

Studi Numerik Kontur Pola Aliran Fluida Pendinginan Pada *Mold* Injeksi *Molding*

Angger Bagus Prasetyo^{1*}, Fauzun², Azhim Asyratul Azmi³, Rizqi Ilmal Yaqin⁴

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

²Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

³Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

⁴Program Studi Permesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai

¹Jl. Babarsari Caturtunggal Depok Sleman Yogyakarta 55281, Indonesia

²Jl. Grafika No 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281, Indonesia

³Jl. Brawijaya, Kasihan, Bantul Yogyakarta 55183, Indonesia

⁴Jl. Wan Amir No 1, Pangkalan Sesai, Dumai Barat 28826, Indonesia

E-mail: anggerbprasetyo@gmail.com¹, fauzun@gmail.com², azhimaa@gmail.com³, r.ilmalyaqin@politeknikpdumai.com⁴

Info Naskah:

Naskah masuk: 3 Desember 2020

Direvisi: 15 Maret 2021

Diterima: 18 Maret 2021

Abstrak

Proses pendinginan konvensional dipilih karena estimasi waktu pembuatan yang murah dan lebih baik dari proses lainnya. Salah satu alternatif untuk meminimalisir terjadinya penurunan kualitas pada produk plastik yakni dengan menggunakan proses pendinginan konformal. Penelitian ini akan membandingkan kontur pola aliran fluida antara saluran pendinginan konvensional dan saluran pendinginan konformal. Produk berbentuk persegi dengan bahan penyusun *Polypropylene* dengan suhu leleh 205°C. Gambar 3D produk dibuat dengan software solidwork 2017 dan simulasi proses menggunakan software fluent 19.0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola aliran temperatur pada saluran konformal menghasilkan penyerapan temperatur sekitar 303,2K sedangkan saluran pendingin konvensional sekitar 302,5K. Kemudian saluran pendingin yang mengalami pressure drop yang tinggi terjadi pada saluran pendingin konformal sekitar 88888,9 pascal dan saluran pendingin konvensional sekitar 35555,6 pascal.

Keywords:

cooling channel;

fluent;

temperature;

pressure drop.

Abstract

The conventional cooling process was chosen because of the better estimation of manufacturing times and lower manufacturing costs. One alternative to minimize the decline in quality in plastic products is by using a conformal cooling process. The purpose of this study is to compare the results between conventional cooling and conformal cooling of channel modeling. Case study on a box-shaped product made of PP material which has a melt temperature of 205 ° C. 3D product images were made with Solidwork 2017 software and process simulation software using fluent 19.0. The results of modeling that have been done show the temperature flow pattern in the resulted of conformal channel in a temperature absorption of around 303.2K while the conventional cooling channel was around 302.5K. Then the coolant channel that experiences high pressure drop occurs in the conformal cooling channel around 88888.9 pascals and the conventional cooling channel around 35555.6 pascals.

*Penulis korespondensi:

Angger Bagus Prasetyo

E-mail: anggerbprasetyo@gmail.com

1. Pendahuluan

Bahan plastik atau polimer dalam kehidupan sehari-hari sangat penting karena banyak digunakan dan diaplikasikan. Penggunaan bahan plastik banyak ditemukan dalam kehidupan yang selalu dapat dilihat barang-barangnya, salah satu contoh penggunaan bahan plastik yaitu barang rumah tangga, beberapa alat elektronik, kemasan makanan dan minuman serta bagian komponen otomotif. Bahan plastik dipilih karena bahan tersebut memiliki sifat yang dapat dibentuk, praktis, ringan, tahan korosi serta harga lebih murah [1]. Selain itu, bahan plastik banyak digunakan oleh manusia untuk berbagai hal. Penggunaan plastik pada dasarnya selalu meningkatkan permintaannya di dunia karena memiliki keuntungan yang banyak. Dewasa ini, negara berkembang seperti Indonesia masih membutuhkan banyak plastik untuk beberapa kegunaannya.

