

Analisis dan Optimasi Parameter Proses Injeksi Plastik Multi Cavity untuk Meminimalkan Cacat Short Mold

Priscilla Tria Devalia¹, Tria Mariz Arief²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : ¹priscillatriad@gmail.com, ²tria@polban.ac.id,

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang proses analisis dan optimasi cacat *short mold* yang terjadi pada proses injeksi plastik produk *under case* yang dicetak dengan cetakan *multi cavity*. Proses analisis dilakukan dengan mensimulasikan proses injeksi plastik pada *software* Moldflow. Model produk yang digunakan dalam simulasi dibuat dalam bentuk 3D dengan menggunakan *software* Inventor. Analisis dilakukan dengan menggunakan material *polypropylene* (PP). Terdapat 2 jenis PP yang digunakan yaitu PP daur ulang dan PP Homopolymer. Input nilai parameter proses dalam melakukan simulasi disesuaikan dengan yang digunakan pada mesin injeksi. Hasil simulasi menunjukkan cacat *short mold* terjadi pada proses injeksi yang menggunakan material PP Homopolymer. Dari analisis yang dilakukan, diketahui bahwa kedua material memiliki karakteristik sifat yang berbeda. Perbedaan sifat material tersebut menyebabkan nilai optimal dari temperatur leleh kedua material pun berbeda. Proses optimasi dilakukan dengan mengubah variabel temperatur leleh material. Batas nilai dari temperatur leleh material yang dianalisis adalah 180-280°C. Dari pengolahan data hasil optimasi, didapatkan nilai optimal untuk temperatur leleh material PP Homopolymer adalah 225°C dan PP daur ulang 200°C. Dari nilai optimal yang didapatkan, dilakukan uji coba pada simulasi *software*. Hasil uji coba menunjukkan cacat *short mold* tidak terjadi dan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi cetakan menjadi lebih cepat.

Kata Kunci

injeksi plastik, analisis dan optimasi, short mold, moldflow

1. PENDAHULUAN

Proses produksi material plastik banyak dilakukan dengan metode PIM (Plastic Injection Molding). Injeksi plastik merupakan proses pembentukan material plastik menjadi sebuah produk dengan ukuran yang berbeda-beda. Proses injeksi plastik dapat membuat produk dari bentuk yang sederhana sampai bentuk yang rumit dengan 1x proses pengerjaan. Produk yang dihasilkan merupakan barang jadi yang dapat langsung digunakan dan jarang sekali membutuhkan proses *finishing* dengan proses pemesinan.

Proses produksi produk *under case* dengan cetakan *multi cavity* mengalami banyak kegagalan. Jenis kegagalan produk yang terjadi utamanya adalah *short mold*. *Short mold* (biasa disebut *short shot*) merupakan salah satu bentuk kegagalan produk injeksi plastik di mana material yang diinjeksikan tidak dapat mengisi seluruh ruang cetakan sehingga produk yang dihasilkan menjadi tidak sempurna.

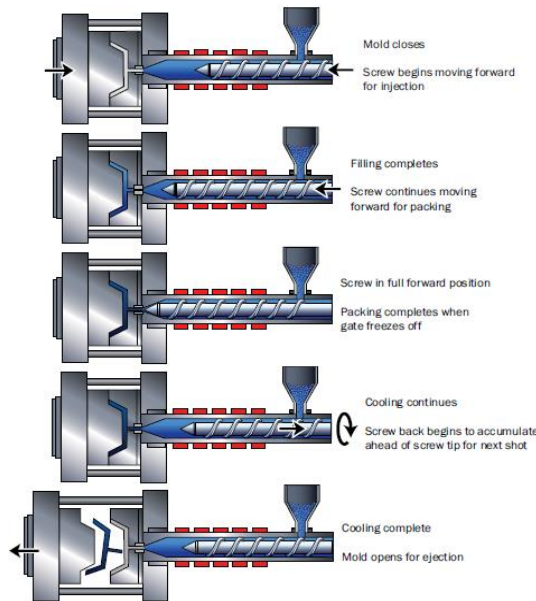
Untuk mengatasi cacat *short mold* yang terjadi, dilakukan analisis untuk mencari tahu apakah pengaturan parameter yang digunakan pada mesin tidak sesuai sehingga faktor yang menyebabkan terjadinya cacat *short mold* dapat diketahui. Dari hasil analisis tersebut, dilakukan optimasi untuk mendapatkan *setting* parameter proses yang tepat pada parameter yang mempengaruhi terjadinya cacat agar produktivitas menjadi meningkat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mekanisme Proses Injeksi Plastik

Injeksi plastik merupakan proses kompleks yang terdiri dari beberapa proses berurutan dan dilakukan secara berulang (siklus). Di setiap akhir siklus produk/ komponen akan dihasilkan. Siklus mesin injeksi dimulai dari gerakan cetakan menutup, pengisian cetakan, pemadatan produk, pendinginan, dan cetakan terbuka untuk mengeluarkan produk. Ilustrasi siklus injeksi plastik dapat dilihat pada Gambar 1. Waktu siklus proses injeksi plastik di-pengaruhi oleh berat benda, ketebalan

benda, sifat material, dan pengaturan mesin yang spesifik [1].



