

Simulasi dan Studi Eksperimental Proses Injeksi Plastik Berpendingin Konvensional

Agung Kaswadi^{1,a}, Sigit Yoewono^{2,b}

¹Politeknik Manufaktur Astra

Jl. Gaya Motor Raya No 8, Jakarta, Indonesia 14330

²Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara-ITB,

Jl. Ganesha 10, Bandung, Indonesia 40132

^aagung.kaswadi@polman.astra.ac.id, ^bsigit@ftmd.itb.ac.id

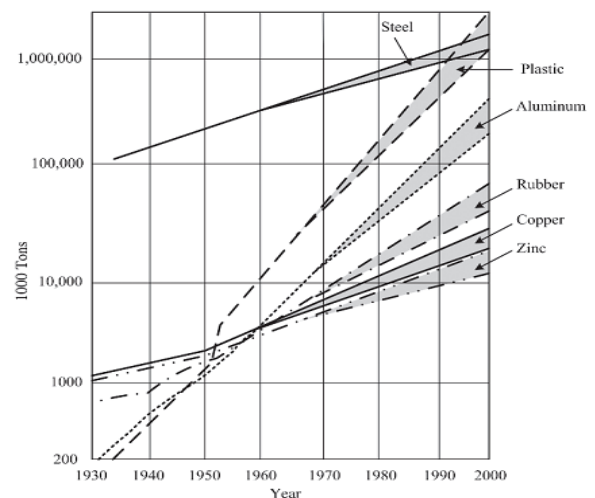
Abstrak

Proses cetak injeksi plastik dengan saluran pendingin konvensional banyak dipakai pada industri plastik di Indonesia. Saluran pendingin konvensional digunakan karena mudah dan murah dalam pembuatan. Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan simulasi menggunakan saluran pendingin konvensional untuk mengetahui waktu siklus. Selanjutnya, pada penelitian ini akan dibandingkan waktu siklus hasil simulasi dengan waktu siklus secara eksperimental. Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui apakah hasil simulasi dan eksperimen mempunyai nilai yang setara dan valid. Studi kasus dilakukan pada produk yang berbentuk mangkok yang terbuat dari material polimer termoplastik PP AZ564 yang mempunyai *melt temperature* antara 180-260°C. Produk dicetak dengan cetakan 1 rongga (*cavity*) dengan sistem cetakan 2 pelat. Gambar 3D produk dibuat dengan perangkat lunak NX 8 dan simulasi proses menggunakan perangkat lunak Autodesk Moldflow Insight 2010. Parameter simulasi yang ditentukan adalah *melt temperature*, *injection pressure*, *packing time* dan *packing pressure*. Hasil penelitian dengan simulasi menunjukkan bahwa waktu siklus proses rata-rata sebesar 38.69 s, sedangkan hasil eksperimen rata-rata sebesar 36.5 s. Perbedaan waktu siklus proses eksperimen rata-rata adalah 2.19 s atau 5.7% lebih rendah terhadap waktu siklus pada simulasi. Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa simulasi cukup bisa diandalkan untuk mengetahui parameter-parameter proses injeksi. Selain itu hasil perbandingan *bulk temperature* juga menghasilkan nilai yang hampir sama, sehingga simulasi tersebut cukup valid.

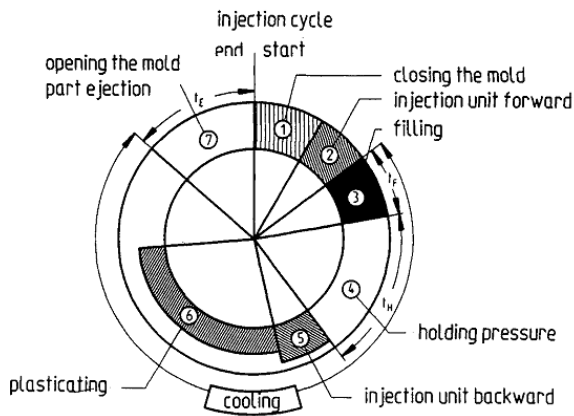
Kata kunci: injeksi plastik, pendingin konvensional, Moldflow, waktu siklus, *bulk temperature*

