

**NASKAH PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR**

**ANALISA PENGARUH BENTUK SALURAN PENDINGIN TERHADAP  
CACAT WARPAGE DARI PRODUK INJEKSI PLASTIK BERBAHAN  
POLYPROPYLENE**



Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Program Studi Strata Satu  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun Oleh :

**PRIYANTO**

**NIM : D200 10 0066**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**2015**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**NASKAH PUBLIKASI TUGAS AKHIR**

Naskah Publikasi yang berjudul “ANALISA PENGARUH BENTUK SALURAN PENDINGIN TERHADAP CACAT WARPAGE DARI PRODUK INJEKSI PLASTIK BERBAHAN POLYPROPYLENE” telah disetujui dan disahkan oleh Pembimbing Tugas Akhir sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh :

Nama : **PRIYANTO**

NIM : **D200100066**

Disetujui pada :

Hari : *Jumat*

Tanggal : *18 Desember 2015*

Pembimbing Utama,



**Bambang Waluyo F., ST., MT**

Pembimbing Pendamping,



**Ir. Pramuko IP., MT**

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



**Tri Widodo Besar R., ST., M.Sc., Ph.D.**

# ANALISA PENGARUH BENTUK SALURAN PENDINGIN TERHADAP CACAT WARPAGE DARI PRODUK INJEKSI PLASTIK BERBAHAN POLYPROPYLENE

**Priyanto**

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura

Email : [priyantolanang39@gmail.com](mailto:priyantolanang39@gmail.com)

## ABSTRAKSI

*Injection moulding adalah proses pembentukan plastik dengan cara melelehkan material plastik yang diinjeksikan ke dalam sebuah cetakan ( mould ). Cacat yang sering terjadi pada produk injection molding antara lain short shot (cacat produk kurang penuh), Sink mark(cacat titik seperti cekung pada produk) flash (cacat kelebihan bahan pada pinggir produk) dan warpage (cacat lengkungan pada produk). Faktor penyebab terjadinya warpage dipengaruhi oleh tekanan injeksi, suhu cetakan, titik leleh dan waktu tahan pada proses injeksi (Huang dan Tai, 2001). Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk meneliti pengaruh bentuk saluran pendingin terhadap cacat warpage dari hasil produk injection molding dan untuk menentukan bentuk saluran pendingin yang tepat sehingga didapatkan produk yang optimal dari injection molding.*

*Langkah awal pembuatan cetakan (mould) dengan mesin CNC milling dan pembuatan pendingin dengan sistem soft tooling tipe saluran pendingin conformal dan tipe pendingin saluran lurus. Sistem softooling dibuat dengan mencampurkan serbuk aluminium dan lem epoxy dengan perbandingan 2:1 saluran conformal dicetak didalamnya. Metode pengambilan data luasan yang digunakan adalah pemrosesan gambar dengan pengambilan gambar menggunakan kamera 14 pixel dan diproses menggunakan software solidwork sehingga dapat dianalisa secara statistik dan untuk pengukuran cup(titik lengkung tertinggi) digunakan dial indikator, setelah didapat hasil, nilai warpage dapat diketahui dengan ( $\text{cup:diameter}=\text{warpage}$ ) kemudian dapat diambil sebuah kesimpulan.*

*Dari hasil penelitian didapat kesimpulan bahwa dalam penelitian ini secara umum area warpage paling besar terjadi pada bentuk saluran pendinginan lurus dengan rata-rata sebesar 5724,71mm dan area warpage paling kecil untuk bentuk saluran pendinginan conformal dengan rata-rata sebesar 4427,49mm. Sedangkan untuk nilai warpage yang paling besar terjadi pada bentuk saluran pendingin conformal yaitu dengan rata-rata sebesar 0,0452 dan nilai warpage paling kecil terjadi pada bentuk saluran pendinginan lurus yaitu dengan rata-rata sebesar 0,0375.*

*Kata Kunci: injection molding, solidwork, dial indikator, bentuk saluran pendingin, warpage.*

# **ANALISA PENGARUH BENTUK SALURAN PENDINGIN TERHADAP CACAT WARPAGE DARI PRODUK INJEKSI PLASTIK BERBAHAN POLYPROPYLENE**

Piyanto

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura

Email : [priyantolanang39@gmail.com](mailto:priyantolanang39@gmail.com)

## **ABSTRAKSI**

Injection molding is a plastic forming process by way of melting the plastic material is injected into a mold (mold). Defects that often occur in injection molding products include a short shot (defective products less full), Sink mark (point defects such as concave on the product) flash (excess material defect at the edge of the product) and warpage (arch defects in the product). The causes of warpage is affected by the injection pressure, mold temperature, melting and holding time in the injection process (Huang and Tai, 2001). Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of the defective form of cooling channels warpage of the results of injection molding products and to determine the exact shape of the cooling channels to obtain the optimal product of injection molding.

