

ANALISIS PENGENDALIAN CACAT PRODUK PADA PROSES PLASTIC INJECTION MOLDING DENGAN MATERIAL POLYPROPYLENE

Dadi Cahyadi*, Mahfudz Al Huda**
Staff PT. Enviro Global Persada*,
Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Pancasila**
Email: dadi_ce@yahoo.com, huda13@yahoo.co.jp

ABSTRACT

Injection molding process in Indonesia today has been mostly done in small and medium-scale business activities. One of the problems often experienced by small and medium business this is a frequent occurrence of product defects on finished goods, to the detriment of entrepreneur from the side of the material is wasted and delay in delivery time. It is necessary for continuous quality control. Product defect have occurred for fixed closet (part of the buffer in the toilet) based Polypropylene. In the case of defective product, due process has not standardized parameter setting and still using trial and error. It will do an analysis to the occurrence of defective products by developing empirical simulation model that describes the relationship between process parameter with product defects that occur, with performed simulations using Autodesk Moldflow Adviser Software to the product by varying the value of injection pressure, injection temperature, and cooling time. The result are processed to obtain the optimum value for setting a combination of parameters investigated. It was found that the injection pressure, injection temperature, and cooling time effect on the occurrence of product defects. For fixed closet product, it was found that the optimum setting are as follows; injection pressure (P_{inj}) = 3.038 MPa, injection temperature (T_{Melt}) = 240 °C, and cooling time (t_{Col}) = 20 s.

Keywords: product defect, injection molding, injection pressure, injection temperature, cooling time

PENDAHULUAN

Produk berbahan dasar polimer (plastik) di Indonesia saat ini berkembang dengan sangat pesat baik dari segi jumlah maupun ragamnya. Hal ini memang sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan—dibidang ilmu material/bahan-bahwa untuk masa depan, material berbahan dasar plastik akan terus mengalami peningkatan pemakaiannya untuk mensubstitusi material berbahan dasar logam, atau lainnya. Salah satu industri plastik di daerah Sawangan-Depok, dalam melakukan proses pembuatan dari produknya sering menghasilkan produk yang cacat. Salah satu cacat yang sering terjadi adalah cacat *short shot* yaitu suatu cacat pada produk akhir dimana bentuk dari produk akhir yang dihasilkan menjadi tidak lengkap.

Terjadinya cacat produk saat proses pembuatan (*in-process*), akan mengakibatkan perubahan dari keluaran pada *out-going process* (*final product*). Karena itu, bagian *in-process* harus cermat dan jeli dalam melakukan diagnosa dan *adjustment* sehingga diharapkan produk akhir yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi pelanggan. Untuk itu akan dilakukan penelitian guna meningkatkan kualitas produk dengan cara

mereduksi cacat produk pada proses pembuatannya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis akar permasalahan dari cacat produk yang sering terjadi pada produk bermaterial *polypropylene* (PP) pada proses *plastic injection molding*, agar didapatkan *setting* parameter proses yang tepat sehingga dapat memperbaiki permasalahan cacat produk di perusahaan tersebut.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan di dalam penelitian sebagai berikut :

Studi Pendahuluan

Pada tahap ini, dilakukan kegiatan pengkajian terhadap literatur terkait dengan proses *plastic injection molding*, baik berupa *handbooks*, maupun jurnal-jurnal internasional dan nasional.

Studi Lapangan Observasi di Lantai Produksi

Aktifitas melihat langsung di area proses produksi, sehingga didapat gambaran yang menyeluruh tentang proses, mulai dari *incoming*

process dilanjutkan ke proses pembuatan (*in-process*) sampai kepada pengecekan & pengiriman produk akhir (*outgoing process*).

Perumusan Masalah

Dalam hal ini dipusatkan pada penelitian cacat produk yang sering terjadi pada produk *hanger kotatzu*, *stationery*, serta *fixed closet* dengan material *Polypropylene* (PP), dan kemudian ditentukan variabel penelitian. Pada penelitian ini, variabel-variabel (parameter proses) yang diteliti adalah variabel yang berkaitan dengan *setting mesin injection molding*, yang diduga mempengaruhi cacat produk yang terjadi. Variabel yang diteliti meliputi:

- a. Variabel bebas, yaitu merupakan variabel yang besarnya dapat ditentukan dan kontrol sesuai dengan keperluan dan pertimbangan dari penelitian ini. Yang dijadikan variabel bebas pada penelitian ini adalah ; temperatur injeksi, tekanan injeksi, serta waktu pendinginan ,
- b. Variabel konstan, yaitu merupakan variabel proses yang dijaga agar tetap konstan sehingga tidak mengganggu hasil penelitian. Ketika dilakukan uji temperatur injeksi, yang dijadikan variabel konstan adalah tekanan injeksi, waktu pendinginan dan temperatur *molding*. Ketika dilakukan uji tekanan injeksi, yang dijadikan variabel konstan adalah temperatur injeksi, waktu pendinginan dan temperatur *mold*. Ketika dilakukan uji waktu pendinginan, variabel konstannya adalah temperatur injeksi, tekanan injeksi dan temperatur *mold*.