Pendahuluan

Pada saat ini produk yang menggunakan bahan baku plastik sudah semakin banyak. Produk itu terdapat pada hampir semua peralatan, baik rumah tangga, elektronik hingga produk mutakhir seperti roket dan pesawat terbang. Selain itu juga ditunjukkan dengan adanya konsumsi plastik yang terus meningkat di dunia, terutama di negara berkembang seperti Indonesia (Gambar 1). Pemakaian plastik dewasa ini didasarkan pada kemampuan produksi massa yang tinggi, mempunyai stabilitas bentuk yang baik pada suhu ruangan, mudah dibentuk dan mempunyai kualitas permukaan yang bagus.



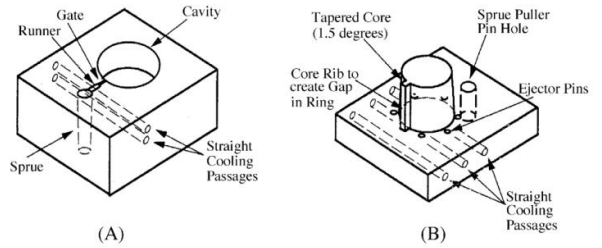
Gambar 1. Konsumsi material dunia berdasarkan berat [1]



Gambar 1. Siklus proses cetak injeksi plastik[2]

Proses cetak injeksi plastik (*plastic injection molding*) adalah salah satu proses pembuatan plastik yang digunakan secara luas dewasa ini karena kemampuannya memproduksi barang secara massa dan cepat[1]. Terdapat tiga fase utama dalam satu siklus proses pembuatan produk plastik dengan cetak injeksi. Fase pertama diperlukan untuk mengisi rongga cetakan dengan polimer cair (*injection/filling step*). Fase kedua adalah menambahkan bahan plastik sampai berat yang diinginkan dengan polimer cair (*packing step*). Fase ketiga adalah penurunan suhu polimer sampai mencapai temperatur eaksi (*cooling phase*). Ketiga fase tersebut sangat berkaitan dan juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti karakteristik material, kondisi mesin cetak injeksi, desain cetakan, parameter pemrosesan, pengaruh kualitas akhir produk dalam hal penampilan produk dan kekuatan.

Fase ketiga atau proses pendinginan memerlukan waktu yang paling panjang pada proses pencetakan plastik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pendinginan pada proses cetak injeksi plastik merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan waktu siklus proses. Sementara itu saluran pendingin konvensional banyak dipakai pada proses cetak injeksi plastik karena bentuknya yang lurus sehingga memudahkan proses pembuatan. Pembuatan lubang saluran dapat menggunakan proses gurdi. Lubang saluran pendingin dibuat dengan jumlah dan jarak tertentu pada bagian *core* dan *cavity*[3], seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



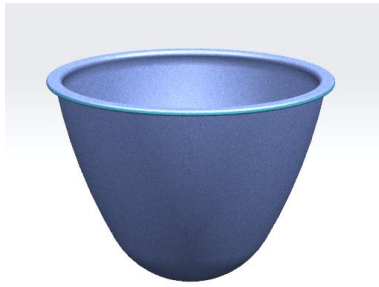
Gambar 3. Sistem pendingin konvensional, (A) *cavity*, (B) *core*[3]

Parameter proses cetak injeksi plastik mempunyai interaksi yang kompleks diantara masing-masing parameter, untuk menghasilkan waktu siklus yang optimal dan produk yang berkualitas[4]. Sebuah metodologi numerik atau *Computer Aided Engineering* sangat berguna untuk mengevaluasi komponen dengan geometri yang kompleks meskipun biaya komputasi yang dikeluarkan menjadi mahal. Namun, jika dibandingkan dengan tanpa dilakukan analisis awal atau hanya dengan sistem *trial-and-error*, biaya yang dikeluarkan akibat masalah yang ditimbulkan pada kemudian hari, akan lebih murah. Untuk meyakinkan apakah metode pendekatan numerik atau simulasi dapat diandalkan atau tidak maka perlu dilakukan perbandingan hasil simulasi dan hasil eksperimen.