Gambar 1. Siklus injeksi plastik

2.2 Parameter Injeksi Plastik

Proses injeksi plastik dipengaruhi oleh hubungan antara sifat material, bentuk cetakan, kapasitas mesin, serta parameter proses. Parameter proses yang mempengaruhi kualitas produk injeksi plastik meliputi waktu pendinginan, tekanan injeksi, kecepatan injeksi, waktu injeksi, waktu pengisian, temperatur leleh material, tekanan lontar, temperatur cetakan, dan kecepatan leleh. Parameter proses tersebut dikelompokkan kedalam 4 parameter proses utama yang mengontrol proses injeksi plastik (parameter mesin). Parameter tersebut adalah temperatur, tekanan, waktu, dan jarak [2].

2.3 Karakteristik Material PP

PP merupakan polimer semi-kristalin hasil poli-merisasi monomer propilen dengan katalis berupa titanium untuk mempercepat reaksi polimerisasi [3]. PP memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap *stress cracking*, kepadatan yang sangat rendah, kekuatan tumbukan yang sangat baik, permukaan tahan gores. Titik leleh PP cukup tinggi dengan transisi titik leleh berkisar antara 143-166°C [4]. Karakteristik umum dari PP dapat dilihat lebih jelas pada Tabel 1.

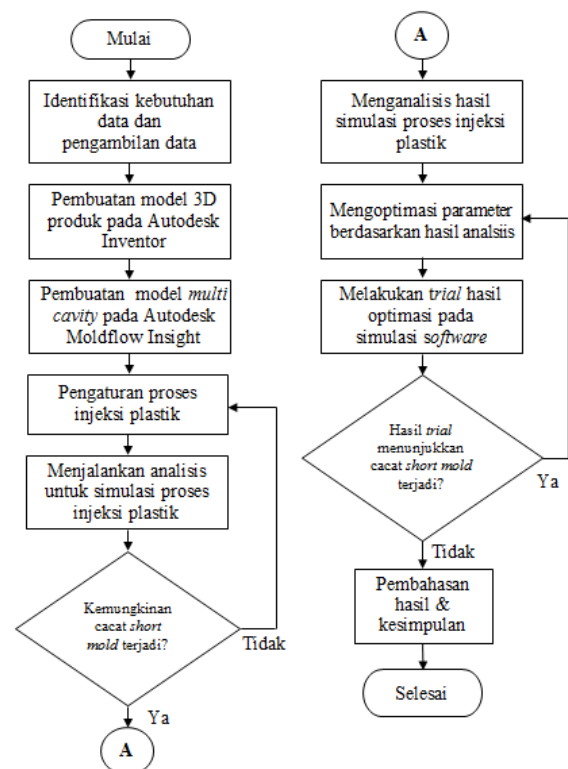
Tabel 1. Karakteristik umum PP

	Homopolymer	Copolymer
Melt temperature / °C	210 - 290	210 - 290
Mould temperature / °C	20 - 60	20 - 60
Pre-drying / hours at °C	Not required	Not required
Typical mould shrinkage / %	1.5	2
Density / kgm-3	905	905
Price / Tonne / £	680	620
Tensile Strength / Mpa	33	25
Tensile Modulus / Gpa	1.4	1.0
Elongation at Break / %	150	300
Hardness / Rockwell "R" Scale	90	80
Notched Izod Impact / kJm-1	0.07	0.1
Heat Distortion Temp (HDT) @ 0.45 MPa / °C	105	100
Heat Distortion Temp (HDT) @ 1.80 MPa / °C	65	60
Volume Resistivity / logUm	19	19
Oxygen Index / %	17	17

3. METODE

3.1 Metodologi Penelitian

Tahapan proses penelitian digambarkan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

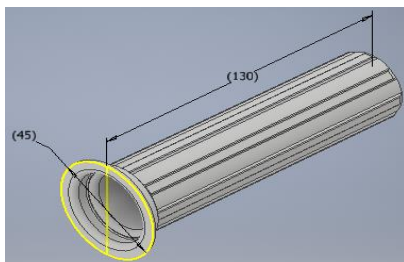
Kegiatan penelitian diawali dengan mengidentifikasi kebutuhan dan pengambilan data. Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan, dilakukan pembuatan model 3D produk dengan *software* Inventor. Model 3D produk ini digunakan dalam proses simulasi yang dilakukan pada *software* Moldflow untuk melihat proses injeksi plastik.