Data-data yang dikumpulkan adalah data–data yang akan dipergunakan sebagai data–data pendukung analisis yang akan dibahas.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data, yaitu mengumpulkan data proses yang terkait dengan permasalahan utama, yang akan dipergunakan dalam studi analisis. Data-data yang diperlukan antara lain:

- a. Spesifikasi produk, yang meliputi dimensi produk dan geometri produk yang akan dibawa dalam bentuk gambar teknik 3 Dimensi, memakai *SolidWork Software*,
- b. Sifat material bahan baku (*raw material properties*), dalam hal ini bahan polimer *Polypropylene* (PP),

- c. Spesifikasi mesin *injection molding*, meliputi gaya cekam, kapasitas penginjeksian, kapasitas tekanan, dan sebagainya,
- d. Data cacat produk yang telah terjadi.

Studi Analisis

Pada tahap studi analisis ini, terdapat 3 (tiga) kegiatan yang dilakukan, yaitu; 1) Analisis sebab-akibat, yaitu menganalisis keterkaitan antara parameter proses yang diteliti terhadap cacat produk yang terjadi, 2) Studi *software* – dalam hal ini : *Autodesk Moldflow Adviser software* – yang akan dipakai untuk melakukan simulasi terhadap cacat produk yang terjadi, 3) Simulasi-kasus, yaitu melakukan simulasi dengan kasus yang terjadi dilapangan terhadap parameter proses yang diteliti dengan menggunakan *software*, untuk menganalisis keterkaitan dengan cacat produk yang terjadi.

Kesimpulan

Pada tahap ini, disimpulkan hasil dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan, serta pemberian saran atau masukan guna pengembangan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan bahan material yang lain sebagai suatu komparasi terhadap penelitian ini.

Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

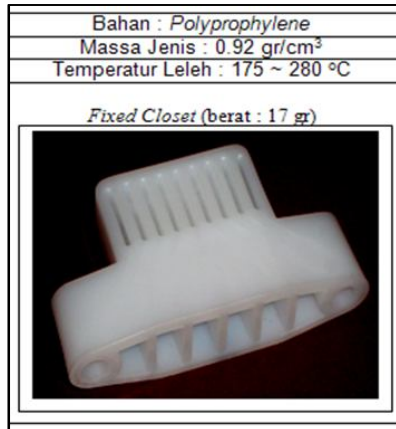
Teknik pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : 1) Observasi di lantai produksi, dengan mengamati proses pembuatan produk dan cacat produk yang terjadi, 2) Wawancara dengan narasumber, antara lain dengan kepala bagian *engineering*, kepala bagian kontrol kualitas dan kepala bagian produksi.

Setelah data-data yang diperlukan terkumpul, dilakukan pengolahan data dengan menggunakan model simulasi empirik yang menggambarkan hubungan antara parameter proses dengan cacat produk yang terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Objek Penelitian

Obyek yang akan diteliti adalah produk yang terbuat dari material *Polypropylene* (PP), yaitu *fixed closet* (bagian dari penyangga dalam pada kolset).



Gambar 3. Objek penelitian

Spesifikasi Mesin

Mesin *injection molding* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. Data Spesifikasi Mesin *Molding*

A	DESCRIPTION	UNIT
	Merk	BORCHE BSE - 120
	International Class No	388 / 120
B	INJECTION UNIT	
	Theoretical shot volume	182 cm ³
	Shot weight	171 g
	Screw diameter	35 mm
	Injection Pressure	212 MPa
	Screw L/D Ratio	23.5 L/D
	Injection Stroke	190 mm
	Nozzle stroke	250 mm
C	CLAMPING UNIT	
	Clamping force	1200 kN
	Opening stroke	340 mm
	Platen size	610*610 mm
	Space btwn tie bars	410*410 mm
	Mold thickness	145~450 mm
	Ejection stroke	100 mm
	Ejection Force	34.4 kN
D	GENERAL UNIT	
	Pump motor	11 kW
	Heating capacity	8.86 kW
	Oil tank capacity	180 Lt

Data Defective Rate

Data cacat produk dari hasil proses *injection molding* dengan material dasar bahan *Polypropylene* (PP) adalah data produksi pada periode Juni ~ Agustus 2010. Adapun rangkuman datanya adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Data *Defective Rate*

Nama Produk	Juni	Juli	Agustus	Average Def Rate
Bottom Cover	1.50 %	2.00 %	1.30 %	1.60 %
Electric Holder	0.66 %	1.29 %	1.01 %	0.94 %
Fan Assy Cover	0.75 %	0.86 %	0.80 %	0.80 %
Fix Closed	18.00 %	4.40 %	6.80 %	9.73 %
Hanger Kotatzu	1.45 %	1.97 %	3.00 %	2.14 %
Stationery TB 650	2.97 %	2.06 %	1.92 %	2.32 %
Steamer RC 06	1.10 %	1.30 %	0.90 %	1.10 %

Data diolah dari divisi Quality Control.

