

ANALISIS KESERAGAMAN PENDINGINAN PRODUK PLASTIK INJEKSI *MOLDING* DENGAN VARIASI SISTEM PENDINGIN

(*SIMULTANEOUS COOLING ANALYSIS OF INJECTION MOLDING PLASTIC PRODUCTS WITH COOLING SYSTEM VARIATIONS*)

Angger Bagus Prasetiyo¹, Fauzun², Azhim Azyratul Azmi³, Rizqi Ilmal Yaqin⁴, dan Sigit Haryo Pranoto⁵

¹Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

²Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

³Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

⁴Program Studi Permesinan Kapal Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai

⁵Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

email: anggerbprasetiyo@gmail.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat menganalisis keseragaman pendinginan produk plastik injeksi molding dengan variasi sistem pendingin menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Variasi sistem pendinginan ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh sistem pendingin terhadap keseragaman pendinginan produk plastik. Studi kasus pada penelitian ini menggunakan produk tempat teh *sachet*. Material produk plastik yang digunakan adalah Polypropylene yang dipanaskan dengan suhu 490°K. Pembuatan *Computer-Aided Design (CAD)* produk dilengkapi dengan sistem pendingin pada masing-masing variasi. Desain gambar *mold* disederhanakan menjadi bagian *cavity* dan *core* dengan menggunakan *Software Solidwork 2015*. Fluida pendingin menggunakan air dan *mold*-nya menggunakan material *steel*. *Boundary condition* pada produk plastik menggunakan *pressure inlet*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan metode CFD variasi sistem pendinginan yang diusulkan mampu menganalisis keseragaman pendinginan produk plastik injeksi *molding*. Penggunaan *conformal cooling channel system* dengan menggunakan metode CFD menghasilkan penurunan temperatur yang lebih seragam dibandingkan dengan penurunan temperatur pada *straight cooling channel*. Pada penelitian ini, variasi pendingin *conformal cooling channel* lebih baik dibandingkan dengan *straight cooling channel*.

Kata kunci: *sistem pendinginan, injeksi molding, Computational Fluid Dynamics*

Abstract

This study was aimed at analyzing the simultaneous cooling process of injection molding plastic products with a variety of cooling systems using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method. This cooling system variation was intended to determine the effect of the cooling system on simultaneous cooling process of plastic products. This case study used a tea *sachet* product. The plastic product material used was Polypropylene. It heated at a temperature of 490 ° K. The manufacture of Computer-Aided Design (CAD) products was equipped with a cooling system in each variation. The mold drawing design was simplified into cavity and core parts by using Solidwork 2015 Software. Water was used as the cooling fluid while steel material was used as the mold. A pressure inlet was used as a boundary conditions for the plastic products. The simulation results show that the used of CFD method in cooling system is able to analyze the simultaneous cooling of injection molding plastic products. The use of conformal cooling channel system using CFD method produces more simultaneous temperature drop compared to the straight cooling channel. In this study, conformal cooling channel variation is better than straight cooling channel.

Keywords: *cooling channel, injection molding, VOF*

PENDAHULUAN

Pada saat ini, banyak sekali produk-produk berbahan plastik yang beredar di kalangan masyarakat kecil sampai menengah keatas. Hal ini menunjukkan kebutuhan bahan plastik yang sangat besar sehingga membuka peluang bisnis para pengusaha plastik untuk berlomba-lomba membuat berbagai macam produk berbahan plastik. Bahan plastik mempunyai sifat mudah dibentuk, ringan, dan murah. Pengolahan material plastik yang sering kita jumpai dalam dunia industri plastik salah satunya dengan metode injeksi *molding*. Proses pendinginan ini memakan porsi besar dalam siklus produksi sehingga menimbulkan biaya yang tinggi produksi.

Proses injeksi *molding* merupakan proses multifungsi untuk mendapatkan berbagai ukuran dan kompleksitas bentuk produk yang terbuat dari bahan termoplastik dengan temperatur dan tekanan yang tinggi (Zheng, Taner, & Fan, 2011). Proses injeksi *molding* melibatkan proses mekanik dan *thermal* sehingga setiap prosesnya akan berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Kegagalan atau cacat produk diakibatkan terjadinya proses yang kurang sempurna. Cacat produk meliputi cacat penyusutan (*shrinkage*), *warpage*, *weld-line*, *sink-maks*, dan *residual stress*.