Optimasi dilakukan dengan proses analisis menggunakan metode *parametric study* terhadap variabel temperatur leleh material. Batas nilai dari temperatur leleh yang akan dianalisis adalah 180-280°C. Material plastik yang digunakan adalah PP daur ulang dan PP Homopolymer.

3.2 Data Terkumpul

a) Data Desain

Produk *under case* yang diproduksi memiliki bentuk silinder dengan ukuran Ø45x130 mm. Bahan baku material yang digunakan untuk membuat produk ini adalah PP. Desain dari produk *under case* di-tunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain produk *under case*

b) Data Material Plastik

Dalam produksi produk *under case*, digunakan 2 jenis material PP. Material tersebut adalah PP daur ulang dan PP Homopolymer. Utamanya, material yang digunakan adalah PP daur ulang. Karakteristik dari material daur ulang yang digunakan tersebut tidak diketahui secara pasti. Berdasarkan hasil *trial and error* diketahui bahwa temperatur leleh PP daur ulang tersebut berkisar antara 170-190°C.

Material PP lainnya yang digunakan adalah PP Homopolymer yang diproduksi oleh PT Chandra Asri Petrochemical. Temperatur leleh material ini berkisar antara 220-250°C [5]. Kedua material PP ini digunakan sebagai input material yang akan di analisis dalam proses simulasi.

c) Data Spesifikasi Mesin Injeksi

Produk *under case* diproduksi dengan menggunakan mesin Lien Yu Machinery dengan model D.95 yang merupakan mesin nomor 02 dengan jenis mesin EMPC-9000. Spesifikasi umum dari mesin injeksi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Mesin injeksi ini memiliki kapasitas 95 tonase dengan maksimal tekanan injeksi sebesar 2180 bar (218 MPa) untuk screw diameter 32 mm.

Tabel 2. Spesifikasi umum mesin injeksi EMPC-9000

Specification	Unit	Tipe model D95		
Screw diameter	mm	32	36	40
Max shot weight	g	130	164	203
Max injection pressure	bar	2180	1722	1395
Max locking force	tonne	95		

d) Data Trial Report Product

Data *trial report product* diperoleh dengan mengambil data pengaturan parameter yang digunakan pada mesin untuk memproduksi produk *under case*. Data ini akan digunakan sebagai input parameter dalam melakukan simulasi dan analisis.

Input parameter yang digunakan dalam proses simulasi dan analisis diambil dari data parameter yang digunakan pada mesin waktu produksi tanggal 15 dan 18 Februari 2019 saat *shift* kerja 1. Pada tanggal tersebut parameter proses yang digunakan pada mesin sama. Namun, persentase jumlah kegagalan produk *short mold* yang terjadi menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan. Diketahui temperatur leleh material sebesar 195°C dan tekanan injeksi sebesar 85 MPa. Proses injeksi tidak dilakukan proses *pre-heating* sehingga suhu cetakan yang digunakan 25°C.

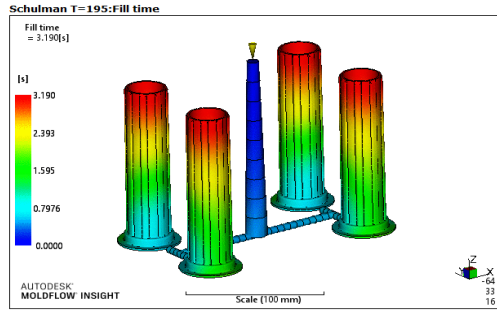
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Simulasi

a) Material PP Daur Ulang

Simulasi proses injeksi plastik dengan menggunakan material PP daur ulang menunjukkan bahwa seluruh bagian cetakan dapat terisi penuh. Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi cetakan dengan suhu pemanasan material sebesar 195°C adalah 3.19 detik. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.