Berdasarkan kebijakan mutu (*quality policy*) perusahaan, telah dicanangkan target bahwa cacat produk (*defective rate*) yang ingin dicapai adalah maksimal 1.0%. Dari data periode Juni ~ Agustus 2010 di atas, terlihat bahwa produk *Fix Closet*, menempati urutan teratas dalam hal terjadinya cacat produk. Atas dasar itu, maka pada penelitian ini diarahkan untuk menyelidiki cacat produk pada produk tersebut.

Simulasi Data Lapangan

Simulasi diperlukan untuk menguji sampai sejauh mana terdapat hubungan antara parameter proses (variabel bebas) yang dikendalikan yaitu temperatur injeksi, tekanan injeksi serta waktu pendinginan dengan cacat produk yang terjadi. Pada simulasi ini digunakan *Autodesk Moldflow Adviser software* serta *SolidWork software* terhadap data lapangan, untuk diamati kecenderungan cacat produk apa yang terjadi berdasarkan simulasi *software* ini.

Pada simulasi ini, akan dilakukan 3 (tiga) macam simulasi, yaitu uji tekanan injeksi (P_{inj}), temperatur injeksi (T_{Melt}), waktu pendinginan (t_{CoI}) untuk obyek produk yang diteliti, sementara parameter lainnya dibuat tetap. Akan dilakukan simulasi pada *setting* parameter yang saat ini terpasang, yaitu sebagai berikut :

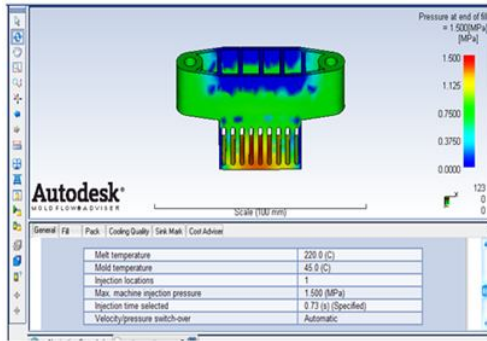
Tabel 3. Setting parameter terpasang

Variabel	P_{inj}	T_{Melt}	t_{CoI}
Unit	1.5 MPa	220°C	25 s

Kemudian memasukkan nilai-nilai variabel bebas di atas ke dalam *autodesk moldflow advisersoftware*. Didapatkan hasil simulasi sebagai berikut :

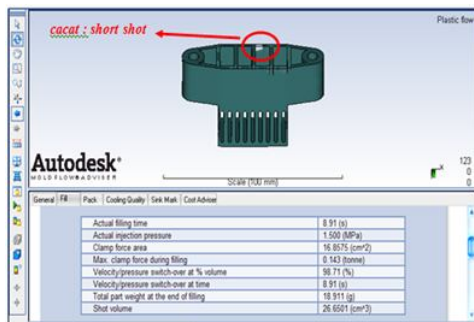
Pada gambar (4) simulasi keadaan tekanan injeksi di bawah, memperlihatkan tekanan injeksi maksimum yang terjadi selama fase pengisian material (*filling phase*) ke dalam cetakan *mold*,

yaitu adalah 1.5 MPa. Pada permulaan proses pengisian, tekanan injeksi awal adalah 0 MPa yang ditandai dengan warna biru dalam grafis. Seiring dengan waktu proses pengisian, tekanan injeksi akan meningkat terus sampai mencapai tekanan maksimum yang ditandai warna merah ketika proses pengisian material sesaat akan berakhir.