Teknologi yang berkembang dengan pesat dapat mensimulasikan suatu model

desain untuk mencari kegagalan yang terjadi. *Finite element analysis* merupakan salah satu solusi desainer untuk mengetahui umur kelelahan suatu model dan daerah rawan kegagalan pada suatu model (Yaqin, Prasetyo, Pristiyanasyah, Amrullah, & Pakpahan, 2020). Parameter yang mempengaruhi hasil injeksi di antaranya *holding time*, *inject time*, waktu pendinginan, temperatur *molding*, dan lain-lain. Apabila salah satu parameter proses injeksi tersebut diabaikan akan timbul cacat *shrinkage* pada benda hasil cetakan (Santoso, 2014).

Hsu, Wang, Huang, dan Chang (2013) menganalisis cetakan dengan geometri yang tidak beraturan dapat menciptakan panas baru dan cacat produk sehingga mereka menggunakan teknik simulasi 3D untuk memprediksi waktu pendinginan dan membandingkan hasil cetakannya. Penelitian Dang dan Park (2010) mengadopsi algoritma untuk menghitung distribusi suhu dan menyajikan saluran konformal untuk mendapatkan pendinginan yang seragam di seluruh permukaan. Selain itu, mereka memberikan wawasan pengetahuan bahwa penggunaan saluran konformal mampu memberikan pendinginan yang seragam dan dapat mengurangi waktu siklus untuk proses injeksi *molding*. Mereka mendesain bentuk saluran U untuk mendapatkan konfigurasi yang optimal saluran konformal (Dang & Park, 2011). *Cycle time* pada proses injeksi

molding sangat mempengaruhi terhadap kecepatan proses produksi dan kualitas produk yang dihasilkan, sedangkan waktu siklus dapat dikurangi dengan memangkas waktu pendinginan dari pendistribusian suhu yang seragam sehingga membantu pembuangan panas dengan cepat (Khan, Ahmad, & Nizar 2014).

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keseragaman pendinginan produk plastik injeksi *molding* dengan variasi sistem pendingin menggunakan metode CFD.

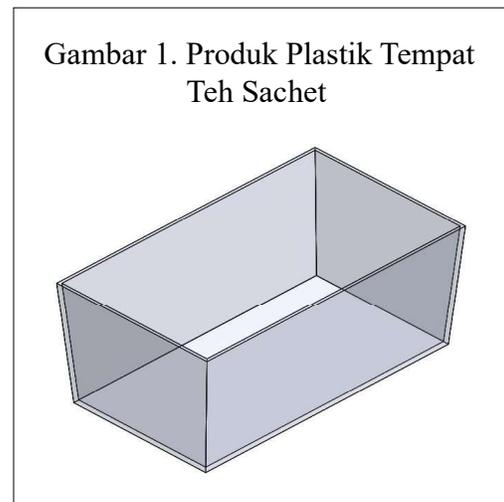
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis keseragaman pendinginan produk plastik injeksi *molding* dengan variasi sistem pendinginan menggunakan metode CFD. Variasi sistem pendinginan ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh sistem pendingin terhadap keseragaman pendinginan produk plastik. Studi kasus pada penelitian ini menggunakan produk tempat teh *sachet* dengan dimensi 166 mm x 66 mm x 71 mm, dengan ketebalan produk sebesar 1 mm seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Banyak berbagai macam material plastik yang digunakan dalam membuat produk plastik. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah *polypropylene*. Material pendinginnya adalah air sebagaimana yang tercantum pada Tabel 1 dan 2 (Callister, 2007).

Pembuatan desain *CAD* produk dilengkapi dengan sistem pendingin pada masing-masing variasi. Desain gambar *mold* disederhanakan menjadi bagian *cavity* dan *core*. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pada saat proses pembagian domain (*meshing*).

Jahan dan El-Mounayri (2016) memperkenalkan sebuah metode cara mendesain saluran pendinginan konformal pada



Tabel 1
Data Material Polypropylene

No	Sifat Fisik	Nilai	Simbol
1	Temperatur leleh (°K)	409	T_{leleh}
2	Kalor Spesifik (kJ/kg. K)	1881	Cp
3	Massa Jenis (g/cm ³)	0,92	ρ
4	Konduktivitas <i>Thermal</i> (W/k.m)	0,17	k