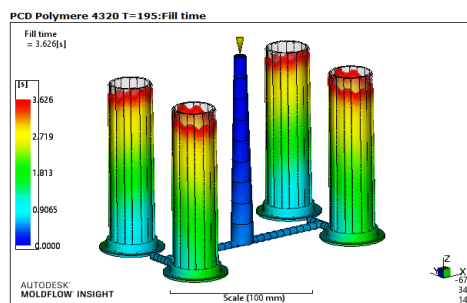


Gambar 4. Fill time material PP daur ulang (Polyflam RPP 1058UHF) pada $T=195^{\circ}\text{C}$

b) Material PP Homopolymer

Simulasi proses injeksi plastik dengan menggunakan material PP Homopolymer menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan dengan material PP daur ulang. Dengan input nilai parameter proses dan suhu pemanasan yang sama, pada waktu 3.626 detik material plastik belum dapat mengisi seluruh bagian cetakan.

Bagian cetakan yang tidak terisi material plastik ditunjukkan oleh bagian yang tidak memiliki warna dalam Gambar 5. Tidak terisinya seluruh bagian cetakan menandakan bahwa material PP daur ulang dan PP Homopolymer memiliki karakteristik sifat material yang berbeda.



Gambar 5. Fill time material PP Homopolymer (PP CS-10) pada $T=195^{\circ}\text{C}$

4.1.2 Hasil Optimasi

a) Material PP Daur Ulang

Data yang didapatkan dari proses optimasi dengan menggunakan metode *parametric study* untuk material PP daur ulang dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Nilai hasil optimasi variabel temperatur leleh material PP daur ulang

Melt temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Bulk temperature at end of fill ($^{\circ}\text{C}$)	Clamp force (tonne)	Injection pressure (MPa)	Wall shear stress (MPa)	Temperature at flow front ($^{\circ}\text{C}$)	Time to reach ejection temperature (s)
180	172.85	5.26	21.47	0.236	180.70	23.40
185	176.49	5.08	20.64	0.231	185.40	22.40
190	180.16	4.89	19.88	0.227	190.11	21.41
194	183.91	4.72	19.15	0.223	194.84	20.66
199	187.67	4.53	18.48	0.219	199.56	20.16
204	191.46	4.37	17.84	0.215	204.29	20.16
209	195.30	4.23	17.24	0.212	209.01	20.66
213	199.10	4.06	16.67	0.208	213.74	20.91
218	202.95	3.92	16.12	0.205	218.48	21.16
223	206.79	3.78	15.59	0.201	223.22	21.42
228	210.66	3.65	15.09	0.198	227.96	21.67
232	214.55	3.52	14.62	0.195	232.70	22.17
237	218.46	3.40	14.15	0.192	237.43	22.42
242	222.40	3.28	13.71	0.189	242.18	22.67
247	226.37	3.17	13.29	0.187	246.93	22.92
251	230.43	3.10	12.88	0.184	251.67	23.17
256	234.33	2.96	12.48	0.181	256.41	23.42
261	238.34	2.86	12.10	0.179	261.16	23.67
266	242.36	2.76	11.73	0.177	265.91	23.92
270	246.40	2.67	11.38	0.174	270.67	24.18
275	250.43	2.59	11.05	0.172	275.41	24.18
280	254.47	2.51	10.74	0.170	280.16	24.43

Dari batas nilai temperatur leleh material yang dianalisis, didapatkan nilai untuk masing-masing parameter pembanding dari setiap perubahan nilai temperatur. Terdapat 6 parameter pembanding, diantaranya: *bulk temperature at end of fill*, *clamp force*, *injection pressure*, *wall shear stress*, *temperature at flow front*, dan *time to reach ejection temperature*. Rentang nilai dari masing-masing parameter pembanding berdasarkan hasil analisis perubahan nilai temperatur adalah:

1. *Bulk temperatur at end of fill* :
[172.849 - 254.473] $^{\circ}\text{C}$
2. *Clamp force* :
[2.510 - 5.258] tonne
3. *Injection pressure* :
[10.7355 - 21.4666] MPa
4. *Wall shear stress* :
[0.1699 - 0.2359] MPa
5. *Temperature at flow front* :
[180.695 - 280.163] $^{\circ}\text{C}$
6. *Time ro reach ejection temperature* :
[20.1593 : 24.428] s

b) Material PP Homopolymer

Data yang didapatkan dari proses optimasi dengan menggunakan metode *parametric study* untuk material PP Homopolymer dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Nilai hasil optimasi variabel temperatur leleh material PP Homopolymer