Injeksi *molding* banyak digunakan untuk manufaktur produk plastik [2]. Empat tahapan siklus kerja dari mesin injeksi molding yaitu *charging*, *packing*, *cooling* dan *injection* [3]. Siklus pendinginan produk plastik pada injeksi molding merupakan siklus yang paling utama diantara keempat siklus kerja mesin injeksi molding. Hal tersebut dikarenakan proses pendinginan menentukan siklus proses cetakan dan kualitas yang dihasilkan mesin injeksi molding [4]. Umumnya, proses pendinginan dilakukan dengan cara membuat beberapa saluran di dalam cetakan dengan berbagai variasi bentuk, diameter dan jarak saluran dengan produk [5]. Proses pendinginan mengalirkan cairan pendingin yang berfungsi untuk menyerap panas dari produk supaya mudah ketika diambil. Pada penelitian sebelumnya [5] menunjukkan bahwa pendinginan konformal dapat mendekati suhu injeksi yang lebih cepat dibandingkan saluran pendingin yang lurus. Selain itu, suhu produk yang di hasilkan juga lebih seragam [4], [6].

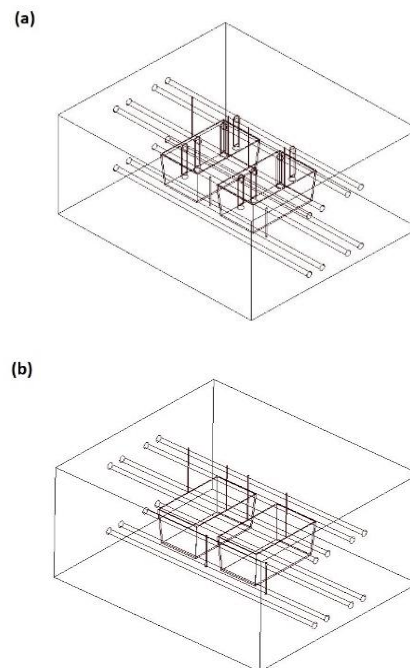
Salah satu dari beberapa masalah pada industri injeksi plastik yaitu adanya penyusutan dari dimensi produk hasil [7]–[9]. Prediksi dari penyusutan produk pada proses injeksi plastik yang tepat dan benar dapat menghasilkan komponen dengan kualitas dan tingkat presisi yang tinggi. Penyusutan produk hasil mesin injeksi plastik dapat disebabkan oleh faktor penyusutan volume produk, aliran yang berasal dari tegangan sisa serta orientasinya, perpindahan panas dan aliran kristalisasi dari produk injeksi plastik [10]. Perancangan desain sistem pendinginan dengan jumlah *cavity* dapat diprediksi dengan persamaan perpindahan kalor konduksi dua dimensi dan penyelesaiannya. Salah satu cara untuk menyelesaikan permasalahan tersebut secara teoritis yaitu dengan bantuan permodelan simulasi atau *finite element* [11]–[14]. Penyelesaian secara teoritis persamaan perpindahan panas dapat menggunakan metode *finite element* dengan bantuan perangkat komputer [15].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh desain pendinginan pada cetakan terhadap pola aliran perpindahan panas dan *pressure drop* pada fluida cairan pendingin berupa air.

2. Metode

2.1 Objek Penelitian

Studi kasus pada penelitian ini menggunakan model simulasi yang berbentuk balok dengan dilengkapi saluran pendingin. Fluida yang digunakan yaitu fluida air. Sedangkan bahan produk plastik menggunakan bahan *polypropylene*. Permodelan 3D dari produk dan perancangan saluran pendinginan menggunakan *software solidwork 2017* yang dapat di tunjukkan pada Gambar 2. Perancangan saluran pendingin dipengaruhi oleh tiga variabel antara lain panjang jarak antara saluran, panjang jarak antara dinding cetakan dan pusat saluran serta besar diameter saluran pendingin [5], [16].