The initial step of making the mold (mold) with a CNC milling machine and manufacturing of coolers with soft tooling system type of conformal cooling channels and cooling type straight line. Softtooling system is made by mixing powdered aluminum and epoxy glue in the ratio 2: 1 channel conformal printed therein. The data collection method extents used image processing with image capture using the camera 14 pixel and processed using software solidwork so it can be analyzed statistically and for measuring cup (point arch top) used a dial indicator, after we got the result, niali warpage can be determined by (cup : diameter = warpage) can then be drawn to a conclusion.

From the results of the study concluded that in this study the general area of greatest warpage occurs in the form of a straight cooling channel with an average of 5724,71mm and warpage smallest area to form conformal cooling channel with an average of 4427,49mm. As for the value that most large warpage occurs in the form of the conformal cooling channels, namely with an average of 0.0452 and the smallest value of warpage occurs in the form of straight cooling channel that is with an average of 0.0375.

Keywords: injection molding, solidwork, dial indicator, coolant channels form,

Warpage.

## PENDAHULUAN

Plastik merupakan polimer yang banyak dimanfaatkan pada kehidupan sekarang ini karena memiliki kelebihan seperti sifatnya yang ringan, mudah dibentuk, dapat didaur ulang dan tahan korosi. Berbeda dengan material logam walaupun dapat dibentuk dan didaur ulang sifatnya cenderung berat dan tidak tahan korosi. Produk berbahan plastik sangat mudah ditemui dalam kehidupan sehari-hari contoh *printer, keyboard, casing handphone, packing makanan dan minuman, pesawat telepon, dashboard mobil, body motor, helm, peralatan rumah tangga* dan lain-lain. Produk tersebut dibuat dengan teknik pembentukan yang disebut dengan istilah *injection molding*.

*Injection molding* adalah proses pembentukan plastik dengan cara melelehkan material plastik yang kemudian diinjeksikan ke dalam sebuah cetakan (*mold*). Dengan teknik *injection molding* plastik dapat diolah menjadi produk yang dikehendaki hanya dengan mendesain sebuah *mold*. Walaupun begitu terkadang hasil produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan cetakan atau terjadi cacat pada produk tersebut. Cacat yang biasa ditemui pada produk dan mencari solusi untuk menghindari cacat tersebut.

*injection molding* antara lain *Short shot, Sink mark, Air traps, flash dan Warp*. Cacat produk dapat menurunkan nilai kualitas produk tersebut dan mengakibatkan proses produksi menjadi terhambat sehingga ini akan menjadi suatu kerugian bagi unit produksi karena hasil akhir tidak sesuai dengan apa yang sudah direncanakan. Untuk mendapatkan hasil produk yang optimal ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam *injection molding*,

parameter suhu, tekanan, waktu tahan dan pendinginan merupakan parameter penting yang harus diperhatikan untuk menghindari cacat pada produk.

Pada proses *injection molding* dengan pengaturan parameter penekanan yang tepat dapat meningkatkan kualitas dan menghemat biaya produksi. Hal ini dikarenakan parameter proses penekanan dan waktu penekanan yang pada umumnya dilakukan oleh sistem hidrolik merupakan salah satu parameter penting yang harus diperhatikan untuk keberhasilan proses produksi melalui *injection molding* (Manas Chanda and Shalil Roy,2006).

Penyebab dari *warp* yang paling besar adalah tekanan injeksi, suhu dari cetakan, titik leleh plastik, dan waktu tahan pada proses injeksi. (Huang dan Tai, 2001).

## PEMBATASAN MASALAH

Agar pembahasan masalah tidak terlalu luas maka batasan masalah yang diambil adalah :

1. Suhu di dalam *barrel* diatur 150 °C, tekanan injeksi 12,378kg/cm<sup>2</sup> dan waktu penekanan 5 detik.
2. Variasi bentuk saluran pendingin yang digunakan saluran pendinginan conformal soft tooling dan saluran pendinginan lurus soft tooling, Material yang digunakan *Polypropylene*.
3. Pengukuran luasan *warp* menggunakan *software Solidwork*.
4. Pengambilan gambar menggunakan kamera 14 *mega pixel*
5. Untuk mengetahui nilai *warp* digunakan dial indikator untuk mengetahui cup pada spesimen kemudian (nilai *warp* =cup:diameter).

## TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk meneliti pengaruh bentuk saluran pendingin terhadap terjadinya cacat *warpage* dari hasil produk *injection molding*.
2. Untuk menentukan bentuk saluran pendingin yang tepat sehingga didapatkan produk yang optimal dari *injection molding*.

## TINJAUAN PUSTAKA

Huang dan Tai (2001), hasil penelitiannya, penyebab dari *warpage* yang paling besar adalah tekanan injeksi, suhu dari cetakan, titik leleh plastik, dan waktu tahan pada proses injeksi.

Fischer (2003), *warpage* dapat dikurangi dengan jalan mengurangi ukuran *gate*, mengurangi tekanan, memposisikan ulang saluran pendingin, mengurangi temperatur cetakan dekat *gate* dan *sprue*, mengurangi waktu tahan, serta menaikkan temperatur cetakan.

Ferriera dan Matheus (2004), menggunakan metode *softtooling* dengan resin epoxy untuk mencetak cetakan yang didalamnya ada saluran *conformal*. Saluran pendingin tipe *conformal* merupakan salah satu jenis yang efisien dalam mendinginkan produk secara merata.

Suyono(2011), variasi serbuk aluminium dan serbuk kuningan sebagai bahan pengisi mould berpengaruh terhadap penyusutan dimensi produk dan diperoleh penyusutan dimensi produk pada mould yang berisi serbuk aluminium lebih rendah persentasenya dibandingkan mould yang berisi serbuk kuningan.

S.Selvarajdan

P.Venkataramaiah (2013), melakukan pengukuran besarnya *warpage* yang terjadi pada komponen plastik *injection molding* menggunakan pemrosesan

gambar dengan bantuan kamera digital resolusi 14 *mega pixel* dengan *software* photoshop dan MALTAB.

Sigit dan Agung (2014), membandingkan sistem pendingin *conformal* dengan konvensional menggunakan simulasi *software Autodesk Moldflow* hasil penelitiannya, penggunaan sistem pendingin *konformal* mampu mempercepat proses pendinginan dari 15,7 detik menjadi 3,2 detik atau sekitar 80%. Hal ini dapat menurunkan waktu siklus proses produksi dan dapat meningkatkan kapasitas produksi secara keseluruhan. Pada sistem pendingin konvensional besarnya *volumetric shrinkage* 4,80 % dan pada sistem pendingin *konformal* sebesar 4,65%, masih dibawah nilai kritis yaitu 7%.

## LANDASAN TEORI

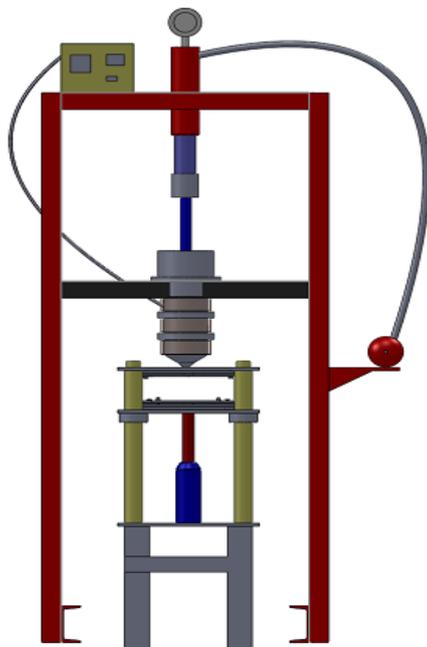
### Polypropylene

*Polypropylene* adalah sebuah polimer termoplastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi, diantaranya pengemasan, tekstil, alat tulis, berbagai tipe wadah terpakai ulang serta bagian plastik, perlengkapan laboratorium dan komponen otomotif. Sifat-sifat *polypropylene* serupa dengan sifat-sifat *polyethylene*. Massa jenisnya rendah (0,90- 0,92)  $\text{g.cm}^{-3}$  termasuk kelompok yang paling ringan diantara bahan polimer, dapat terbakar bila dinyalakan. Dibandingkan *polyethylene* massa jenis tinggi. Titik lelehnya tinggi sekali (176°C), kekuatan tarik, kekuatan lentur dan kekuatannya lebih tinggi tetapi tahan impaknya lebih rendah terutama pada temperature rendah. Sifat tembus cahayanya pada pencetakan lebih baik dari pada *polyethylene* dengan permukaan mengkilap, penyusutannya pada pencetakan kecil, penampilan dan ketelitian dimensinya lebih baik.