Melt temperature (°C)	Bulk temperature at end of fill (°C)	Clamp force (tonne)	Injection pressure (MPa)	Wall shear stress (MPa)	Temperature at flow front (°C)	Time to eject temperature
180	173.03	11.79	74.12	0.707	182.39	10.7
185	177.36	11.87	71.65	0.688	187.05	11.0
190	181.67	12.19	69.42	0.669	191.73	11.3
194	185.88	12.44	67.31	0.648	196.43	11.5
199	190.12	12.66	65.35	0.628	201.09	11.6
204	194.30	12.76	63.47	0.608	205.72	12.3
209	198.41	12.83	61.67	0.589	210.36	12.5
213	202.51	12.86	59.91	0.570	215.06	12.6
218	206.57	12.89	58.19	0.551	219.75	13.0
223	210.63	12.89	56.51	0.533	224.43	13.3
228	214.70	12.90	54.87	0.516	229.11	13.5
232	218.78	12.89	53.27	0.499	233.81	14.0
237	222.86	12.87	51.72	0.484	238.48	14.3
242	226.91	12.77	50.22	0.468	243.17	14.5
247	230.96	12.62	48.76	0.453	247.87	14.5
251	234.87	12.40	47.35	0.440	252.54	14.6
256	238.76	12.14	46.00	0.426	257.22	15.0
261	242.65	11.86	44.70	0.413	261.91	15.3
266	246.54	11.58	43.45	0.400	266.58	15.6
270	250.41	11.30	42.24	0.388	271.28	15.8
275	254.28	11.03	41.09	0.377	276.00	16.1
280	258.14	10.75	39.98	0.367	280.72	16.1

Rentang nilai dari masing-masing parameter perbandingan terhadap perubahan nilai temperatur leleh material adalah:

1. *Bulk temperature at end of fill* :
[173.031 : 258.144] °C
2. *Clamp force* :
[10.7444 : 12.8992] tonne
3. *Injection pressure* :
[39.9756 : 74.1177] MPa
4. *Wall shear stress* :
[0.3668 : 0.7072] MPa
5. *Temperature at flow front* :
[182.392 : 280.717] °C
6. *Time to reach ejection temperature* :
[10.7872 : 16.1025] s

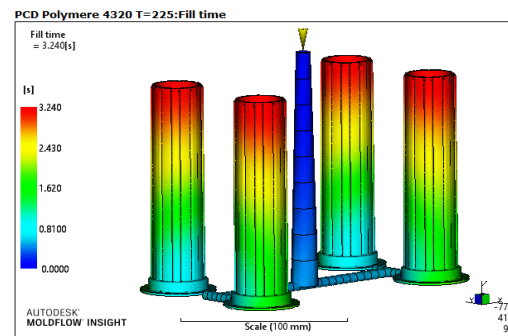
Hasil nilai yang didapatkan dari proses optimasi kedua material tersebut akan diolah menjadi sebuah grafik untuk mencari nilai optimal dari temperatur leleh material PP daur ulang dan PP Homopolymer. Nilai optimal tersebut dipilih berdasarkan analisis dampak yang terjadi dan pengaruh terhadap hasil cetakan.

4.1.3 Hasil Uji Coba

Proses uji coba dilakukan sebanyak 2x pada simulasi *software* Moldflow untuk masing-masing material. Proses uji coba pertama dilakukan dengan menggunakan batas waktu injeksi selama 3 detik. Batas waktu injeksi ini disesuaikan dengan waktu injeksi yang dilakukan di perusahaan. Proses uji coba kedua dilakukan dengan waktu injeksi dibuat secara otomatis. Tujuan dari waktu injeksi dibuat secara otomatis adalah untuk mengetahui waktu injeksi terbaik yang diperkirakan oleh *software*. Kedua proses ini diatur untuk menggunakan input nilai parameter proses yang sama dengan proses simulasi sebelumnya dan dengan tekanan injeksi maksimum yaitu 85MPa.

a) Material PP Homopolymer

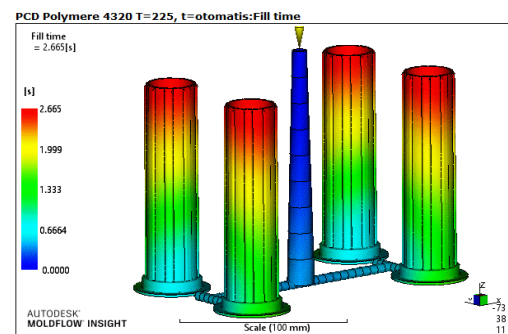
Simulasi aliran pengisian material PP Homopolymer dengan temperatur leleh material 225°C menunjukkan bahwa seluruh bagian cetakan terisi penuh oleh material plastik baik untuk simulasi dengan batas waktu injeksi 3 detik maupun secara otomatis. Hasil simulasi untuk waktu injeksi selama 3 detik dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. *Fill time* material PP Homopolymer (PP CS-10) pada T=225°C

Dari gambar tersebut terlihat waktu injeksi yang dibutuhkan untuk mengisi seluruh bagian cetakan adalah 3.24 detik. Meskipun waktu pengisian material lebih lama 0.24 detik dari waktu yang ditetapkan, cetakan tetap terisi 100% yang berarti tidak terjadi cacat *short mold*. Tekanan injeksi maksimum yang diberikan juga masih berada dibawah batas 85MPa yaitu 72.49 MPa.