Tabel 2
Data Air Pendingin

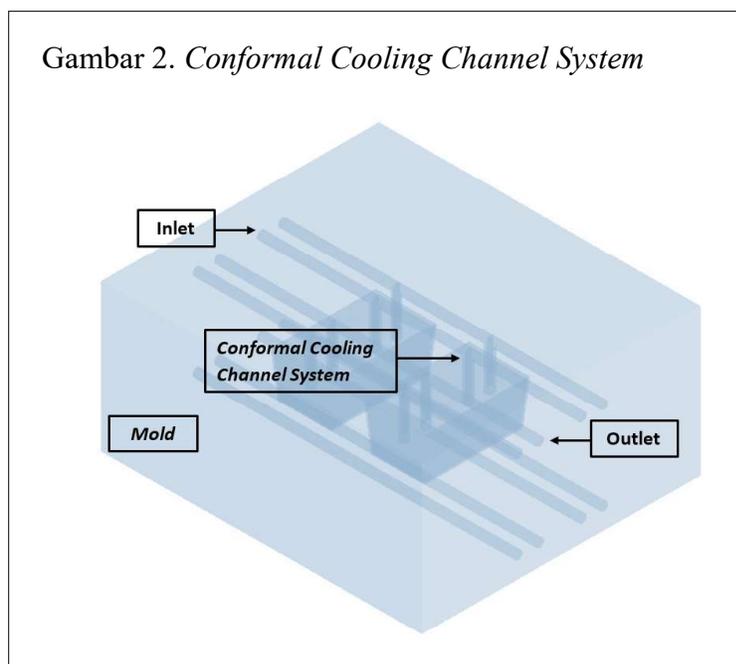
No	Sifat Fisik	Nilai	Simbol
1	Kalor Spesifik (kJ/kg. K)	4,1794	Cp
2	Massa Jenis (kg/m ³)	995,82	ρ
3	Konduktivitas <i>Thermal</i> (W/k.m)	0,617	K
4	Viskositas (kg/m. s)	0,001004	ν

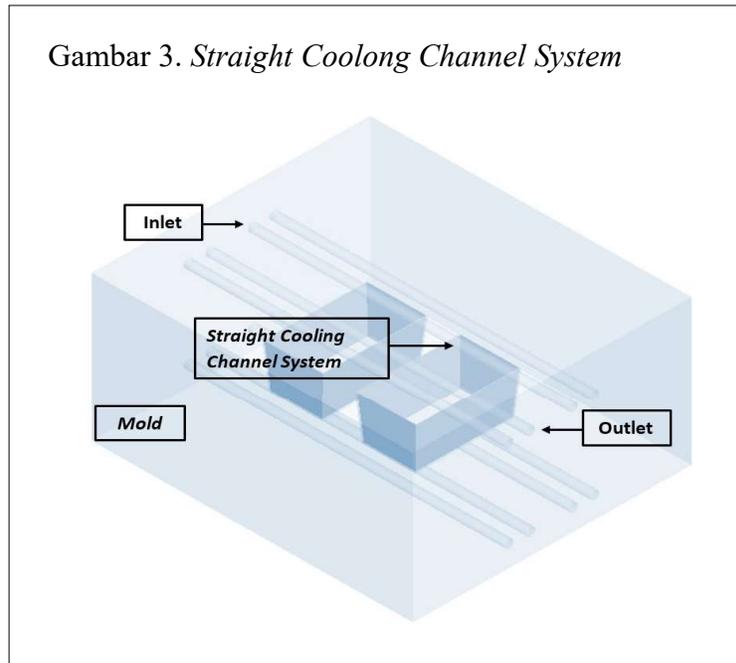
sistem pendinginan dengan menggunakan pendekatan diagram skematik *cavity* dengan konfigurasi saluran pendingin *conformal*. Hasil penelitiannya diharapkan memberikan panduan efektif bagi perancang cetakan untuk memilih saluran pendingin konformal yang optimal. Pembuatan bagian *core* dan *cavity* menggunakan *Software Solidwork 2015* ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.

Pemilihan penggunaan pendinginan pada *mold* juga berpengaruh terhadap temperatur *mold* . Penelitian Ramadhan,

Diniardi, dan Daroji (2017) menemukan bahwa di antara pendingin *cooling tower*, udara, dan air yang paling baik dalam mendinginkan produk yakni adalah air. Hal tersebut dijelaskan bahwa pendingin *cooling tower* dan udara dapat mengakibatkan temperatur *mold* tidak konstan sehingga penyebaran panas pada *mold* tidak merata dan akan berdampak terhadap penyusutan produk atau *shrinkage*. Beberapa faktor yang berpengaruh ketika mendesain sebuah sistem pendinginan pada *mold* injeksi adalah

Gambar 2. *Conformal Cooling Channel System*





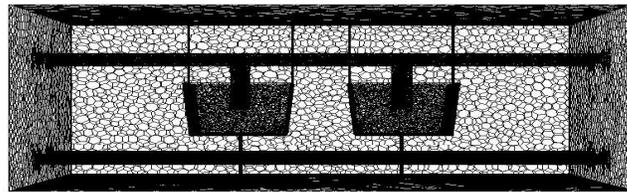
diameter saluran pendingin, jarak dinding cetakan dengan pusat saluran pendingin, dan jarak antarsaluran pendingin (Park & Dang, 2012).