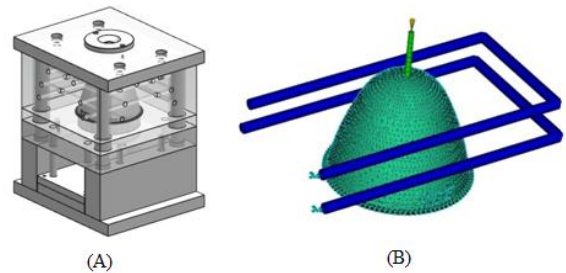
Metodologi Penelitian

Studi kasus untuk penelitian ini menggunakan produk mangkok sadap karet ukuran kapasitas 0.7 liter yang terbuat dari material polimer termoplastik PP AZ564, seperti yang digunakan pada penelitian sebelumnya[5]. Material PP jenis ini mempunyai fluiditas yang baik, sehingga mampu diproses pada temperatur leleh yang rendah serta tekanan injeksi yang rendah. Selain itu hasil produk juga cukup ulet dan mempunyai kualitas permukaan yang baik.

Pemodelan 3D produk dan perancangan cetakan menggunakan perangkat lunak NX 8. Produk ini dibuat dengan menggunakan 1 rongga cetak (*cavity*) dalam satu cetakan (Gambar 4). Cetakan dirancang berdasarkan gambar model produk 3D dan diperbesar sebesar 0.5% sesuai dengan besarnya



Gambar 4. Model 3D produk mangkok sadap karet



Gambar 5. Konstruksi cetakan tipe 2 pelat(A), *meshing* produk dan saluran pendingin konvensional (B)

Tabel 1. Data produk dan material

<i>Code</i>	AZ564
<i>Manufacturer</i>	Sumitomo Chemical
<i>Material Structure</i>	Crystalline
<i>Melt Temperature</i>	180-260 °C
<i>Max. Shear Stress</i>	0.30 MPa
<i>Melt Density</i>	0.78 g/cm ³
<i>Shrinkage Factor</i>	0.5%
<i>Part Dimension</i>	Ø 136 x 100 mm
<i>Standard Thickness</i>	1 mm
<i>Projection Area</i>	147.93 cm ²
<i>Part Weight</i>	50 g

shrinkage material plastik PP. Desain saluran pendingin ditentukan oleh tiga faktor yaitu diameter saluran, jarak antar saluran pendingin dan jarak dinding cetakan dengan pusat saluran pendingin[6]. Adapun data-data material yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Proses selanjutnya, gambar model 3D mangkok sadap karet diekspor ke format gambar STL (*STereoLithography*) agar bisa diproses dengan perangkat lunak Moldflow Insight. Ada 3 informasi gambar yang dibutuhkan untuk proses *meshing* yaitu gambar produk, gambar saluran pendingin konvensional dan gambar saluran pengisian. Rata-rata nilai *aspect ratio* yang dihasilkan dari proses *meshing* sebesar 3.03 : 1, hal ini sudah memenuhi syarat di bawah 6 : 1. Sedangkan besarnya persentase *match mesh* mencapai 87%, hal ini cukup untuk menganalisis efek pendingin terhadap waktu siklus.