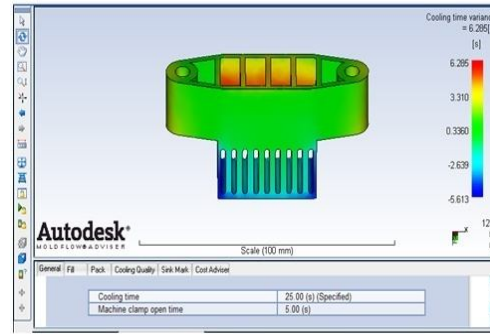


Gambar 4. Simulasi keadaan tekanan injeksi

Pada gambar (5) simulasi aliran pengisian material di bawah, memperlihatkan aliran pengisian material plastik untuk mengisi semua rongga cetakan sehingga akan dihasilkan produk yang sesuai dengan cetakan yang diinginkan. Dengan menggunakan setting parameter terpasang yaitu tekanan injeksi (P_{inj}) = 1.50 MPa, temperatur injeksi (T_{Melt}) = 220 °C , serta waktu pendinginan (t_{Co}) = 25 s, terlihat bahwa terjadi cacat produk berupa tidak terpenuhinya secara lengkap bentuk geometri benda sesuai cetakan.



Gambar. 5 Simulasi aliran pengisian plastik



Gambar. 6 Simulasi waktu pendinginan

Pada gambar (6) simulasi waktu pendinginan di atas, memperlihatkan perbedaan di antara waktu pendinginan oleh material plastik yang terjadi pada setiap area cetakan terhadap waktu pendinginan rata-rata untuk keseluruhan proses pengisian material ke dalam cetakan. Dalam hal ini waktu pendinginan rata-rata terpasang adalah 25 s. Warna merah menunjukkan waktu pendinginan yang terjadi untuk area tersebut lebih lambat dari waktu pendinginan rata-rata keseluruhan, sedangkan warna biru menunjukkan waktu pendinginan untuk area tersebut lebih cepat dibanding waktu pendinginan rata-rata.

Dari simulasi yang dilakukan dengan menggunakan nilai-nilai parameter terpasang, dapat dilihat bahwa memang besar kemungkinan terjadinya cacat produk berupa *short shot*, yaitu bentuk geometri produk belum lengkap sesuai cetakan.

Simulasi Data Percobaan

Simulasi data percobaan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan variabel bebas yang diteliti terhadap kemungkinan terjadinya cacat produk. Akan dilakukan berturut-turut simulasi dengan mengadakan perubahan nilai terhadap variabel tekanan injeksi, temperatur injeksi serta waktu pendinginan dengan selalu membuat tetap variabel temperatur *molding*.

Uji Perubahan Tekanan Injeksi

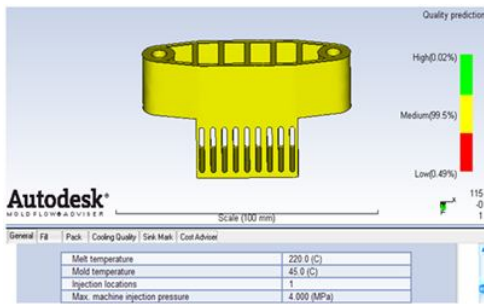
Akan dilakukan uji perubahan nilai pada tekanan injeksi, dengan mempertahankan temperatur injeksi, waktu pendinginan serta temperatur *mold* pada kondisi tetap. Data yang akan diuji coba disajikan pada tabel 4.

Berikut hasil simulasi dari nilai-nilai data Uji Tekanan 1, yaitu tekanan injeksi (P_{inj}) = 4 MPa, temperatur injeksi (T_{Melt}) = 220 °C , serta waktu pendinginan (t_{Co}) = 25 s :

Tabel 4. Uji perubahan tekanan injeksi

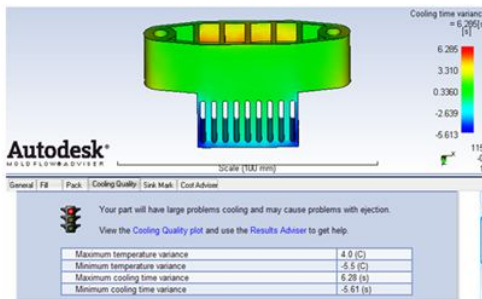
Deskripsi	P_{inj}	T_{Melt}	t_{Col}	T_{Mold}
Data Awal	1.5 MPa	220 °C	25 s	45 °C
Uji Tekanan 1	4 MPa	220 °C	25 s	45 °C
Uji Tekanan 2	10 MPa	220 °C	25 s	45 °C

Pada gambar (7) simulasi keadaan tekanan injeksi Uji Tekanan 1 di atas, simulasi *confidence of fill* memperlihatkan tingkat probabilitas pengisian material plastik kedalam rongga cetakan.



Gambar 7. Simulasi uji tekanan 1

Area warna hijau menunjukkan bahwa pasti berlangsung pengisian material plastik dengan sempurna, warna kuning menunjukkan kemungkinan ada sedikit masalah dengan tingkat pengisian, serta warna merah pasti terdapat masalah yang besar dengan tingkat pengisian material. Dari data menunjukkan bahwa 99.5 % pengisian material berhasil baik dengan tingkat kualitas medium, serta 0.49 % kemungkinan terdapat sedikit masalah berkaitan dengan kualitas benda jadi.