Setelah proses pembuatan desain, dilakukan proses pembentukan *mesh*. *Meshing* merupakan proses pembagian *domain* komputasi menjadi bagian-bagian kecil. Salah satu penentu proses dan hasil akhir dari sebuah simulasi *CFD* terletak pada bentuk dan ukuran *mesh*-nya. Pemilihan *mesh* sangat berpengaruh terhadap konvergensi dan keakuratan. Penggunaan *mesh polyhedral* memiliki keuntungan mampu mengurangi waktu perhitungan (*iteration*), gradien, cepat konvergen, dan stabilitas numerik yang lebih baik daripada menggunakan *mesh tetrahedral* (Sosnowski, Krzywanski, & Gnatowska, 2016; Prasetyo, Fauzun, Azhim, Pamuji, &

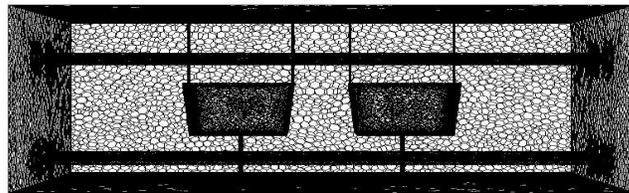
Yaqin, 2018). Pada penelitian ini digunakan *polyhedral meshing* seperti Gambar 4 dan 5.

Pada tahapan *setting* parameter, semua parameter dimasukkan untuk mendukung proses perhitungan simulasi. Pada tahapan *general setup* dilakukan penyekalan *mesh*, tipe *solver*-nya *pressure based* dan *time solver*-nya *steady state*. Model yang digunakan adalah metode *volume of fluid* karena akan mensimulasikan pola aliran fluida, selanjutnya mengaktifkan model *energy*. Hal ini dipilih untuk mengetahui energi panas yang disebarkan plastik cair yang masuk dalam *mold*. Pada *viscous* dengan *k-epsilon* sebagai model *turbulent*. Pemilihan model tersebut karena dalam saluran pendingin akan terjadi yang turbulensi aliran dalam saluran pendingin maupun dalam cetakan plastiknya.

Gambar 4. *Meshing pada Conformal Cooling Channel System*



Gambar 5. *Meshing pada Straight Cooling Channel System*



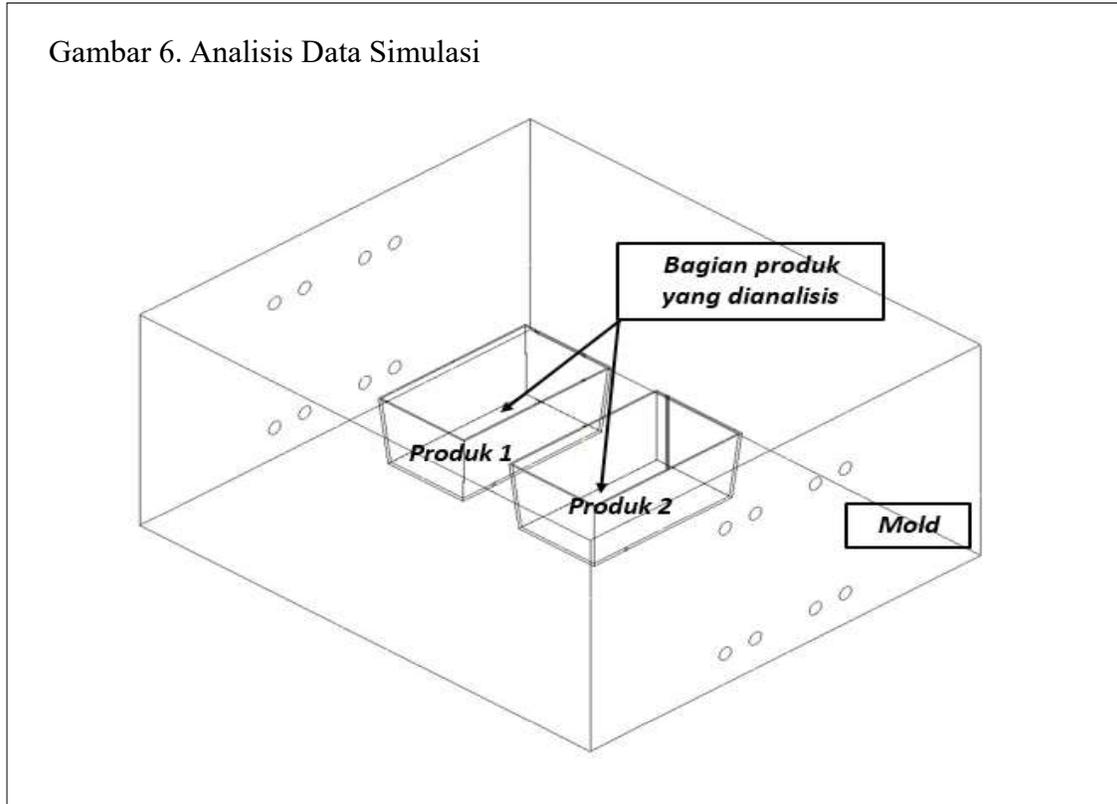
Material produk plastik yang digunakan adalah *Polypropylene* yang dipanaskan dengan suhu 490°K . Fluida pendingin menggunakan air dan *modal*-nya menggunakan material *steel*. *Boundary condition* pada produk plastik menggunakan *pressure inlet*. Pada *inlet* plastik sebesar 930700 pascal searah dengan sumbu *y* lalu pada bagian *thermal* pada *pressure inlet* plastik diberikan suhu sekitar 490°K . Parameter *outlet* menggunakan *pressure outlet* dengan *operating condition* sebesar 101325 pascal . Pada sistem pendingin menggunakan parameter *pressure inlet*. *Pressure inlet* pada *inlet* plastik sebesar 800.000 pascal searah