Sifat mekaniknya dapat ditingkatkan sampai batas tertentu dengan jalan mencampurkan serat gelas dan pemuai termal juga dapat diperbaiki sampai setingkat dengan bahan *thermoseting*. Sifat-sifat listriknya hamper sama dengan sifat-sifat pada *polyethylene*. Tahan kimianya kira-kira sama bahkan lebih baik dari pada *polyethylene* massa jenis tinggi (Boedeker.com,2010).

### **Injection molding**

*Injection molding* pada polimer identik pengecoran bertekanan pada logam dan merupakan salah satu teknik pembentukan polimer yang banyak digunakan. Untuk *thermoplastik* waktu satu siklus proses *injection molding* singkat (sekitar 10-30 detik) karena produk langsung membeku setelah diinjeksikan ke dalam cetakan. Sementara, untuk *thermoset* waktu yang dibutuhkan agak lama karena pemanasan terjadi selama material berada dalam tekanan cetakan yang bersuhu tinggi. Bagian utama mesin *injection molding* dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Bagian utama mesin *injection molding*

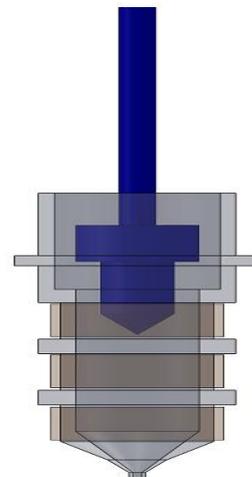
Produk-produk yang dihasilkan melalui proses *injection molding* diantaranya *printer, keyboard, casing handphone, packing* makanan dan minuman, pesawat telepon, *dashboard* mobil, *body* motor, helm, peralatan rumah tangga dan lain-lain.

### **Konstruksi mesin injection molding**

Secara umum konstruksi mesin *injection molding* terdiri dari tiga unit pokok yang penting yaitu *injection unit, clamping unit* dan *mold unit* (Sendi, 2012).

#### 1. *Injection unit*

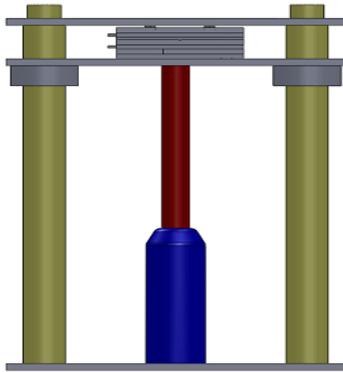
*Injection unit* merupakan unit yang berfungsi untuk melelehkan plastik dengan suhu yang disesuaikan dengan material plastik hingga mendorong cairan ke dalam *cavity* dengan waktu, tekanan, temperatur, dan kepekatan tertentu.



**Gambar 1.** Bagian *injection unit*

#### 2. *Clamping unit*

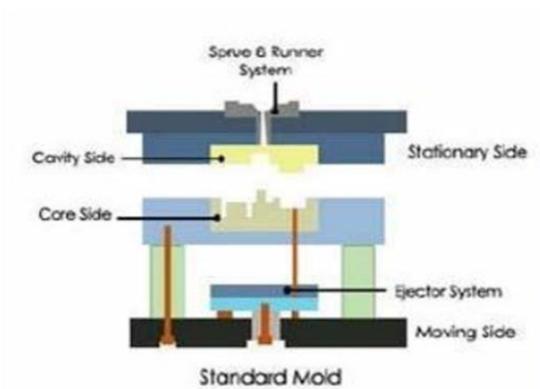
*Clamping unit* berfungsi untuk membuka dan menutup *mold* dan menjaga dengan memberikan tekanan pada penahan (*clamping pressure*) terhadap *mold* agar material yang diinjeksikan pada *mold* tidak meresap keluar saat proses berlangsung.



**Gambar 2.** Bagian *clamping unit*.

### 3. *Mold unit*

*Mold unit* merupakan bagian terpenting pada mesin *injection molding*, yang mempunyai fungsi utama yaitu untuk membentuk benda yang akan dicetak.



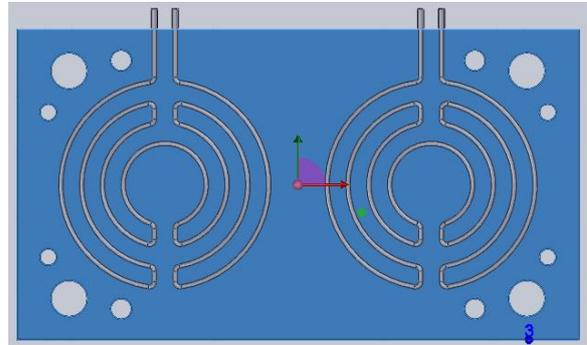
**Gambar 3.** Bagian utama *mold unit* (Sendi, 2012)

