pengujian II ini merupakan settingan yang digunakan dalam proses produksi box mapela sebelum dilakukan penelitian. Pada pengujian I dan II ini sering terjadi jenis kegagalan produk seperti *flow mark*, *flashing* dan *short mold* yang kadang disertai tertinggalnya material plastik di *sprue mold cavity*, sehingga harus dikeluarkan secara manual dengan memanaskan baut dan di tusuk ke material yang menyumbat dan mencabutnya dengan tang kemudian proses produksi bisa dimulai kembali setelah *sprue mold cavity* tidak

tersumbat, proses tersebut bisa mengakibatkan waktu produksi terganggu. *Short mold*, *flashing* dan *flow mark* ini kemungkinan terjadi akibat material plastik cair mengalami pembekuan yang cepat di dalam *mold* yang didinginkan menggunakan *chiller*, sehingga penyebaran material plastik mengeras sebelum mencapai seluruh bagian *mold* kemudian sebagian material plastik yang mengeras tersebut ada yang tertinggal di *sprue mold cavity* akibatnya terjadi penyumbatan dan dalam pengujian ini *flashing* yang terjadi cukup lebar bisa juga diakibatkan kurangnya *pressure clamping mold* pada mesinnya, hal ini bisa diatasi dengan menyetting *pressure clamping* sesuai dengan kebutuhan.

Pada pengujian III menggunakan parameter setting temperatur leleh plastik sebesar 255 °C dan temperatur *mold* sebesar 44 °C kegagalan produk yang terjadi sebesar 12,6%, pada pengujian IV menggunakan parameter setting temperatur leleh plastik sebesar 260 °C dan temperatur *mold* sebesar 44 °C kegagalan produk yang terjadi sebesar 7,3%. Pada pengujian III dan IV ini jenis kegagalan produk yang terjadi diantaranya *flashing* dan *short mold*. Kegagalan produk yang terjadi mulai berkurang pada pengujian ini, namun pada temperatur leleh plastik sebesar 255 °C masih cukup banyak kegagalan produknya, *short mold* yang terjadi kemungkinan akibat material plastik cair masih mengalami pembekuan cukup cepat sehingga saat material plastik cair yang diinjeksikan ke dalam *mold* mengalami pembekuan cukup cepat karena temperatur pada *mold* tersebut dan mengeras sebelum memenuhi seluruh bagian *mold* dan *flashing* masih terjadi namun tidak terlalu lebar. Pada temperatur leleh plastik sebesar 260 °C *short mold* pun hanya terjadi setelah beberapa kali shot saja, kemungkinan terjadi akibat material plastik yang

diinjeksikan ke dalam *mold* kurang / sedikit sehingga tidak dapat memenuhi seluruh bagian *mold* kemudian mengeras, dan material plastik cair yang mengalami proses pembekuan yang tidak terlalu cepat di dalam *mold* mengakibatkan material plastik cair dapat memenuhi *mold* sebelum material tersebut mengeras sehingga kegagalan produk tidak terjadi dan produk yang gagal mulai terlihat penurunannya yang cukup besar pada pengujian IV ini, dan settingan ini bisa digunakan sebagai acuan untuk produksi.

Pada pengujian V menggunakan parameter setting temperatur leleh plastik sebesar 255 °C dan temperatur *mold* sebesar 50 °C kegagalan produk yang terjadi sebesar 14,6%, pada pengujian VI menggunakan parameter setting temperatur leleh plastik sebesar 260 °C dan temperatur *mold* sebesar 50 °C kegagalan produk yang terjadi sebesar 11,3%. Pada pengujian V dan VI ini jenis kegagalan produk yang terjadi diantaranya *flashing*, *short mold* dan *black spot*. Produk yang gagal lebih banyak dari pengujian III dan IV, lebih sedikit dari pengujian I dan II. Kemungkinan akibat temperatur material plastik cair yang terlalu tinggi dan pendinginan di dalam *mold* kurang / lambat sehingga di produk terdapat titik hitam seperti terbakar dan jumlah produk yang gagal pun bertambah. Dalam setiap pengujian produk yang termasuk dalam kategori baik pada semua pengujian ini mengalami *flashing*, namun itu dapat dihilangkan dengan menambahkan 1 proses lagi yaitu pembuangan *flashing* tersebut (buang geram) untuk *finishing*. Dari hasil pengujian tersebut diketahui bahwa ada hubungan korelasi antara temperatur leleh plastik dengan temperatur *mold* yang digunakan, yang mengakibatkan terjadinya kegagalan produk pada box mapela.

### 3.10 Temperatur chiller terhadap temperatur *mold*

Karena Pendinginan  *mold*  merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya kegagalan produk. Penggunaan media pendingin untuk pendinginan  *mold*  di CV Puduk Scientific yaitu dengan menggunakan mesin pendingin  *water chiller* . Pada pengujian ke I dengan temperatur leleh plastik sebesar 255 °C untuk mendapatkan temperatur  *mold*  sebesar 33 °C  *chiller*  diset pada angka 25 °C dan temperatur produknya rata-rata sebesar 56 °C. Dan pada pengujian ke II dengan temperatur leleh plastik sebesar 260 °C untuk mendapatkan temperatur  *mold*  sebesar 33 °C  *chiller*  diset pada angka 20 °C dan temperatur produknya rata-rata sebesar 58 °C.