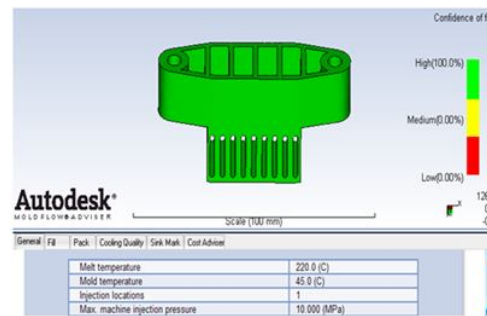


Gambar 8. Simulasi waktu pendinginan Uji Tekanan 1

Pada gambar (8) simulasi waktu pendinginan di atas, memperlihatkan perbedaan di antara waktu pendinginan oleh material plastik

yang terjadi pada setiap area cetakan terhadap waktu pendinginan rata-rata untuk keseluruhan proses pengisian material ke dalam cetakan. Dalam hal ini waktu pendinginan rata-rata adalah 25 s. Warna merah menunjukkan waktu pendinginan yang terjadi untuk area tersebut lebih lambat dari waktu pendinginan rata-rata keseluruhan, sedangkan warna biru menunjukkan waktu pendinginan untuk area tersebut lebih cepat dibanding waktu pendinginan rata-rata. Dari simulasi terlihat bahwa kemungkinan terlalu singkat dalam setting waktu pendinginan diprediksi akan bermasalah dalam hal pengeluaran produk dari cetakan.

Berikut hasil simulasi dari nilai-nilai data Uji Tekanan 2, yaitu tekanan injeksi (P_{inj}) = 10 MPa, temperatur injeksi (T_{Melt}) = 220 °C , serta waktu pendinginan (t_{Col}) = 25 s :



Gambar 9. Simulasi uji tekanan 2

Pada gambar (9) simulasi keadaan tekanan injeksi Uji Tekanan 2 di atas, simulasi *confidence of fill* memperlihatkan tingkat probabilitas pengisian material plastik ke dalam rongga cetakan. Area warna hijau menunjukkan bahwa pasti berlangsung pengisian material plastik dengan sempurna, warna kuning menunjukkan kemungkinan ada sedikit masalah dengan tingkat pengisian, serta warna merah pasti terdapat masalah yang besar dengan tingkat pengisian material. Dari data menunjukkan bahwa 100 % pengisian berhasil baik serta tidak ada kemungkinan terjadi masalah.

Uji Perubahan Temperatur Injeksi

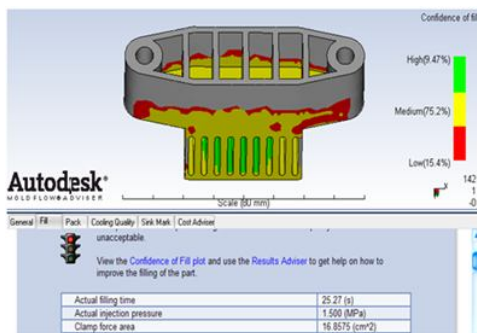
Akan dilakukan uji perubahan nilai pada temperatur injeksi, dengan mempertahankan tekanan injeksi, waktu pendinginan serta temperatur *mold* pada kondisi tetap. Data yang akan diuji coba dapat dilihat pada tabel 5.

Berikut hasil simulasi dari nilai-nilai data Uji Suhu 1, yaitu tekanan injeksi (P_{inj}) = 1.5 MPa, temperatur injeksi (T_{Melt}) = 175 °C , serta waktu pendinginan (t_{Col}) = 25 s.

Tabel 5. Uji perubahan temperatur injeksi

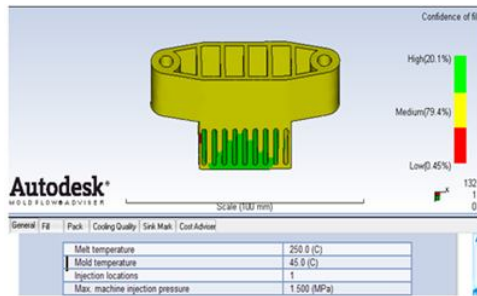
Deskripsi	P _{Inj}	T _{Melt}	t _{Col}	T _{Mold}
Data Awal	1.5 MPa	220 °C	25 s	45 °C
Uji Suhu 1	1.5 MPa	175 °C	25 s	45 °C
Uji Suhu 2	1.5 MPa	250 °C	25 s	45 °C

Pada gambar (10) *confidence of fill* Uji Suhu 1 di atas, menunjukkan bahwa 9.47 % kemungkinan pengisian berhasil dengan kualitas sangat baik, 75.2 % kemungkinan berkualitas medium, serta 15.4 % dipastikan akan terjadi cacat produk berupa *short shot*.