Dengan input nilai parameter proses dan suhu pemanasan yang sama, waktu pengisian material PP Homopolymer jauh lebih cepat bila waktu injeksi dibuat secara otomatis. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 7. Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi seluruh bagian cetakan adalah 2.665 detik. Tekanan injeksi maksimum yang digunakan sedikit lebih besar yaitu 74.17 MPa.

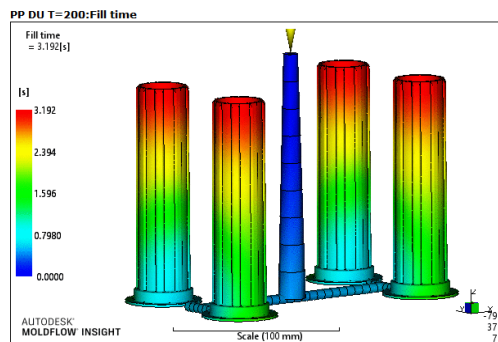


Gambar 7. *Fill time* material PP Homopolymer

(PP CS-10) pada $T=225^{\circ}\text{C}$,
 $t=\text{otomatis}$

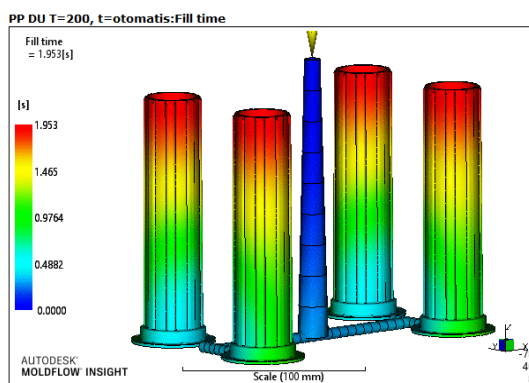
b) Material PP Daur Ulang

Simulasi aliran pengisian material PP daur ulang dengan temperatur leleh material 200°C dan batas waktu injeksi selama 3 detik menunjukkan bahwa seluruh bagian cetakan terisi penuh oleh material plastik dengan waktu pengisian sama dengan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi cetakan dengan temperatur leleh material 195°C yaitu 3.19 detik. Tekanan injeksi maksimum yang dibutuhkan untuk mendorong material masuk ke dalam cetakan juga jauh lebih kecil dibandingkan tekanan injeksi pada material PP Homopolymer yaitu 24.3 MPa. Hasil simulasi untuk waktu injeksi selama 3 detik dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Fill time material PP daur ulang (Polyflam RPP1058UHF) pada $T=200^{\circ}\text{C}$

Sama seperti material PP Homopolymer, waktu pengisian material PP daur ulang juga jauh lebih cepat bila waktu injeksi dibuat secara otomatis. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 9. Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi seluruh bagian cetakan adalah 1.953 detik. Tekanan injeksi maksimum yang digunakan sedikit lebih besar yaitu 25.78 MPa.



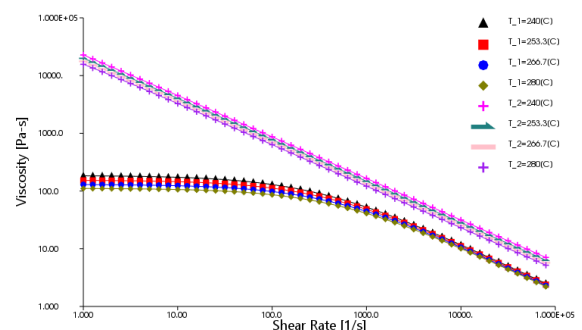
Gambar 9. Fill time material PP daur ulang (Polyflam RPP1058UHF) pada $T=200^{\circ}\text{C}$, $t=\text{otomatis}$

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Penyebab Cacat Short Mold

Hasil simulasi untuk proses analisis cacat *short mold* dengan temperatur leleh 195°C menunjukkan bahwa material PP Homopolymer mengalami cacat *short mold*. Perbedaan hasil simulasi proses injeksi plastik kedua material dengan input nilai parameter proses yang sama, menunjukkan adanya perbedaan sifat dari kedua material meskipun keduanya masih berjenis PP.