dengan sumbu *y* lalu pada bagian *thermal* pada *pressure inlet* plastik diberikan suhu sekitar 29°C .

Data dianalisis menggunakan *software CFD-Post*. Pengambilan data analisis keseragaman penurunan produk setiap variasi *cooling channel system* pada penelitian ini, berupa kontur pada masing-masing bagian produk kotak *sachet* seperti yang terlihat pada Gambar 6.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis yang digunakan menggunakan metode CFD pada bagian produk plastik teh *sachet* diperoleh beberapa hasil yang



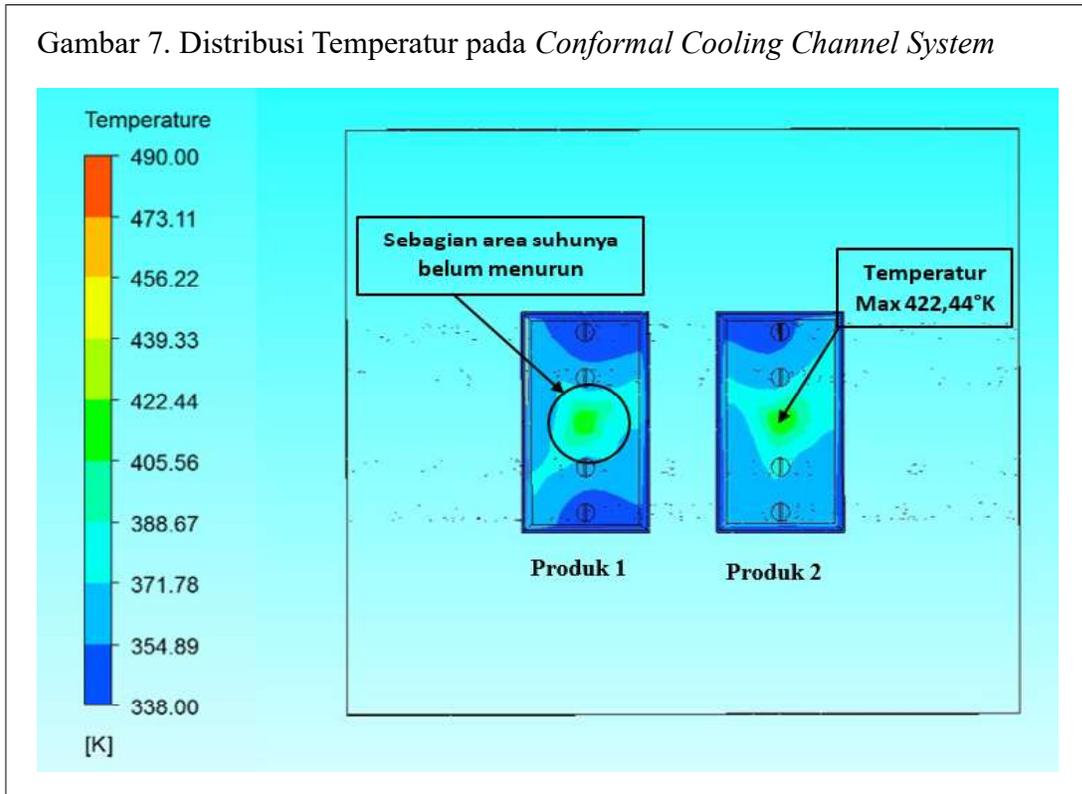
didapatkan. Sasaran penelitian ini yaitu keseragaman pendinginan pada produk plastik pada saat mencapai temperatur ejsksi. Secara teoritis keseragaman pendinginan produk mempresentasikan efektif dan tidaknya suatu sistem pendinginan pada injeksi *molding*, hal ini akan menyebabkan siklus waktu yang terjadi pada mesin injeksi *molding*. Hasil dari simulasi pemodelan *heat transfer* produk plastik masing-masing variasi dapat ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.