Gambar. 10 Simulasi uji suhu 1

Berikut hasil simulasi dari nilai-nilai data Uji Suhu 2, yaitu tekanan injeksi (P_{Inj}) = 1.5 MPa, temperatur injeksi (T_{Melt}) = 250 °C, serta waktu pendinginan (t_{Col}) = 25 s :



Gambar. 11 Simulasi uji suhu 2

Pada gambar (11) *confidence of fill* Uji Suhu 2 di atas, menunjukkan bahwa 20.1 % kemungkinan pengisian menghasilkan kualitas yang sangat baik, 79.4 % kemungkinan pengisian menghasilkan produk berkualitas sedang, serta 0.45 % kemungkinan dengan kualitas yang tidak baik.

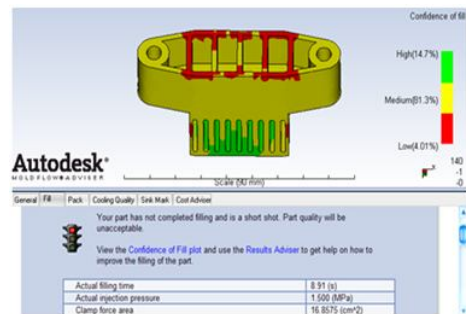
Uji Perubahan Waktu Pendinginan

Akan dilakukan uji perubahan nilai pada waktu pendinginan, dengan mempertahankan tekanan injeksi, temperatur injeksi serta temperatur *mold* pada kondisi tetap. Data yang akan diuji coba adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Uji perubahan waktu pendinginan

Deskripsi	P _{Inj}	T _{Melt}	t _{Col}	T _{Mold}
Data Awal	1.5 MPa	220 °C	25 s	45 °C
Uji Waktu 1	1.5 MPa	220 °C	60 s	45 °C
Uji Waktu 2	1.5 MPa	220 °C	80 s	45 °C

Berikut hasil simulasi dari nilai-nilai data Uji Waktu 1, yaitu tekanan injeksi (P_{Inj}) = 1.5 MPa, temperatur injeksi (T_{Melt}) = 220 °C, serta waktu pendinginan (t_{Col}) = 60 s :



Gambar12. Simulasi uji waktu 1

Pada gambar (12) *confidence of fill* Uji Waktu 1 di atas, menunjukkan bahwa 14.7 % kemungkinan pengisian material menghasilkan kualitas yang sangat baik, 81.3 % kemungkinan menghasilkan produk dengan kualitas medium, serta 4.01 % dipastikan akan terjadi cacat produk berupa *short shot*. Dalam hal ini karena waktu pendinginan dinaikan menjadi 60 s, maka masih diprediksi tidak bermasalah dalam hal pengeluaran produk dari cetakan berkaitan dengan masih belum mengeringnya material secara merata. Tabel 7 menunjukkan tabulasi dari hasil simulasi pada produk *fixed closed* yang telah dilakukan.

Analisis Simulasi

Simulasi Data Lapangan

Dari hasil simulasi data lapangan aktual yang di uji cobakan menggunakan *software Autodesk Moldflow Adviser*, dapat diambil

beberapa keterangan sebagai berikut untuk produk *Fix Closed* dimana *setting* parameter proses adalah Tekanan Injeksi (P_{inj}) = 1.50 MPa, Temperatur Injeksi (T_{Melt}) = 220 °C , serta Waktu Pendinginan (t_{Col}) = 25 s, terindikasikan terjadinya cacat produk berupa *short shot*, serta *sink mark* yaitu cacat produk dimana permukaan dari produk mengalami perubahan bentuk terlihat lekuk kedalam atau menggelembung keluar, serta kemungkinan bermasalah dalam hal pengeluaran produk (*Ejection problem*) pula.