### Sistem pendingin

Setelah bahan panas masuk ke dalam cetakan, cetakan harus didinginkan dengan cepat. Pendinginan tersebut untuk mempertahankan bentuk part yang dicetak sesuai dengan yang diinginkan ketika dipindahkan dari cetakan/mould. Jika pendingin tidak ada bahan plastik yang panas akan memanaskan mould sampai batas dimana pendinginan suatu bentuk part yang pejal tidak akan dicapai. Suhu

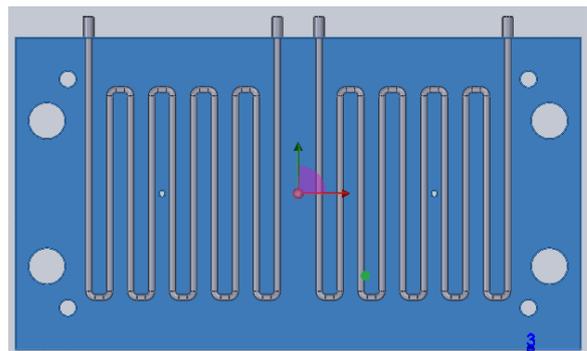
cetakan akan sangat penting, maka dari itu bagaimana mendesain pendingin yang merata pada mould.

Saluran pendingin *conformal* dibuat mengikuti kontur produknya dengan dicetak. (Gambar4).



**Gambar 4.** Sistem pendingin *conformal*

Saluran pendingin lurus dibuat dengan bentuk lurus sesuai bentuk produk dan cetakan. (Gambar 5)



**Gambar 5.** Sistem pendingin lurus

### Cacat produk *injection molding*

Cacat produk yang terjadi pada proses *injection molding* diantaranya:

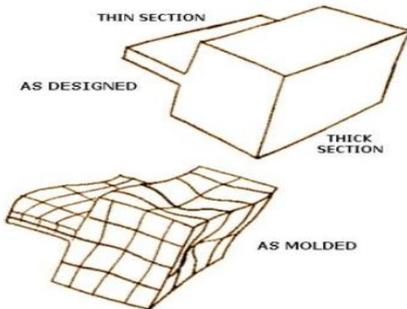
- a. *Short shot*: Kondisi dimana kapasitas lelehan plastik tidak mampu memenuhi kapasitas cetakan atau lelehan plastik pada saat diinjeksikan mengeras sebelum memenuhi cetakan.
- b. *Warping*: Kondisi dimana produk melengkung atau bengkok.
- c. *Sink mark*: Kondisi dimana terjadi perbedaan ketebalan permukaan pada permukaan produk.

- d. *Flash*: Kondisi dimana terdapat material plastik yang lebih ikut membeku di pinggir-pinggir produk.
- e. *Air trapped*: Kondisi dimana ada gelembung udara yang terjebak didalam produk.

- c) memeriksa mekanisme pelepasan mold untuk desain dan pengoperasian yang sesuai.

**Cacat Warpage**

*Warpage* digunakan untuk menjelaskan bagian dari produk yang bengkok atau melengkung, biasanya disebabkan karena ketidakrataan distribusi tekanan pada produk .



**Gambar 5.** Warpage karena ketidakseragaman dinding ketebalan (Selvaraj, 2013)

Cacat warpage terjadi karena beberapa faktor seperti:

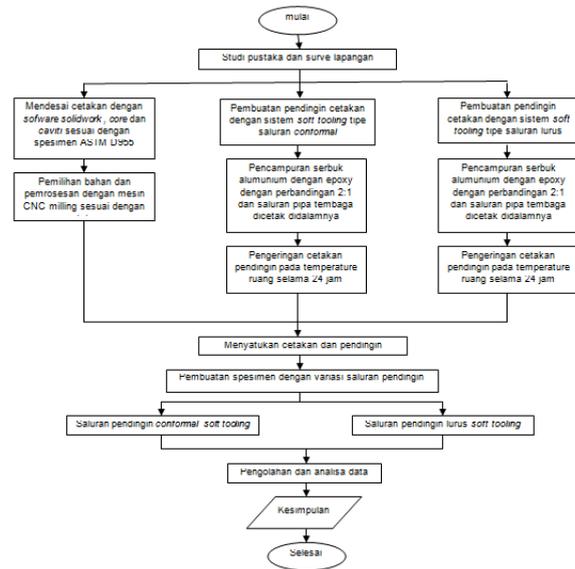
- a. Perbedaan penyusutan dan waktu pendinginan antara kedua permukaan.
- b. Ketidaksamaan distribusi tekanan pada produk.
- c. Tekanan injeksi terlalu tinggi atau terlalu rendah dan pendinginan terlalu pendek.
- d. Kurangnya *clamping force*.
- e. Aliran dan volume pendingin yang kurang serta kurangnya kinerja distribusi panas  *mold*.