Kemudian pada pengujian ke III dengan temperatur leleh plastik sebesar 255 °C untuk mendapatkan temperatur  *mold*  sebesar 44 °C  *chiller*  diset pada angka 30 °C dan temperatur produknya rata-rata sebesar 50 °C. Dan pada pengujian ke IV dengan temperatur leleh plastik sebesar 260 °C untuk mendapatkan temperatur  *mold*  sebesar 44 °C  *chiller*  diset pada angka 25 °C dan temperatur produknya rata-rata sebesar 53 °C.

Kemudian pada pengujian ke V dengan temperatur leleh plastik sebesar 255 °C untuk mendapatkan temperatur  *mold*  sebesar 50 °C  *chiller*  diset pada angka 32 °C dan temperatur produknya rata-rata sebesar 52 °C. Pada pengujian ke VI dengan temperatur leleh plastik sebesar 260 °C untuk mendapatkan temperatur  *mold*  sebesar 50 °C  *chiller*  diset pada angka 28 °C dan temperatur produknya rata-rata sebesar 55 °C. Pada pengujian ke IV yaitu temperatur  *mold*  44 °C dan temperatur sebesar 260 °C terjadi kegagalan produk paling sedikit. Dan settingan temperatur  *chiller*  untuk mendinginkan temperatur  *mold*  yang paling tepat terjadi pada temperatur

25 °C, sehingga kondisi settingan ini dapat dipakai sebagai acuan produksi box mapela selanjutnya. Dan untuk mempertahankan temperatur  *chiller*  ini, dari analisis perhitungan  *chiller*  dapat diketahui bahwa mesin pendingin  *chiller*  mampu menerima dan melepaskan kalor sebesar 8264,5 W.

## 4. SIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis, pengujian dan pembahasan yang dilakukan pada penelitian ini maka dapat ditarik beberapa simpulan sebagai berikut :

- Faktor penyebab kegagalan produk yaitu hubungan antara temperatur leleh plastik sebagai bahan baku dengan temperatur  *mold*  yang digunakan.
- Persentase kegagalan produk terbanyak terjadi pada parameter setting temperatur leleh plastik 255 °C dengan temperatur  *mold*  33 °C yaitu sebesar 20 %.
- Dengan menggunakan parameter setting temperatur leleh plastik sebesar 260 °C dan temperatur sebesar  *mold*  44 °C dapat mengurangi kegagalan produk hingga 10% dari parameter setting yang sering digunakan sebelumnya yaitu temperatur leleh plastik sebesar 260 °C dan temperatur sebesar  *mold*  33 °C.
- Untuk mempertahankan temperatur  *mold*  sebesar 44 °C dengan temperatur leleh plastik sebesar 260 °C, settingan temperatur  *chiller*  yang tepat terjadi pada 25 °C, dan mesin pendingin  *chiller*  mampu menerima dan melepaskan kalor sebesar 8264,5 W.

### 4.2 Saran

Dari hasil pengujian yang dilakukan di lapangan maka dengan hasil pengujian tersebut dapat diketahui

faktor yang mempengaruhi kegagalan produk tersebut. Dengan ini penulis menyarankan ketika akan memulai kembali produksi box mapela dengan bahan ABS dapat menggunakan parameter settingan tersebut sebagai acuan. Serta penulis juga menyarankan untuk mencapai kegagalan produk pada angka 5% perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Amri, A., 2009, *Pengaruh Pendinginan Dalam Proses Injection Molding Pembuatan Acetabular Cup Pada Sambungan Hip*, Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Area, N., 2016, *Jenis-Jenis Defect (NG) dalam Industri Plastic Injection*, (online), (<https://inormaarea.blogspot.co.id>, diakses Januari 2018).
- Holman, J.P., 1997, *Heat Transfer*, International Edition: The McGraw-Hill.
- Kristanto, Y., Kusharjanta, B., Ubaidillah., 2013, *Pengaruh Suhu Pemanas Terhadap Shrinkage Pada Proses Injeksi Polypropylene*, Vol 12. No. 1, hlm 7-10.
- Mujiarto, I., 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Traksi. Vol. 3. No. 2, hlm 65-74.
- Ramadhan, A. I., Diniardi, E., Daroji, M., 2017, *Analisa Penyusutan Produk Plastik Pada Proses Injection Molding Menggunakan Media Pendingin Cooling Tower Dan Udara Dengan Material Polypropylene*, Jurnal Riset Sains dan Teknologi, Vol 1. No. 2, hlm 65-74.
- Rosato, D.V., Rosato, D.V. and Rosato, M.G., 2012, *Injection Molding Handbook 3rd*, New York : Springer Science.
- Somplak, K., 2014, *Jenis Material Plastik*, (online), (<http://injectionplastik.blogspot.sg>, diakses Januari 2018).
- Wijaya, H., 2011, *Teknologi Pengolahan Plastik Injection Molding*, (e-book), Bekasi.