Gambar 1. Saluran Pendingin (a) Lurus (b) Konformal

Tabel 1. Sifat dari bahan injeksi molding [17]

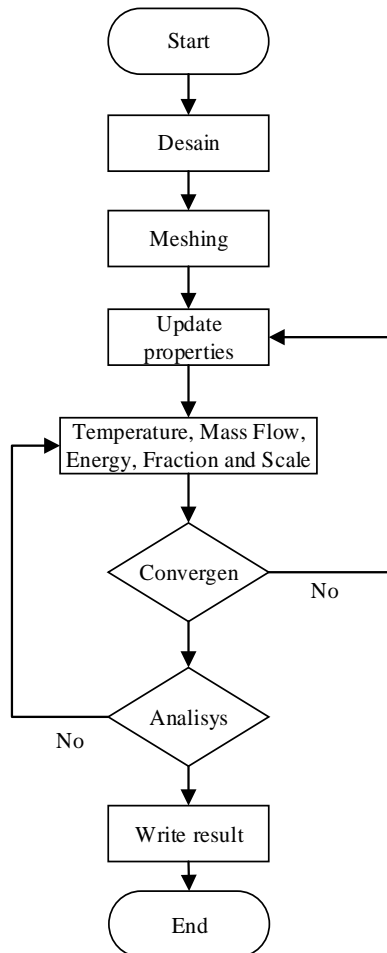
Sifat	Bahan Produk	Bahan Pendingin	Bahan Mold
Massa jenis bahan	1,7 kg/m ³	998,2 kg/m ³	8030 kg/m ³
Kapasitas panas spesifik	1441 J/kg.K	4182 J/kg.K	502,48 J/kg.K
Konduktifitas panas	0,0168 W/m.K	0,6 W/m.K	16,27 W/m.K

2.2 Sifat Material

Terdapat 3 macam bahan yang digunakan pada cetakan injeksi plastik, antara lain: material *steel* digunakan untuk pembuatan (*mold*), *water* sebagai media pendinginnya (*coolant*), dan *polypropylene* untuk bahan pembuatan sebuah produk plastiknya (*product*). Sifat fisik dari bahan yang digunakan dapat diasumsikan konstan karena selama proses pendinginan diperkirakan tidak mengalami perubahan yang signifikan. Konstan disini berarti tidak berubah setiap fasanya, untuk bahan tersebut ditunjukkan Tabel 1.

2.3 Tahapan Simulasi

Tahapan untuk menyelesaikan simulasi sistem pendinginan injeksi molding pada masing-masing desain dari saluran pendingin harus melewati beberapa tahapan diantaranya *pre-processing*, *processing* dan *post-processing* sebagaimana yang di tunjukkan pada Gambar 3.



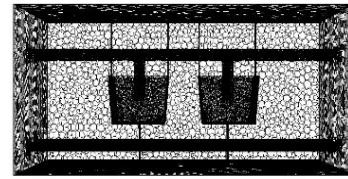
Gambar 3. Tahapan Simulasi

2.4 Pembuatan Mesh

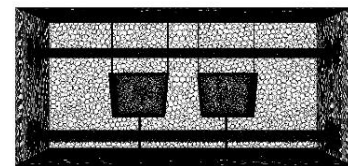
Desain model pada penelitian ini merupakan desain dengan fokus untuk menganalisa pada pola aliran fluida yang melewati saluran pendingin. Simulasi dilakukan pada bagian *core plate* dan *cavity plate* yang dilengkapi dengan saluran pendingin dan produk. Hal ini dipilih untuk memudahkan dalam melakukan pembagian domain sebagaimana yang dilakukan pada penelitian sebelumnya [18]. Tahapan ketika simulasi sistem pendinginan *injection molding* yaitu dengan pembuatan domain komputasi (*meshing*). Jenis *mesh* yang dipilih yaitu *polyhedral mesh* terstruktur [19], [20].

Polyhedral mesh dipilih karena lebih cepat konvergen dalam melakukan perhitungan dibandingkan dengan *mesh tetrahedral* dan *mesh hexahedral* [19]. Pembentukan *Mesh* dilakukan dengan menggunakan *software fluent* dengan cara membuat *mesh tetrahedral* terlebih dahulu kemudian diconvert oleh *software fluent* menjadi *mesh polyhedral*. Fenomena tersebut ditunjukkan Gambar 4.