Cacat warpage dapat dikurangi dengan cara:

- a) Menambahkan waktu pendinginan atau mengurangi tekanan, serta memeriksa sistem pendinginan  *mold* atau memperbaiki  *mold*.
- b) memeriksa  *gate* untuk lokasi yang tepat dan ukuran yang memadai.

**METODOLOGI PENELITIAN**

**Diagram alir penelitian**



**Gambar 6.** Diagram alir penelitian

Studi pustaka dengan mencari jurnal-jurnal penelitian yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan dan survei lapangan dengan datang langsung ke tempat penelitian untuk meninjau alat penelitian yang akan digunakan.

**Alat dan bahan**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Mesin injeksi plastik : Digunakan untuk melelehkan biji plastik yang kemudian di injeks kedalam cetakan.
2. Thermometer: Digunakan untuk mengukur suhu cetakan dan suhu air pendingin.
3. Stopwatch: Digunakan untuk menghitung waktu tahan injeksi dan waktu keseluruhan injeksi.
4. Gelas ukur: Digunakan untuk menakar campuran epoxy dan

- serbuk alumunium dalam pembuatan pendinginan.
5. Kamera: Digunakan untuk mengambil gambar spesimen yang telah diolesi serbuk carbon.
  6. Pompa air dan selang: Sebagai penyalur air yang digunakan sebagai pendingin.
  7. Kunci pas: Digunakan dalam penyetingan moul dengan rangka mesin injeksi.
  8. Skrap: Digunakan dalam pembuatan pendingin *soft tooling*.
  9. *Polypropylene*: Bahan yang digunakan sebagai spesimen
  10. Serbuk aluminium: Bahan pembuat cetakan.
  11. Epoxy: Sebagai perekat serbuk aluminium dan pipa tembaga.
  12. Pipa tembaga : Sebagai saluran pendinginan.
  13. Serbuk karbon: Sebagai penanda area yang terkena *warpage* dan area yang tidak terkena *warpage*.

## DATA DAN HASIL PENELITIAN

### Data pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen dengan variasi saluran pendingin *conformal* dan saluran pendingin lurus diperoleh data sebagai berikut.

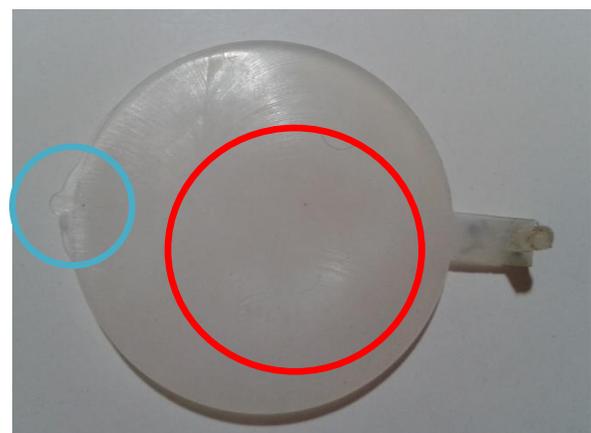
**Tabel 2.**Data pembuatan spesimen saluran pendingin *conformal soft tooling*

Parameter	Nilai
Temperatur air sebelum pendinginan	30°C
Temperatur air sesudah pendinginan	31°C
Temperatur cetakan bagian atas awal	34°C
Temperatur cetakan bagian atas akhir	39°C
Temperatur cetakan bagian bawah awal	32°C
Temperatur cetakan bagian bawah akhir	36°C
Volume air pendingin	136,25 cc
Temperatur leleh ( <i>melt temperature</i> ) PP	150°C
Waktu injeksi	38,5 detik
Waktu tahan ( <i>holding time</i> )	5 detik
Waktu pendinginan	43,5 detik
Tekanan injeksi ( <i>injeksion pressure</i> )	12,378 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabel 3.**Data pembuatan spesimen saluran pendingin lurus *soft tooling*