Heat transfer hasil simulasi pada variasi *conformal cooling channel system* produk plastik tempat teh *sachet* didapatkan nilai temperatur maksimum pada daerah tengah dari produk plastik dengan nilai 422,44°K

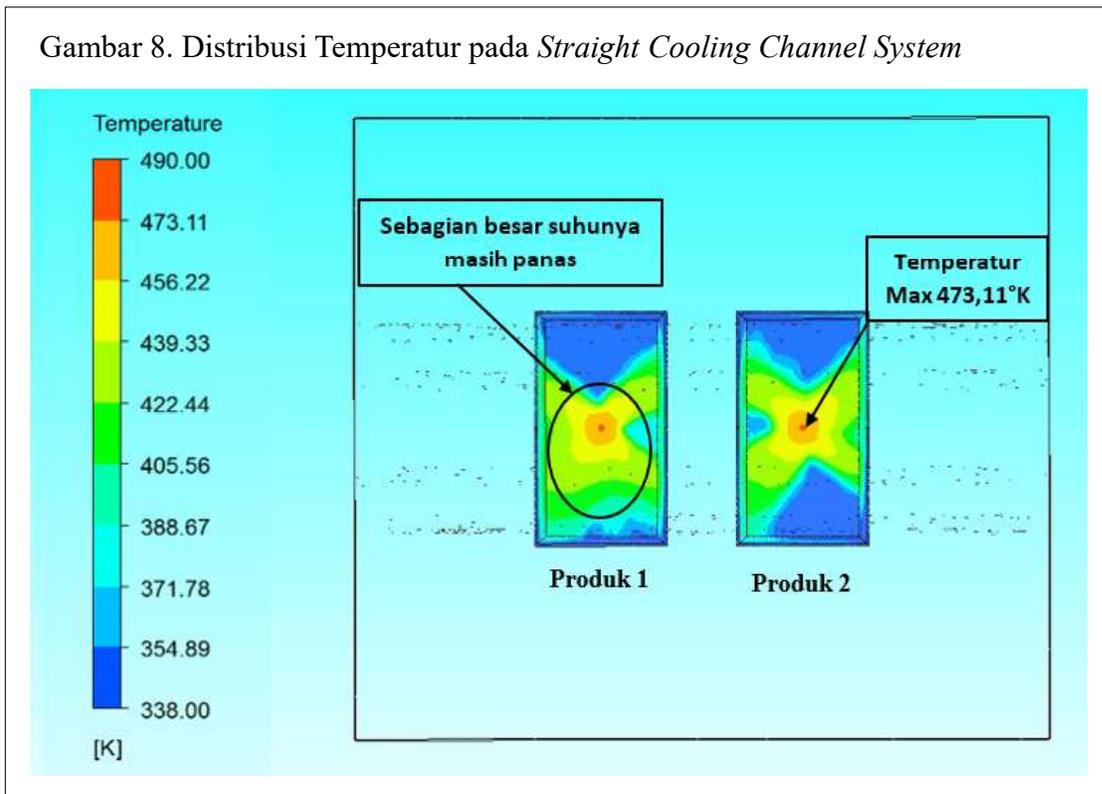
sedangkan temperatur terendah terletak pada bagian sisi-sisi produk sebesar 338,00°K. sedangkan nilai temperatur maksimum pada variasi *straight cooling channel system* sebesar 473,11°K sedangkan temperatur terendah sebesar 338,00°K.

Gambar 7 dan 8 menunjukkan adanya perbedaan kontur distribusi dari *heat transfer* pada setiap variasi *cooling system*. Keseragaman pendinginan produk terbentuk dari desain sistem pendinginan yang menyeluruh. Hal tersebut didukung dengan degradasi warna. Kontur warna biru menunjukkan nilai terendah atau minimum dan warna merah menunjukkan nilai tertinggi atau maksimum (Yaqin *et. al.*,