(a)



(b)



Gambar 4. Mesh Polyhedral Saluran Pendingin (a) Konformal (b) Lurus

Bahan yang digunakan dalam simulasi pemodelan yaitu bahan plastik yang sering digunakan manusia sehari-hari. Bahan plastik tersebut antara lain *polyethylene* (PE), *polystyrene* (PS) dan *polypropylene* (PP) [21]–[23]. Plastik dengan jenis *Polypropylene* sering digunakan untuk tempat makan dan beberapa komponen otomotif. Plastik *Polyethylene* (PE) sering digunakan sebagai produk pembuatan botol susu dan detergen maupun pembuatan pipa air. Sedangkan bahan *polystyrene* (PS) untuk lensa plastik dan tempat pelindung TV [24].

3. Hasil dan Pembahasan

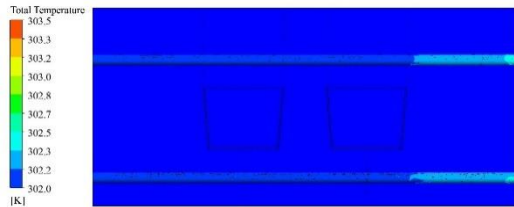
3.1 Pola Aliran Temperatur Pada Saluran Pendingin

Hasil dari simulasi model yang disajikan yaitu berupa pola aliran pada tiap-tiap saluran pendinginan konvensional maupun konformal [18]. Pola aliran hasil simulasi berbentuk kontur kenaikan temperatur dan *pressure drop*. Semua variasi dari hasil simulasi menunjukkan bahwa simulasi proses pendinginan didalam cetakan dapat ditunjukkan pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 12.

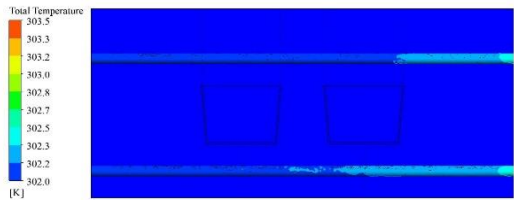
Bagian saluran *outlet* pola aliran memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan pola aliran yang berada pada saluran *inlet*, hal tersebut di tunjukkan dengan kontur dari pola aliran bagian dekat *outlet* berwarna biru muda kekuning-kuningan sedangkan kontur pola aliran yang berada pada *inlet* berwarna biru muda.

Gambar 4 hingga Gambar 11 menunjukkan kontur pola aliran dengan suhu pada masing-masing variasi desain saluran pendingin yang menyatakan bahwa desain dari saluran konformal lebih banyak menyerap panas dari produk dibandingkan dengan saluran lurus, hal tersebut dibuktikan dengan penyerapan panas saluran lurus rata-rata sekitar 302,5K sedangkan saluran konformal rata-rata sekitar 303,3K. Sehingga konturnya berwarna biru kekuning-kuningan pada bagian outletnya. Hal ini

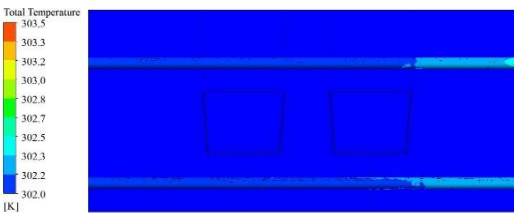
dikarenakan pada saluran konformal memiliki bentuk salurannya mengarah pada bagian dalam produk [25]. Peristiwa tersebut menyebabkan suhu dari produk banyak diserap oleh saluran pendingin konformal secara merata. Selain itu, saluran pendingin konvensional memiliki suhu pola aliran yang cenderung kurang efektif dalam menyerap panas [18], [25]. Hal ini dikarenakan panas yang dikeluarkan produk tidak diserap secara merata sehingga kontur pola alirannya berbeda dengan saluran pendingin konformal.