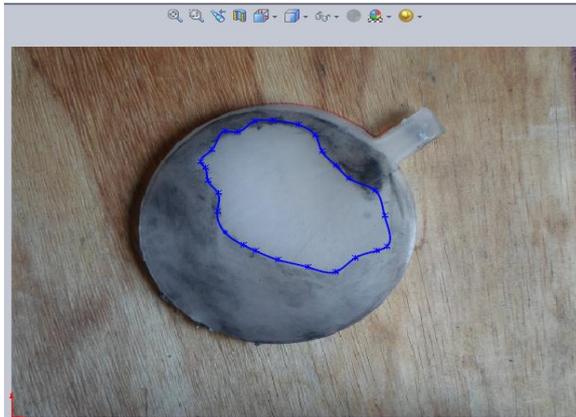
Parameter	Nilai
Temperatur air sebelum pendinginan	30°C
Temperatur air sesudah pendinginan	31°C
Temperatur cetakan bagian atas awal	35°C
Temperatur cetakan bagian atas akhir	38°C
Temperatur cetakan bagian bawah awal	33°C
Temperatur cetakan bagian bawah akhir	36°C
Volume air pendingin	166,75 cc
Temperatur leleh ( <i>melt temperature</i> ) PP	150°C
Waktu injeksi	39,3 detik
Waktu tahan ( <i>holding time</i> )	5 detik
Waktu pendinginan	44,3 detik
Tekanan injeksi ( <i>injeksion pressure</i> )	12,378 kg/cm <sup>2</sup>

Dalam proses pembuatan spesimen dengan variabel data di atas diperoleh hasil bahwa semua spesimen mengalami cacat *warpage*. *Warpage* yang timbul cukup besar sehingga dapat terlihat jelas secara langsung oleh mata seperti cekungan. Selain cacat *warpage* juga timbul cacat lain seperti *flash*. Cacat *flash* terjadi akibat cetakan tidak mampu menahan tekanan tinggi dari lelehan *polypropylene* yang diinjeksikan ke dalam cetakan sehingga membuat cetakan menjadi sedikit terbuka. Cacat *warpage* dan *flash* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Cacat yang timbul pada spesimen

Dari Gambar 7 dapat dilihat lingkaran berwarna merah merupakan cacat *warpage* dan lingkaran berwarna biru merupakan cacat *flash*. Cacat *warpage* dapat dilihat secara jelas setelah spesimen diolesi karbon seperti (Gambar 8).



**Gambar 8.** Area *warpage* setelah spesimen diolesi karbon

#### Data hasil pengukuran area *warpage*

Dari pengukuran didapatkan hasil bahwa area *warpage* rata-rata terendah terjadi pada spesimen dengan saluran pendingin *conformal soft tooling* dan area *warpage* rata-rata tertinggi terjadi.

**Tabel 4.** Data hasil pengukuran area *warpage* bentuk saluran pendingin *conformal soft tooling*

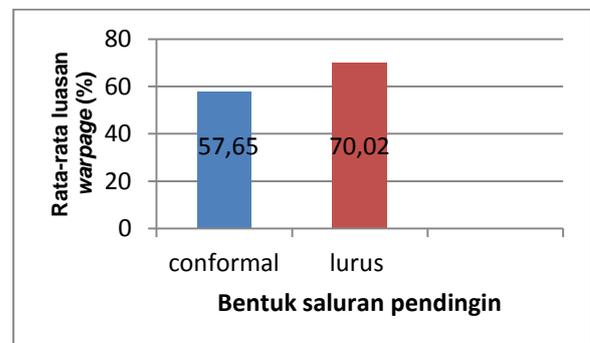
Spesi men	Warpage	
	Luasan <i>warpage</i>	Luasan tidak <i>warpage</i>
1	4231,15mm	3,618,85mm
2	3085,05mm	4764,95mm
3	4671,53mm	3178,47mm
4	4246,85mm	3603,15mm
5	4921,95mm	2920,05mm
6	4301,80mm	3548,20mm
7	4678,60mm	3171,40mm
8	5,283,05mm	2566,95mm

pada spesimen dengan saluran pendingin lurus *soft tooling*.

**Tabel 5.** Data hasil pengukuran area *warpage* bentuk saluran pendingin *conformal soft tooling*

Spesi men	Warpage	
	Luas <i>warpage</i>	Luasan tidak <i>warpage</i>
1	6280,80mm	1569,20mm
2	6389,90mm	1460,10mm
3	5086,80mm	2763,20mm
4	6217,20mm	1632,80mm
5	5518,55mm	2331,45mm
6	5471,45mm	2378,55mm
7	5746,20mm	2103,80mm
8	5086,80mm	2763,20mm

Area *warpage* yang terjadi pada saluran pendingin *conformal soft tooling* rata-rata sebesar 4427,49mm<sup>2</sup> dan area *warpage* pada saluran pendingin lurus *soft tooling* sebesar 5724,71mm<sup>2</sup>.