Pada Gambar 5 ditunjukkan konstruksi cetakan tipe 2 pelat (A) dan juga hasil *meshing* produk mangkok sadap dengan

Tabel 2. Parameter awal untuk proses simulasi

<i>Parameters</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
<i>Melt Temperature</i>	220	°C
<i>Ejection Temperature</i>	120	°C
<i>Mold Temperature, T_w</i>	50	°C
<i>Injection Pressure</i>	22	MPa
<i>Packing Pressure</i>	19	MPa
<i>Packing Time</i>	10	s
<i>Velocity of Cooling Water</i>	1	m/s
<i>Temperature of Cooling Water</i>	25	°C
<i>Mold Opening Time</i>	5	s
<i>Reynold Number</i>	2500	

pendingin konvensional (B). Data-data hasil *meshing* produk sebagai berikut:

- *Mesh type* : Dual domain
- *Number of nodes* : 6250
- *Total number of part elements*: 11968
- *Total number of runner elements*: 18
- *Total number of mold elements*: 601
- *Total number of circuit elements*: 253

Parameter lain yang juga diperlukan terkait dengan material cavity, yaitu *specific heat* dan *thermal conductivity*. Cetakan menggunakan baja P20 yang mana nilai *specific heat* sebesar 460 J/kg^oK dan nilai *thermal conductivity* sebesar 41 W/m^oK.

Parameter injeksi untuk simulasi ditentukan terlebih dahulu berdasarkan data-data tersebut di atas. Untuk data *injection pressure*, *packing pressure*, *packing time* dan *cooling time* diperoleh dengan menjalankan

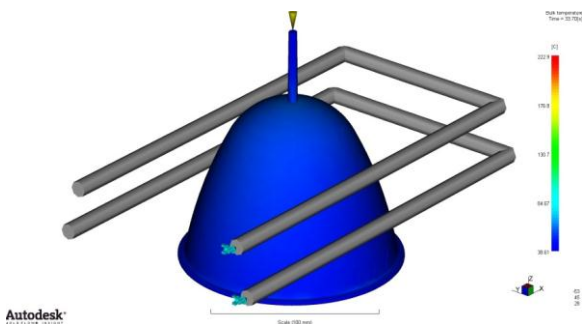
simulasi awal dengan pilihan otomatis. Setelah data awal diperoleh, parameter-parameter tersebut digunakan sebagai masukan untuk menjalankan proses simulasi berikutnya. Data-data parameter awal ditunjukkan pada Tabel 2.

Hasil dan Analisis

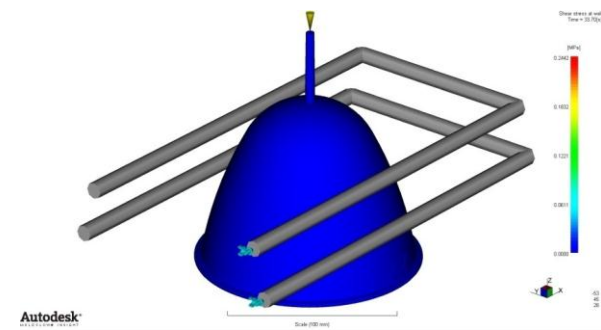
Dari hasil simulasi diperoleh parameter respon untuk temperatur rata-rata produk (*bulk temperature*) sebesar $\pm 50.57^{\circ}\text{C}$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Temperatur rata-rata ini adalah temperatur produk pada saat akan diejeksi dari cetakan. Pada Gambar 7 ditunjukkan respon *volumetric shrinkage* rata-rata sebesar 5.52 % dan masih dibawah nilai maksimum yang diijinkan sebesar 7%. Sedangkan hasil respon *wall shear stress* sebesar 0.12MPa juga masih dibawah nilai maksimum sebesar 0.3 MPa (Gambar 8).

Simulasi ini menghasilkan *cycle time* sebesar 38.69 s, respon *fill time* sebesar 1.08 s dan *cooling time* sebesar 22 s. Simulasi dilakukan sebanyak 5 kali untuk melihat rata-rata *cycle time* dan validitas data. Hasil simulasi selanjutnya dibandingkan dengan hasil eksperimen di mesin cetak injeksi.