Tabel 7. Tabulasi data simulasi *fixed closet*

Deskripsi	P_{inj}	T_{Melt}	t_{Col}	Hasil Simulasi
Data Awal	1.5 MPa	220 °C	25 s	Defect: shortshot
Uji Tekanan 1	4 MPa	220 °C	25 s	* medium quality 99.9%
Uji Tekanan 2	10 MPa	220 °C	25 s	* High quality 100%
Uji Suhu 1	1.5 MPa	175 °C	25 s	* High quality 94.7%, medium quality 73.2% Low quality 12.4% (short shot)
Uji Suhu 2	1.5 MPa	250 °C	25 s	* High quality 20%, medium quality 19.4% Low quality 0.45% (short shot)
Uji Waktu 1	1.5 MPa	220 °C	60 s	* High quality 14.7%, medium quality 81.3% Low quality 4.01% (short shot)
Uji Waktu 2	1.5 MPa	220 °C	80 s	* High quality 14.7%, medium quality 81.3% Low quality 4.01% (short shot)

Simulasi Data Uji Coba

Dari simulasi data uji coba yang dilakukan pada *software Moldflow*, dapat diambil beberapa keterangan sebagai berikut untuk uji coba perubahan tekanan injeksi (P_{inj}), dimana parameter yang lain dibuat konstan (temperatur injeksi, waktu pendinginan serta temperatur *mold* dibuat konstan), terlihat kecenderungan bahwa semakin kecil tekanan, akan mengakibatkan terjadinya cacat *short shot*, serta *sink mark*, sedangkan sebaliknya yaitu semakin besar tekanan akan mengakibatkan cacat *part flashing*, yaitu produk atau hasil cetakan berlebihan, tidak pas sesuai cetakan.

Untuk uji coba perubahan temperatur injeksi (T_{Melt}), dimana parameter yang lain dibuat konstan (tekanan injeksi, waktu pendinginan serta temperatur *mold* dibuat konstan), terlihat kecenderungan bahwa semakin kecil suhu, akan mengakibatkan terjadinya cacat *short shot*, *sink mark*, *dirty*, *flow marks* (cacat produk berupa tanda yang timbul pada bagian dalam atau luar permukaan produk, berupa bentuk aliran dimana arah injeksi bahan datang) sedangkan semakin besar tekanan akan mengakibatkan cacat *part flashing*, *Silver brain* (warna permukaan berubah karena panas yang tinggi).

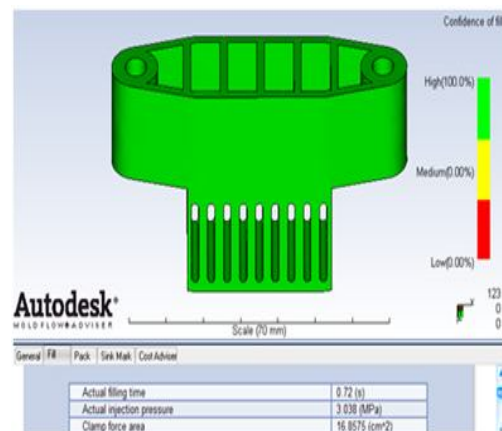
Untuk uji coba perubahan waktu pendinginan (t_{Col}), dimana parameter yang lain dibuat konstan (tekanan injeksi, temperatur injeksi serta temperatur *mold* dibuat konstan), terlihat kecenderungan bahwa semakin singkat waktu pendinginan, akan mengakibatkan terjadinya cacat *short shot*, sedangkan semakin lama waktu pendinginan akan baik bagi bentuk geometri produk, tetapi dari sisi produktifitas, menjadi kurang efisien.

Simulasi mencari Nilai Optimum

Setelah dilakukan 2 (dua) macam simulasi, yaitu simulasi data aktual lapangan dan simulasi uji perubahan parameter untuk mengetahui informasi hubungan antara tekanan injeksi, temperatur injeksi serta waktu pendinginan terhadap mutu produk, selanjutnya akan dilakukan simulasi untuk mencari atau menentukan *setting* parameter proses yang optimum berdasarkan *set default* dari *software Autodesk Moldflow Adviser*. Langkah-langkah simulasi mencari *setting* parameter yang dianjurkan *software* ini adalah sebagai berikut :

1. Menggambar produk dengan menggunakan *software SolidWorks* dalam bentuk 3D (tiga dimensi) sesuai dengan dimensi produknya,
2. Mengirimkan (export) gambar 3D ke dalam *software Autodesk Moldflow Adviser*,
3. Menjalankan simulasi dengan *software Autodesk Moldflow Adviser* , dan selesai.

Berikut hasil simulasi mencari *setting* parameter yang optimum produk *fixed closed*.



Gambar. 13 Simulasi mencari nilai optimum

Pada gambar (13) simulasi *confidence of fill* untuk mencari *setting* parameter optimum di atas, memperlihatkan tingkat probabilitas

pengisian material plastik ke dalam rongga cetakan. Area warna hijau menunjukkan bahwa pasti berlangsung pengisian material plastik dengan kualitas sempurna, warna kuning menunjukkan kemungkinan ada sedikit masalah dengan tingkat pengisian, serta warna merah memastikan terdapat tingkat masalah yang besar dengan kualitas benda jadi. Dari data menunjukkan bahwa 100 % pengisian material berhasil baik dengan tingkat kualitas sangat baik, serta 0.00 % kemungkinan terdapat masalah berkaitan dengan kualitas benda jadi.