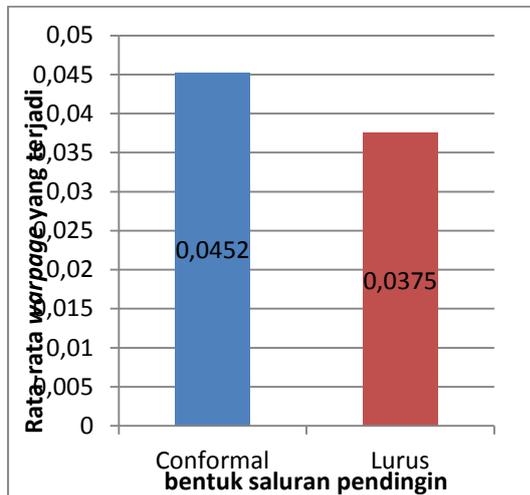


**Grafik 1** pengaruh bentuk saluran pendingin terhadap presentase area *warpage*

Dari grafik di atas dapat dilihat area *warpage* terkecil pada bentuk saluran pendingin *conformal soft tooling* dengan presentase rata-rata 57,65% dan area *warpage* terbesar pada bentuk saluran pendingin lurus *soft tooling* dengan presentase rata-rata sebesar 70,02%.

No	Conformal	Lurus
1	0,0494	0,0410
2	0,0540	0,0372
3	0,4800	0,0110
4	0,0380	0,0655
5	0,0155	0,0265
6	0,0490	0,0355
7	0,0490	0,0445
8	0,0590	0,0397

Pada pengukuran nilai warpage, bentuk saluran pendingin *conformal soft tooling* nilai warpage yang terjadi dari 0,0155 sampai 0,0590 nilai warpage bentuk saluran pendingin lurus *soft tooling* nilai warpage yang terjadi dari 0,0110 sampai 0,0655.



**Grafik 2** pengaruh bentuk saluran pendingin terhadap nilai warpage rata-rata.

Dari grafik di atas dapat dilihat nilai warpage rata-rata terkecil pada bentuk saluran pendingin lurus *soft tooling* sebesar 0,0375 sedangkan nilai warpage terbesar pada bentuk saluran pendingin *conformal soft tooling* sebesar 0,0452.

## KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa hasil yang merupakan jawaban dari penelitian ini.

1. Dalam penelitian ini secara umum bentuk saluran pendingin conformal area warpage lebih kecil dengan presentase 57,65% dibandingkan bentuk saluran pendingin lurus dengan presentase 70,02% sedangkan untuk nilai warpage tertinggi pada bentuk saluran pendingin conformal dengan nilai rata-rata 0,0452 untuk nilai warpage terkecil pada bentuk saluran pendingin lurus dengan nilai rata-rata 0,0375.
2. Dari hasil spesimen yang diuji bentuk pendingin lurus lebih efektif untuk menghasilkan produk yang lebih rata dikarenakan nilai warpage yang lebih kecil dan pendinginan yang terjadi lebih merata.

## SARAN

Saran dari peneliti jika nantinya ada peneliti lain yang ingin melanjutkan penelitian ini:

1. Perhatikan perancangan desain dan pemilihan bahan untuk cetakan khususnya pada kekuatan *clamp* cetakan.
2. Gunakan bahan plastik yang berbeda sehingga nantinya dapat digunakan sebagai pembanding dengan penelitian ini.
3. Untuk membuktikan keakurasian pengukuran besarnya nilai warpage ada baiknya dilakukan pengukuran secara langsung pada spesimen.

## DAFTAR PUSTAKA

- Jerry M. Fischer.,2003,*Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage*, Plastics Design Library/William Andrew Publishing, Norwich, NY.
- M. C. Huang and C. C. Tai., 2001,*The effective factors in the warpage problem of an injection molded part with a thin shell feature*, J Mater Process Technol.
- Sendi Dwi Oktaviandi., 2012, *Analisa Pengaruh Parameter Tekanan dan Waktu Penekanan Terhadap Sifat Mekanik dan Cacat Penyusutan Dari Produk Injection Molding Berbahan Polyethylene (PE)*, Skripsi S-1 Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon.
- Sigit Y. dan Agung K., 2014, *Perbandingan Sistem Pendingin Konvensional dan Konformal pada Proses Injeksi Plastik*, Skripsi S-1 Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- S.Selvaraj and P.Venkataramaiah., 2013, *Measurement of warpage of injection moulded Plastic components using image processing*, Internasional Jurnal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Jurnal vol 2, Issue 12, December.
- Suyono., 2011, *Pengaruh Serbuk Aluminium dan Serbuk Kuningan terhadap Penyusutan (Shringkage) Produk pada Pembuatan Cetakan Softtooling untuk Mesin Injeksi Plastik*, Skripsi S-1 Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.