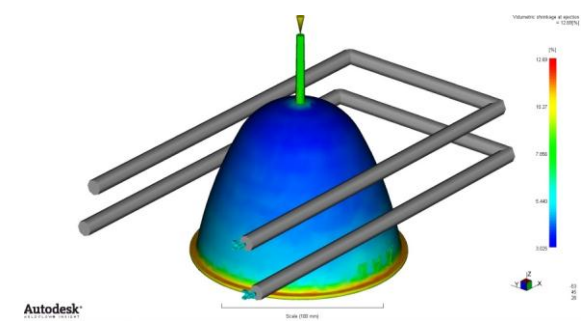
Pada tahap berikutnya dilakukan eksperimen proses cetak injeksi di mesin, untuk dibandingkan dengan hasil simulasi. Mesin yang digunakan pada percobaan ini adalah mesin Hwa Chin 160SE yang berkapasitas 160 ton, dengan ruang pengekaman 450 mm x 500 mm dan *injection rate* 180 cm³/s. Parameter-parameter yang dihasilkan simulasi seperti: *melt temperature*, *injection pressure*, *packing pressure*, *packing timedan cooling time*, digunakan untuk penyetelan parameter mesin cetak injeksi. Untuk menyetel *ram speed* agar dapat mencapai *fill time* 1 s dibutuhkan penyesuaian dengan *injection rate* mesin yang dipakai. Mesin mempunyai *injection rate* 180 cm³/s, sehingga dengan volume produk 59.23 cm³ dibutuhkan *ram speed* 32% dari kecepatan maksimum. Adapun data-data mesin ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 6. Profil respon *bulk temperature*



Gambar 8. Profil respon *wall shear stress*



Gambar 7. Profil respon *volumetric shrinkage*

Tabel 3. Spesifikasi mesin cetak injeksi

<i>Specifications</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
<i>Clamping Force</i>	160	ton
<i>Screw Diameter</i>	42	mm
<i>Injection Pressure</i>	1440	kg/cm ²
<i>Theoretical Shot Volume</i>	276	cm ³
<i>Shot Weight</i>	248	g
<i>Injection Rate</i>	180	cm ³ /sec
<i>Screw Revolving Speed</i>	0 - 276	rpm
<i>Clamping Stroke</i>	500	mm

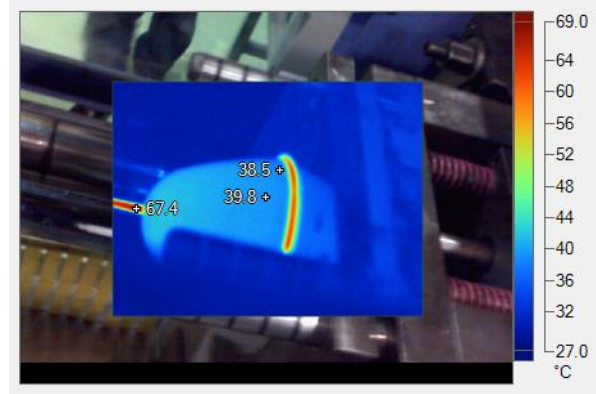
Tabel 4. Perbandingan hasil simulasi dan eksperimen

Order	Cycle time (s)	
	Simulation	Experiments
1	38.69	38.69
2	38.69	37.67
3	38.69	36.23
4	38.69	35.93
5	38.69	36.33
6		36.07
7		36.03
8		36.04
9		36.03
10		36.03
Average	38.69	36.50