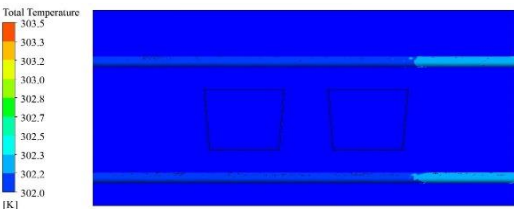
Gambar 5. Saluran Lurus 1 dan 5



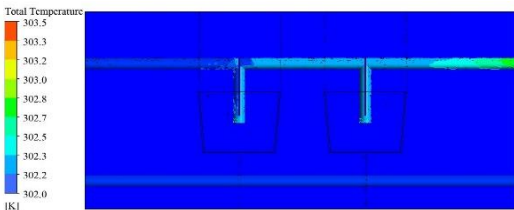
Gambar 6. Saluran Lurus 2 dan 6



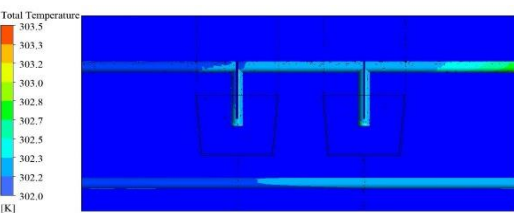
Gambar 7. Saluran Lurus 3 dan 7



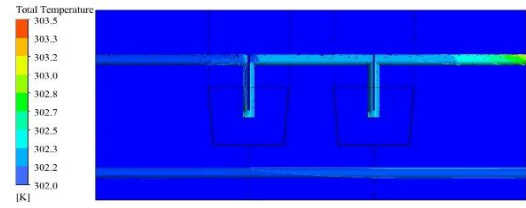
Gambar 8. Saluran Lurus 4 dan 8



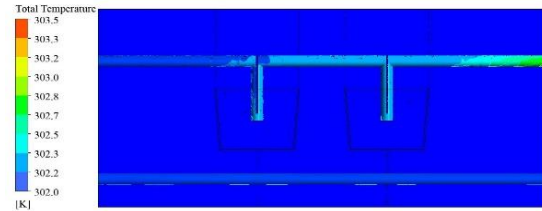
Gambar 9. Saluran Konformal 1 dan 5



Gambar 10. Saluran Konformal 2 dan 6



Gambar 11. Saluran Konformal 3 dan 7



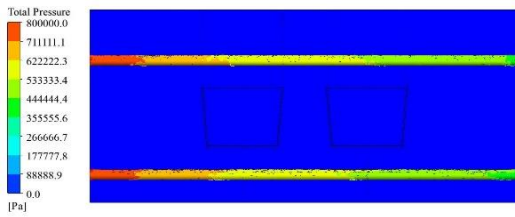
Gambar 12. Saluran Konformal 4 dan 8

3.2 Pola Aliran *Pressure Drop* pada Saluran Pendingin

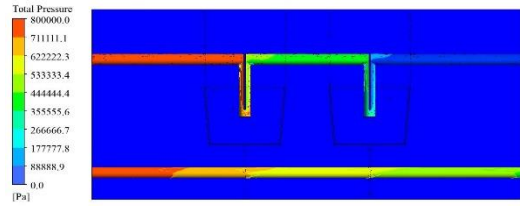
Fluida di dalam pipa yang mengalir mengalami penurunan tekanan sering disebut *pressure drop*. *Pressure drop* terjadi dipengaruhi bertambahnya panjang sebuah pipa fluida. Penurunan tekanan dapat disebabkan adanya gaya gesek antara permukaan saluran dan fluida. Selain itu adanya aliran yang mengalir pada belokan pipa atau *elbow*, sambungan pipa, difusor pipa, katup-katup pipa dan sebagainya [26]. *Pressure drop* terjadi pada masing-masing sistem pendingin pada cetakan *injection molding*. *Pressure drop* terjadi dipengaruhi dengan gesekan sepanjang aliran fluida yang disebabkan kekasaran permukaan pipa, panjang pipa, viskositas fluida yang mengalir dan panjang diameter pipa.

Viskositas fluida dapat menyebabkan gaya geser terjadi dikarenakan timbulnya laju aliran terhambat. Gaya geser yang terjadi dapat dilawan dengan adanya energi lain sehingga mengakibatkan hilangnya energi pada aliran fluida. Hilangnya energi aliran fluida tersebut mengakibatkan *pressure drop* aliran fluida [27]. Pola aliran *pressure drop* dengan variasi saluran pendingin ditunjukkan Gambar 13 hingga Gambar 20.