Gambar 7. Distribusi Temperatur pada *Conformal Cooling Channel System*



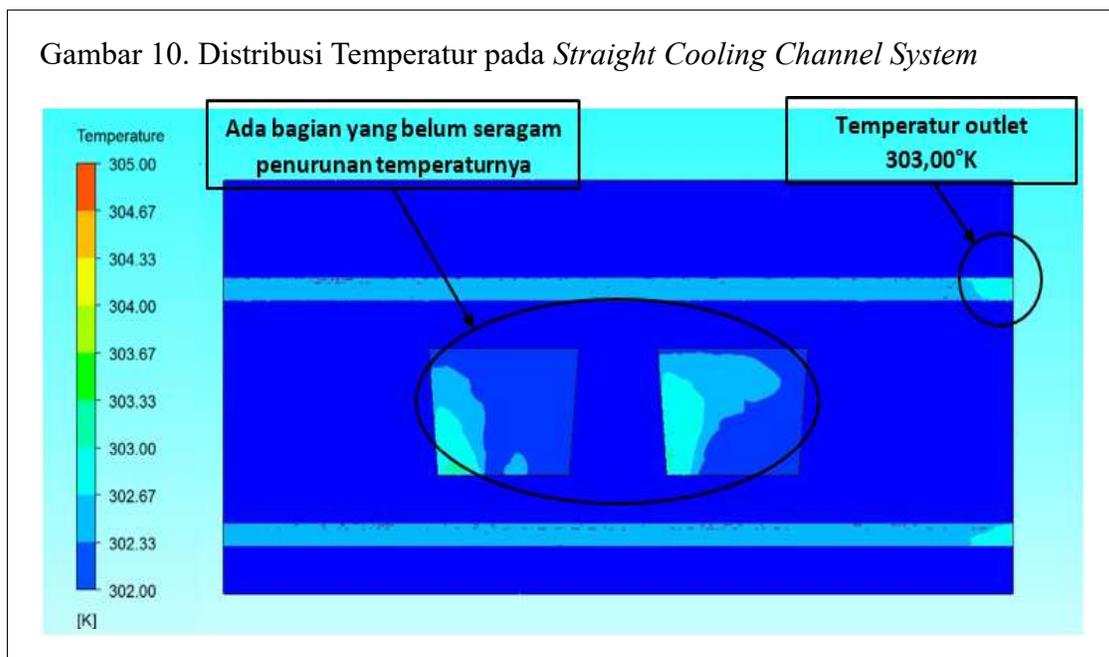
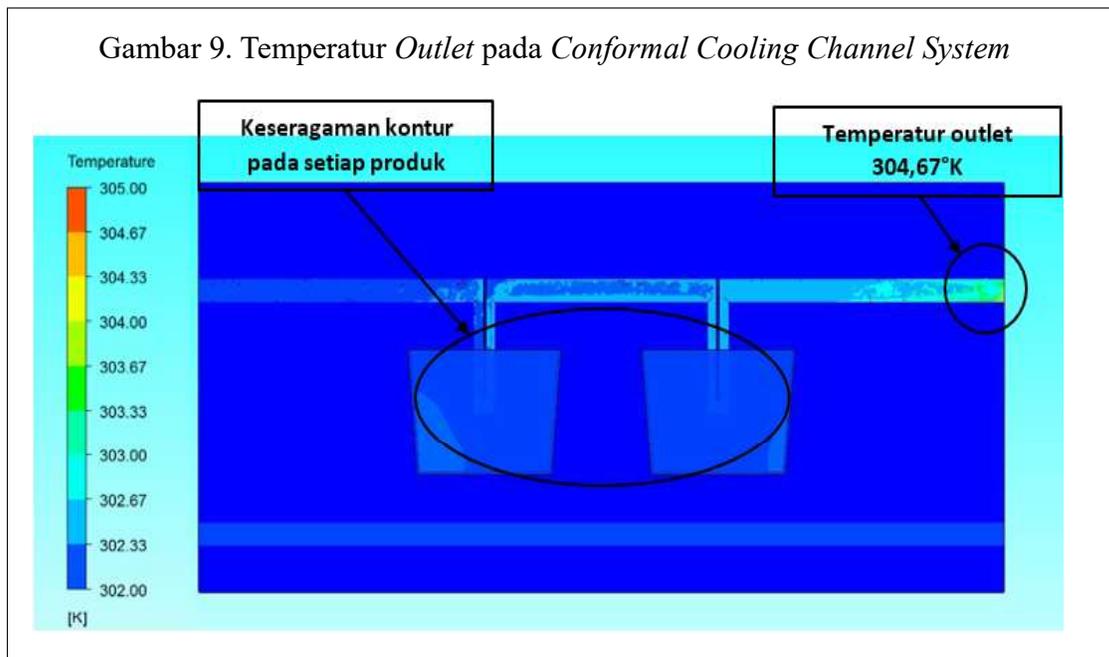
Gambar 8. Distribusi Temperatur pada *Straight Cooling Channel System*



2020). Pengaruh keseragaman produk yang terjadi disebabkan adanya perbedaan bentuk desain sistem pendinginan yang berbeda. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya perbedaan warna kontur temperatur pada bagian *outlet* pada masing-masing variasi

sistem pendinginan seperti yang terlihat pada Gambar 9 dan 10.