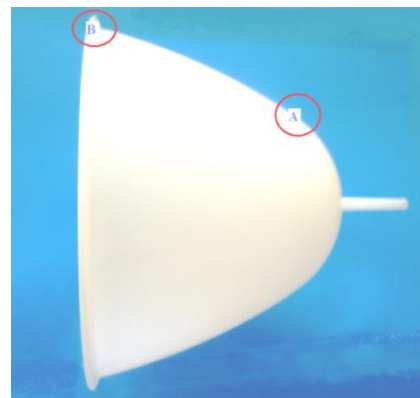
Eksperimen di mesin cetak injeksi dilakukan sebanyak 10 kali dan data yang diperoleh adalah *cycle time*. Pada Tabel 4 ditunjukkan rata-rata *cycle time* sebesar 36.50 s, sehingga terjadi selisih 2.19 s lebih rendah dari hasil simulasi. Selain itu profil temperatur yang didapat pada proses eksperimen juga dibandingkan dengan data-data simulasi untuk lebih meyakinkan bahwa simulasi bisa menjadi acuan yang valid. Simulasi menghasilkan temperatur rata-rata produk setelah selesai proses pemadatan dan akan diejeksi adalah sebesar 50.57°C, dengan temperatur minimum 39.98°C dan maksimum 65.74°C. Sedangkan hasil eksperimen mempunyai nilai temperatur minimum 38.50°C dan maksimum 67.4°C dengan rata-rata sebesar 46.5°C, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

Profil temperatur rata-rata produk mempunyai perbedaan sebesar 4.17°C lebih rendah dibandingkan hasil simulasi. Hal ini dikarenakan pengambilan data temperatur produk dilakukan sesaat setelah cetakan dibuka dan produk telah berhubungan dengan udara luar. Sementara hasil simulasi merupakan kondisi ideal sesaat sebelum diejeksi dari cetakan.

Eksperimen juga dilakukan dengan mematikan saluran pendingin untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil produk dengan penyetelan waktu pendinginan 22 s. Dari eksperimen dapat dilihat bahwa produk mengalami cacat pada ujung dan tengah,



Gambar 9. Profil temperatur produk hasil cetak injeksi



Gambar 10. Produk mengalami cacat jika tanpa pendingin

seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 bagian A dan B. Hal ini dikarenakan temperatur produk masih tinggi saat akan diejeksi.

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah perbedaan waktu siklus proses eksperimen rata-rata adalah 2.19 s atau 5.7% lebih rendah terhadap waktu siklus pada simulasi. Sedangkan temperatur rata-rata produk hasil eksperimen mempunyai selisih 4.17°C lebih rendah terhadap hasil simulasi. Hasil ini dapat dikatakan bahwa simulasi cukup bisa diandalkan untuk mengetahui parameter-parameter proses injeksi dan hasilnya dikatakan valid. Hasil simulasi dapat menjadi acuan sehingga mengurangi proses *trial-and-error*. Sistem pendingin cetakan juga mempunyai pengaruh yang besar pada kualitas

produk hasil cetakan, terbukti jika tanpa pendinginan produk mengalami cacat.

Referensi

- [1] D.V. Rosato, M.G. Rosato, *Injection Molding Handbook*, 3rd ed., Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [2] G. Pötsch, W. Michaeli, *Injection Molding an Introduction*, Hanser Verlag, 2008.
- [3] E. Sachs, et al., Production of injection molding tooling with conformal cooling channels using the three dimensional printing process, *Polymer Engineering and Science*, 40-5, (2000), 1232–1247.
- [4] H. Zhou, *Computer Modeling for Injection Molding: Simulation, Optimization, and Control*, John Wiley & Sons. Inc., Canada, 2013, pp 8 & 38.
- [5] A. Kaswadi, *Studi Eksperimental Proses Cetak Injeksi Plastik dengan Mengaplikasikan Saluran Pendingin Konformal dan Optimalisasi Parameter*, Tesis Magister Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung, 2015.
- [6] H.S. Park, X.P. Dang, *Design and Simulation-Based Optimization of Cooling Channels for Plastic Injection Mold*, New Technologies - Trends, Innovations and Research, ISBN: 978-953-51-0480-3, InTech, (2012).