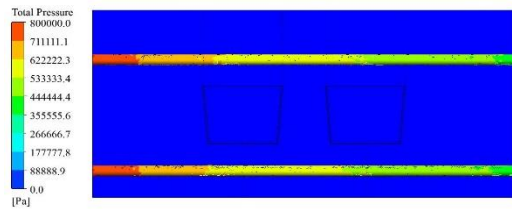
Gambar 13 sampai dengan Gambar 20 menunjukkan terjadinya pola aliran *pressure drop* pada masing-masing saluran pendinginan. hal tersebut dibuktikan dengan penurunan tekanan terendah sekitar 88888,9 *pascal*, sedangkan saluran pendingin lurus penurunan tekanan terendah sekitar 35555,6 *pascal*. Adanya pola aliran *pressure drop* ditunjukkan dengan kontur pola aliran fluida yang melintas sepanjang produk.



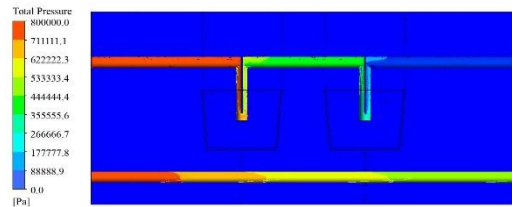
Gambar 13. Saluran Lurus 1 dan 5



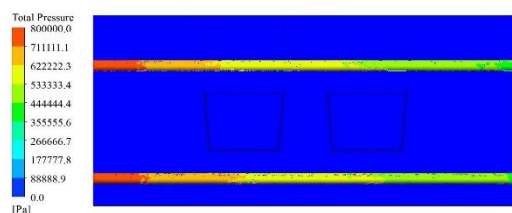
Gambar 19. Saluran Konformal 3 dan 7



Gambar 14. Saluran Lurus 2 dan 6

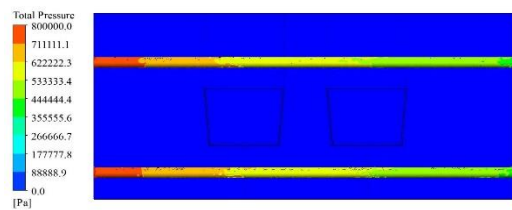


Gambar 20. Saluran Konformal 4 dan 8



Gambar 15. Saluran Lurus 3 dan 7

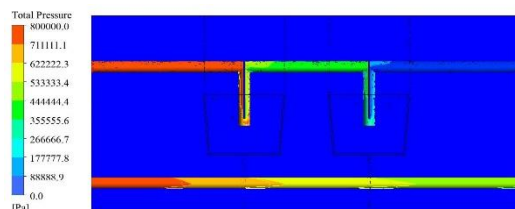
Kontur pola aliran yang dekat dengan saluran *inlet* ditunjukkan dengan warna merah yang menyatakan bahwa pada bagian dekat *inlet* memiliki tekanan yang tinggi. Kemudian kontur pola aliran yang dekat dengan saluran *outlet* ditunjukkan warna biru yang menyatakan bahwa tekanan dibagian tersebut mengalami penurunan tekanan yang signifikan. *Pressure drop* yang paling signifikan ditunjukkan pada saluran pendingin konformal. Hal tersebut dikarenakan bentuk saluran yang lebih panjang dibanding dengan saluran pendingin konvensional. Selain itu bagian saluran pendingin konformal ada yang mengarah pada bagian dalam produk hasil proses *injection molding*, sehingga menyebabkan terjadinya gesekan fluida semakin panjang [25].



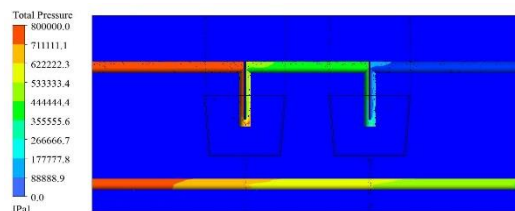
Gambar 16. Saluran Lurus 4 dan 8

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan desain saluran pendinginan yang diusulkan, bahwa pola aliran temperatur pada saluran dengan model konformal menghasilkan penyerapan suhu yang banyak sekitar 303,3 K, hal ini dikarenakan desain saluran konformal mengarah ke arah produk sehingga lebih efisien dalam menyerap panas sedangkan saluran pendingin dengan model konvensional cenderung lebih sedikit sekitar 302,5 K. Hal ini dikarenakan desain saluran digunakan tidak ada bagian yang mengarah ke produk sehingga penyerapan panas kurang efisien. Disisi lain, saluran pendingin yang mengalami *pressure drop* yang tinggi terjadi pada saluran pendingin dengan model konformal sekitar 88888,9 pascal, hal tersebut dikarenakan dibanding dengan saluran pendingin dengan model konvensional.