Dari simulasi untuk mencari *setting* parameter yang optimum dengan obyek produk *fixed close*, didapat nilai-nilai sebagai berikut :

- Tekanan Injeksi (P_{inj}) = 3.038 MPa,
- Temperatur Injeksi (T_{Melt}) = 240 °C, serta
- Waktu Pendinginan (t_{col}) = 20 s.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis terhadap cacat produk dengan material *Polypropylene* (PP) terhadap produk *fixed closet* pada proses *injection molding*, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Cacat produk dapat terjadi bila tidak tepat dalam menentukan *setting* parameter proses tekanan injeksi, temperatur injeksi serta waktu pendinginan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kecenderungan terlalu rendah untuk nilai tekanan Injeksi akan menyebabkan cacat produk berupa *short shot*, *sink mark*, sedangkan bila terlalu tinggi akan menyebabkan *part flashing*, untuk parameter temperatur injeksi, hasil simulasi menunjukkan bahwa kecenderungan terlalu rendah untuk nilai temperatur injeksi akan menyebabkan cacat produk berupa *short shot*, *sink mark*, *dirty*, *flow mark*, sedangkan sebaliknya, akan menyebabkan cacat produk berupa *silver brain*, *part flashing*. Sedangkan untuk parameter waktu pendinginan, hasil simulasi menunjukkan bahwa *setting* nilai terlalu rendah akan menyebabkan masalah pada saat pelepasan produk dari cetakan, sedangkan bila lebih lama akan lebih baik, namun kurang efisien dari sisi pemakain waktu produksi. Dengan demikian, menentukan *setting* parameter proses yang tepat dapat mengurangi terjadinya cacat produk.
2. Untuk produk *fixed closed*, didapatkan *setting* yang optimum adalah pada kisaran sebagai berikut : Tekanan Injeksi (P_{inj}) = 3.038 MPa, Temperatur Injeksi (T_{Melt}) = 240 °C, serta Waktu Pendinginan (t_{col}) = 20 s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Askeland, D., and Phule, P. *The Science & Engineering of Materials*, International Student Edition, Thomson, 2006.
- [2] Ahuru R., Keefe M. "*Simulation of Injection Molding into Rapid-prototyped molds*", Rapid Prototyping Journal, Vol.7 No.1, pp.42-51, 2001.
- [3] Collins, Christopher. "*Monitoring Cavity Pressure Perfect Injection Molding*", Assembly Automation, Vol.19, No.3, pp.197-202, 1999.
- [4] Donald, V. Rosato. "*Injection Molding Handbook 3rd Edition*", Kluwer Academic Publisher, Massachusetts, 2000.
- [5] Ding D., Townsend P., Webster M.F. "*Finite Element Simulation of an Injection Molding Process*", International Journal for Numerical Method for Heat & Fluid Flow, Vol.7 No.7, pp.751-766, 1997.
- [6] Foguth, R.C., Motwani. "*Method of including material variation in capability study*", The TQM Magazine, Vol.10 No.2, pp. 104-108, 1998.
- [7] Fikri Rosjadi, Agus (tanpa tahun). "*Feature Draft: Tutorial SolidWorks*". Melalui < <http://www.oke.or.id> >[19/6/10].
- [8] Fikri Rosjadi, Agus dan Hasnan, Ahmad (tanpa tahun). "*Membuat Core dan Cavity Sederhana : Tutorial SolidWorks*". Melalui < <http://www.oke.or.id> >[19/6/10].
- [9] Groover, M. "*Fundamentals of Modern Manufacturing : material, processes, and system*", 3rd Edition, John Wiley & Sons, 2007
- [10] Hasnan, Ahmad, (tanpa tahun). "*Jenis Konstruksi Injection Mold Plastic*". Melalui < <http://www.oke.or.id> >[5/6/10].
- [11] Henz, Tamma, and Mohan, Ngo. "*Process Modeling of composites by resin transfer molding*", International Journal for Numerical Method for Heat & Fluid Flow, Vol.15 No.7, pp.631-653, 2005.
- [12] Henz, Tamma, and Mohan, Ngo. "*Process Modeling of composites by resin transfer molding : Practical Applications of sensivity analysis for isothermal considerations*", International Journal for Numerical Method for Heat & Fluid Flow, Vol.13 No.4, pp.415-447, 2003.
- [13] Halliday, D., and Resnick, R. "*Fundamental of Physics*", 7th Edition, John Wiley & Sons, 2004.
- [14] Rooks B. "*Tending The Plastics Industry's Needs*", Industrial Robot, Vol.24 No.3, pp. 223-225, 1997.