Perbedaan sifat tersebut meliputi kekuatan tarik, kekuatan geser, titik lebur, viskositas pada suhu tertentu, dan yang lainnya. Dari semua perbedaan itu, yang paling mempengaruhi proses injeksi plastik adalah viskositas dari suatu material. Viskositas ini mempengaruhi laju aliran material untuk mengisi rongga cetakan. Dapat dilihat pada Gambar 10 material PP daur ulang memiliki viskositas yang jauh lebih rendah dibandingkan PP Homopolymer. Hal tersebut menyebabkan PP Homopolymer membutuhkan suhu pemanasan yang lebih tinggi daripada PP daur ulang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa cacat *short mold* yang terjadi diakibatkan oleh penggunaan 2 bahan baku material dengan karakteristik sifat dari masing-masing material yang berbeda. Akibat perbedaan karakteristik sifat material, maka temperatur leleh untuk masing-masing material memiliki nilai optimal yang berbeda.

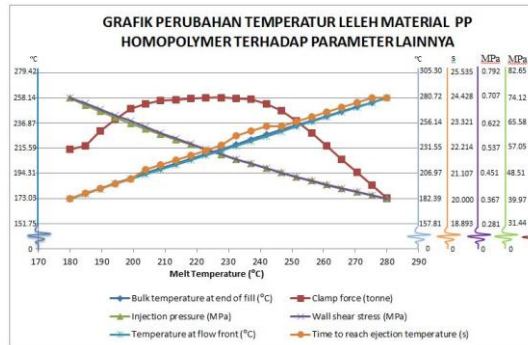


Gambar 10. Grafik perubahan bentuk dan mengalir-nya material (T_1 =PP daur ulang, T_2 =PP Homo-polymer)

4.2.2 Optimasi

Hasil pengolahan data dari analisis proses optimasi untuk material PP Homopolymer ditunjukkan pada Gambar 11. Hasil tersebut

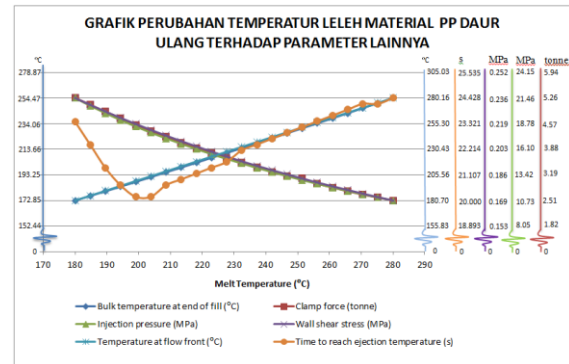
berupa grafik yang menunjukkan pengaruh perubahan nilai temperatur leleh material terhadap parameter pembandingan. Sumbu x menunjukkan nilai temperatur leleh material yang dianalisis dan sumbu y merupakan nilai dari parameter pembandingan yang didapatkan dari hasil analisis.



Gambar 11. Grafik perubahan temperatur leleh material PP Homopolymer terhadap parameter pembandingan

Nilai optimal dari temperatur leleh material PP Homopolymer yang dipilih adalah 225°C. Suhu tersebut dipilih karena merupakan kombinasi yang sesuai dari setiap nilai parameter pembandingan. Semakin besar nilai temperatur leleh material yang digunakan, maka semakin kecil tekanan injeksi yang dibutuhkan. Jika tekanan injeksi yang dibutuhkan kecil, maka tenaga atau biaya listrik yang digunakan dapat diminimalisir. Selain itu, tekanan injeksi yang kecil dapat mengurangi tegangan geser yang terjadi pada permukaan material. Jadi, semakin besar nilai temperatur leleh material, maka semakin kecil tenaga dan tegangan geser yang terjadi. Namun, jika temperatur leleh material terlalu besar (>225°C) maka selisih temperatur awal dan akhir material akan semakin jauh/besar. Hal tersebut dapat mengakibatkan proses pengepakan menjadi tidak efektif sehingga menyebabkan penyusutan yang tidak merata. Dampak lainnya dari nilai temperatur leleh yang tinggi adalah waktu satu siklus injeksi menjadi lebih lama akibat proses pendinginan yang lebih lama dan jika proses injeksi menjadi lebih lama hal tersebut berdampak pada biaya produksi.

Terdapat sedikit perbedaan bentuk grafik dari hasil pengolahan data analisis untuk material PP daur ulang. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 12.