Gambar 17. Saluran Konformal 1 dan 5



Gambar 18. Saluran Konformal 2 dan 6

Ucapan Terimakasih

Terima kasih disampaikan kepada Staff PT IGI Center Surakarta, Lab. Perpindahan Panas dan Massa Universitas Gadjah Mada, dan Departemen Teknik Industri Institut Teknologi Nasional Yogyakarta sudah membantu penelitian kami.

Daftar Pustaka:

- [1] E. Kamsiati, H. Herawati, and E. Y. Purwani, "Potensi Pengembangan Plastik Biodegradable Berbasis Pati Sagu dan Ubikayu di Indonesia," *J. Penelit. dan Pengemb. Pertan.*, vol. 36, no. 2, pp. 67–76, 2017, doi: 10.21082/jp3.v36n2.2017.p67-76.
- [2] R. J. Crawford, *Plastics Engineering 2nd Edition*. 1987.
- [3] K. F. Pun, I. K. Hui, W. G. Lewis, and H. C. W. Lau, "A multiple-criteria environmental impact assessment for the plastic injection molding process: A methodology," *J. Clean. Prod.*, vol. 11, no. 1, pp. 41–49, 2002, doi: 10.1016/S0959-6526(02)00019-7.
- [4] E. Sachs, E. Wylonis, S. Allen, M. Cima, and H. Guo, "Production of injection molding tooling with conformal cooling channels using the Three Dimensional Printing process," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 40, no. 5, pp. 1232–1247, 2000, doi: 10.1002/pen.11251.
- [5] S. A. Jahan, T. Wu, Y. Zhang, J. Zhang, A. Tovar, and H. Elmounayri, "Thermo-mechanical Design Optimization of Conformal Cooling Channels using Design of Experiments Approach," *Procedia Manuf.*, vol. 10, pp. 898–911, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.078.
- [6] K. W. Dalgarno, T. D. Stewart, and J. M. Allport, "Layer manufactured production tooling incorporating conformal heating channels for transfer moulding of elastomer compounds," *Plast. Rubber Compos. Process. Appl.*, vol. 30, no. 8, pp. 384–388, 2001, doi: 10.1179/146580101101541778.
- [7] I. H. H. Mawardi, "Analisis Kualitas Produk dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik Polypropylene (PP) Pada Proses Injection Molding," *Ind. Eng. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 30–35, 2015.
- [8] A. I. Ramadhan, E. Diniardi, and M. Daroji, "Analisa Penyusutan Produk Plastik di Proses Injection Molding Menggunakan Media Pendingin Cooling Tower dan Udara dengan Material Polypropylene," *Jrst J. Ris. Sains Dan Teknol.*, vol. 1, no. 2, p. 65, 2017, doi: 10.30595/jrst.v1i2.1577.
- [9] U. Wahyudi, "Pengaruh Injection Time dan Backpressure Terhadap Cacat Injection Molding Menggunakan Material Polystyrene," *J. Tek. Mesin*, vol. 04, no. 3, pp. 15–24, 2015.
- [10] K. Kwon, A. I. Isayev, and K. H. Kim, "Toward a viscoelastic modeling of anisotropic shrinkage in injection molding of amorphous polymers," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 98, no. 5, pp. 2300–2313, 2005, doi: 10.1002/app.22399.
- [11] R. I. Yaqin, J. P. Siahaan, and S. H. Pranoto, "Analisis Tegangan Propeller Kapal Penangkap Ikan Di Kota Dumai Menggunakan Finite Element Analysis," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.)*, vol. 5, no. 2, p. 56, 2019, doi: 10.31884/jtt.v5i2.225.
- [12] R. I. Yaqin, A. B. Prasetyo, P. Pritiansyah, M. H. Amrullah, and B. M. T. Pakpahan, "Studi Numerik Umur Kelelahan (Fatigue Life) Pada Propeller Kapal Penangkap Ikan Dengan Kapasitas Mesin 24 Hp," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.)*, vol. 6, no. 1, pp. 8–17, 2020, doi: 10.31884/jtt.v6i1.245.