Penyerapan panas tertinggi bagian *outlet* pada *conformal cooling channel system* sebesar $304,67^{\circ}\text{K}$, hal ini dikarenakan bentuk saluran pendinginan yang mengarah ke



produk sehingga panasnya diserap baik oleh sistem pendinginan, sedangkan penyerapan panas tertinggi bagian *outlet* pada *straight cooling channel system* sebesar 303,00°K, hal ini disebabkan bentuk saluran pendingin yang tidak mengarah ke produk sehingga panas tidak diserap secara langsung.

SIMPULAN

Pada penelitian ini, menganalisis penggunaan variasi sistem pendingin konformal dan sistem pendingin lurus pada analisis pendingin injeksi *molding*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan metode CFD variasi sistem pendinginan yang diusulkan mampu menganalisis keseragaman pendinginan produk plastik injeksi *molding*. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya perbedaan kontur hasil di setiap variasi sistem pendinginan. Penggunaan *conformal cooling channel system* pada simulasi menggunakan metode CFD hasilnya lebih seragam penurunan temperatur pada setiap produknya. Hal ini dibuktikan dengan warna kontur mengalami degradasi warna hijau muda pada seluruh sisi produknya. Nilai temperatur maksimal sebesar 422,44°K dan nilai temperatur minimal sebesar 338,00°K. Penggunaan *straight cooling channel system* hasil penurunan temperaturnya tidak seragam. Hal ini dibuktikan dengan nilai dengan warna kontur masih ada yang berwarna orange dengan nilai temperatur

maksimalnya 473,11°K. Pada penelitian ini, variasi pendingin *conformal cooling channel* lebih baik dibandingkan dengan *straight cooling channel*. Analisis keseragaman penurunan temperatur produknya pada *conformal cooling channel* lebih merata dibandingkan dengan penurunan temperatur pada *straight cooling channel*.

DAFTAR PUSTAKA

- Callister, W. D. Jr. (2007). *Materials science and engineering*. Canada: John Willy and Sons Incorporation.
- Hsu, F. H., Wang, K., Huang, C. T., Chang, R. Y. (2013). Investigation on conformal cooling system design in injection molding. *Advance in Production Engineering & Management*, 8(2), 107-115. <http://dx.doi.org/10.14743/apem2013.2.158>.
- Jahan, S. A., & El-Mounayri, H. (2016). Optimal conformal cooling channels in 3D printed dies for plastic injection molding. *Procedia Manufacturing*, 5, 888-900.
- Khan, M., Afaq, S. K., Khan, N. U., & Ahmad, S. (2014). Cycle time reduction in injection molding processes by selection of robust cooling channel design. *ISRN mechanical Engineering*. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/968484>.
- Park, H. S., & Dang, X. P. (2010). Optimization of conformal cooling channels with array of baffles for plastic injection mold. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 11(6), 879-890.
- Park, H. S., & Dang, X. P. (2011). Design of U-shape milled groove conformal cooling channels for plastic injection mold. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 12(1), 73-84.
- Park, H. S., & Dang, X. P. (2012). Design and simulation-based optimization of

- cooling channels for plastic injection mold. *New Technologies-Trends, Innovations and Research*. IntechOpen.
- Prasetyo, A. B., Azmi, A. A., Pamuji, D. S., & Yaqin, R. (2019). Pengaruh perbedaan mesh terstruktur dan mesh tidak terstruktur pada simulasi sistem pendinginan mold injeksi produk plastik. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi XIV Tahun, 2019*, 400-406.
- Ramadhan, A. I., Dinardi, E., & Daroji, M. (2017). Analysis of plastic depreciation on injection molding process using coolant media of cooling tower and air with polypropylene material. *Jurnal Riset dan Sain Teknologi*, 1(2), 65-74.
- Santoso, S. T. (2014). *Proses produksi dan perawatan mesin injection molding*. Bekasi: Politeknik Gunakarya Indonesia.
- Sosnowski, M., Krzywanski, J., & Gnatowska, R. (2017). Polyhedral meshing as an innovative approach to computational domain discretization of a cyclone in a fluidized bed CLC unit. *E3S Web of Conferences*, 14, 01027. Doi:10.1051/e3sc0nf/20171401027
- Yaqin, R. I., Prasetyo, A. B., Pristiasyah, Amrullah, M. H., & Pakpahan, B. M. T. (2020). Studi numerik umur kelelahan (*Fatigue life*) pada propeller kapal penangkap ikan dengan kapasistas mesin 24 HP. *Jurnal Teknologi Terapan*, 6(1).
- Zheng, R., Tanner, R. I., & Fan, X.-J. (2011). *Injection molding integration of theory and modeling methods*. Springer Science & Business Media.