Gambar 12. Grafik perubahan temperatur leleh material PP daur ulang terhadap parameter pembandingan

Nilai optimal dari material PP daur ulang dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan waktu untuk mencapai suhu eaksi yang paling cepat. Hal ini dikarenakan pada suhu pemanasan 195°C material PP daur ulang sudah dapat mengisi seluruh bagian cetakan sehingga tidak terjadi cacat short mold. Oleh karena itu, optimasi yang paling baik dilakukan untuk material PP daur ulang adalah mencari nilai optimal dari temperatur leleh material yang dapat mempersingkat waktu proses injeksi.

Waktu tercepat untuk mencapai suhu eaksi adalah pada saat temperatur leleh material sebesar 199°C dan 204°C. Dari hasil tersebut nilai optimal dari temperatur leleh material PP daur ulang yang dipilih adalah 200°C. Meskipun kombinasi nilai yang sesuai untuk parameter pembandingan lainnya berada pada suhu 225°C, tetapi waktu untuk mencapai suhu eaksi pada suhu 200°C lebih rendah dibandingkan suhu 225°C dan suhu pemanasan lainnya.

4.2.3 Uji Coba

a) Material PP Homopolymer

Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan *software* Moldflow dapat disimpulkan bahwa proses injeksi plastik dengan suhu pemanasan material PP Homopolymer 225°C tidak mengalami *cacat short mold*. Waktu injeksi yang dibutuhkan untuk mengisi seluruh bagian cetakan pada suhu pemanasan ini jauh lebih cepat dibandingkan dengan suhu pemanasan material 195°C. Dalam simulasi, batas waktu injeksi yang ditentukan tidak mutlak menetapkan waktu injeksi selama 3 detik. Hal itu dikarenakan *software* Moldflow menentukan waktu pengisian yang sesuai. Sehingga, waktu injeksi dapat lebih cepat

maupun lebih lama dari yang ditargetkan. Pengisian ini juga bergantung pada jenis material dan mesin injeksi yang digunakan.

Waktu injeksi dengan pengaturan secara otomatis jauh lebih cepat karena pengisian cetakan tidak ditargetkan untuk terisi pada waktu tertentu. Oleh karena itu, tekanan injeksi yang diberikan untuk mendorong material plastik juga lebih besar sehingga terdapat perbedaan kecepatan alir material dalam cetakan. Kedua hasil uji coba pada *software* Moldflow merupakan hasil optimasi yang baik untuk proses injeksi.

b) Material PP Daur Ulang

Hasil uji coba dengan batas waktu injeksi 3 detik membutuhkan waktu selama 3.19 detik untuk mengisi seluruh bagian cetakan. Waktu ini sama dengan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi cetakan dengan temperatur leleh material 195°C. Meskipun waktu injeksi sama, tetapi tekanan injeksi yang digunakan jauh lebih kecil sehingga dapat mengurangi biaya produksi. waktu untuk mencapai suhu eaksi lebih cepat pada suhu 200°C.

5. KESIMPULAN

Faktor yang mempengaruhi terjadinya cacat *short mold* dalam produksi produk *under case* adalah nilai temperatur leleh material yang tidak tepat akibat penggunaan bahan baku material yang berbeda. Dari hasil optimasi diketahui bahwa nilai optimal dari temperatur leleh material PP Homopolymer sebesar 225°C dan PP daur ulang sebesar

200°C. Hal tersebut dibuktikan dengan proses uji coba yang dilakukan pada simulasi *software* menggunakan nilai optimal temperatur leleh material. Hasil uji coba menunjukkan bahwa proses injeksi plastik tidak mengalami cacat *short mold* untuk kedua jenis material dan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi cetakan menjadi jauh lebih cepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Hans Rudolf Christian yang selalu memberikan dukungan dan membantu penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shoemaker, Jay. *Moldflow Design Guide*. 1st. Framingham : Moldflow Corporation, 2006.
- [2] Bryce, Douglas M. *Plastic Injection Molding. Material Selection and Product Design Fundamentals*. USA : Society of Manufacturing Engineers, 1997, Vol. II.
- [3] Kutz, Myer. *Applied Plastics Engineering Handbook, Processing, Materials, and Applications*. 2nd. USA : Plastics Design Library, 2017
- [4] Subramanian, Muralisrinivasan Natamai. *Basics of Polymers*. New York : Momentum Press, 2015. ISBN-13: 978-1-60650-583-0.
- [5] *TDS Homopolymer Polypropylene*. Banten : PT. Chandra Asri Petrochemical, Tbk, 2016.