- [13] S. H. Pranoto, S. Yatnikasari, M. N. Asnan, and R. I. Yaqin, "Desain dan Analisis Mata Pisau Pencacah Untuk Pengolahan Sampah Plastik Menggunakan Finite Element Analysis," *Infotekmesin*, vol. 11, no. 2, pp. 147–152, 2020, doi: 10.35970/infotekmesin.v11i2.260.
- [14] M. L. Umar and R. I. Yaqin, "Studi Numerik Dengan Model Empat Parameter Untuk Memprediksi Daya Luaran Dari Panel Surya," *Infotekmesin*, vol. 11, no. 2, pp. 125–129, 2020, doi: 10.35970/infotekmesin.v11i2.253.
- [15] S. J. Park and T. H. Kwon, "Optimal cooling system design for the injection molding process," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 38, no. 9, pp. 1450–1462, 1998, doi: 10.1002/pen.10316.
- [16] H.-S. Park and X.-P. Dang, "Design and simulation-based optimization of cooling channels for plastic injection mold," *New Technol. - Trends, Innov. Res.*, 2012, doi: 10.5772/32730.
- [17] Launder B. E. and S. D. B., *MAN - ANSYS Fluent User's Guide Release 15.0*, vol. 15, no. November. 2013.
- [18] Fauzun, M. Hamdi, A. E. Tontowi, and T. Ariga, "Produk Plastik Di Dalam Straggled Mold Dengan Saluran Pendingin Spiral," in *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9*, 2010, pp. 13–15.
- [19] G. Balafas, "Polyhedral Mesh Generation for CFD-Analysis of Complex Structures," Technische Universit"at M"unchen, 2014.
- [20] M. Spiegel *et al.*, "Tetrahedral vs. polyhedral mesh size evaluation on flow velocity and wall shear stress for cerebral hemodynamic simulation," *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin.*, vol. 14, no. 1, pp. 9–22, 2011, doi: 10.1080/10255842.2010.518565.
- [21] A. Amri, "Pengaruh Pendinginan Dalam Proses Injection Molding Pembuatan Acetabular Cup Pada Sambungan Hip," UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA, 2009.
- [22] A. D. Anggono, "Prediksi Shrinkage Untuk Menghindari Cacat Produk Pada Plastic Injection," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, 2015, doi: 10.23917/mesin.v6i2.2895.
- [23] M. Awwaluddin and P. Santosa, "Perhitungan Kebutuhan Cooling Tower Pada Rancang Bangun Untai Uji Sistem Kendali Reaktor Riset," *Prima (Aplikasi dan Rekayasa dalam Bid. Iptek Nuklir)*, vol. 9, no. 1, pp. 34–41, 2012.
- [24] B. W. Febriantoko, A. H. Wibowo, J. Teknik, M. Universitas, and M. Surakarta, "Penyusutan Pada Produk Injeksi Plastik Dengan Mold Tipe Laminated Steel Tooling," in *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*, 2008, pp. A25–A29.
- [25] J. Shoemaker, "Moldflow Design Guide : A Resource for Plastics Engineers," *Moldflow Des. Guid.*, pp. I–XX, 2006, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3139/9783446418547.fm>.
- [26] W. P. Negara, "Perbandingan Analisis Pressure Drop Pada Pipa Lengkung 900 Standar Ansi B36.10 Dengan Cosmosfloworks 2007," 2010.
- [27] J. Malau and T. Sitepu, "Analisa pressure drop pada sistem perpipaan fuel oil boiler pada PT.PLN pembangkitan Sumatera bagian utara Sicanang-Belawan dengan menggunakan pipe flow expert," *J. e-Dinamis*, vol. 3, no. 3, pp. 164–171, 2012.