

Pengaruh Perbedaan Mesh Terstruktur dan Mesh Tidak Terstruktur Pada Simulasi Sistem Pendinginan Mold Injeksi Produk Plastik

Angger Bagus Prasetyo¹, Fauzun², Azhim Asyratul Azmi³, Didit Setyo Pamuji⁴, Rizqi ilmal Yaqin⁵

^{1,4}Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada

³Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

⁵Program Studi Permesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai

Korespondensi: angger.bagus@itny.ac.id

ABSTRAK

Penentuan jenis mesh dan kepadatan pembuatan mesh memegang peranan yang sangat penting dalam sebuah simulasi, hal ini dikarenakan untuk meminimalisir waktu dan biaya komputasi. Penelitian ini menyajikan tentang perbandingan pengaruh mesh terhadap analisis CFD. Mesh merupakan bagian yang terpenting dalam melakukan sebuah simulasi. Mesh yang baik, mempengaruhi pada hasil perhitungan dari sebuah simulasi. Untuk mensimulasikan aliran internal dalam saluran pendingin injeksi molding agar lebih akurat. Ada tiga tipe mesh yang diterapkan pada sebuah simulasi penelitian ini yakni: heksahedral, polihedral, dan tetrahedral mesh diterapkan untuk mensimulasikan aliran internal cooling channel injeksi molding dengan menggunakan model turbulensi k-epsilon. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode simulasi menggunakan mesh polyhedral yang diusulkan mampu mempercepat perhitungan serta mempercepat konvergensi simulasi dibuktikan dengan grafik iterasi. Penggunaan mesh polyhedral pada simulasi CFD lebih efektif daripada menggunakan mesh tetrahedral maupun hexahedral. Namun, Penggunaan simulasi mesh heksahedral hasilnya lebih dekat dengan eksperimen dan membutuhkan waktu iterasi yang lama. Selain itu, hasilnya mesh polihedral membutuhkan waktu komputasi yang lebih sedikit dibanding mesh hexahedral dan mesh tetrahedral. Menggunakan mesh polihedral dalam CFD ditemukan lebih efektif daripada menggunakan elemen tetrahedral.

Kata kunci: CFD, Meshing, Injeksi Molding

ABSTRACT

Determination of the type of mesh and mesh manufacturing density plays a very important role in a simulation, this is due to minimize the time and computational costs. This study presents a comparison of the influence of mesh on CFD analysis. Mesh is the most important part in doing a simulation. Mesh is good, affects the calculation results of a simulation. To simulate internal flow in injection molding cooling channels to make it more accurate. There are three types of mesh that are applied in a simulation of this study, namely: hexahedral, polyhedral, and tetrahedral mesh are applied to simulate the internal flow of cooling channel injection molding using the k-epsilon turbulence model. Simulation results show that the simulation method using the polyhedral mesh is proposed to be able to speed up calculations and accelerate the convergence of the simulation as evidenced by an iteration graph. The use of polyhedral mesh in CFD simulations is more effective than using tetrahedral or hexahedral mesh. However, the use of hexahedral mesh simulation results is closer to the experiment and requires a long iteration time. In addition, the result is polyhedral mesh requires less computational time than hexahedral mesh and tetrahedral mesh. Using polyhedral mesh in CFD was found to be more effective than using tetrahedral elements.

Keyword: CFD, Meshing, Injection Molding

1. PENDAHULUAN

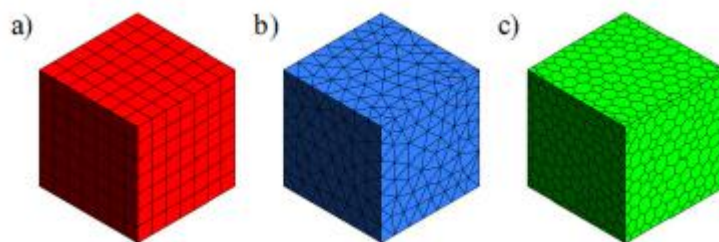
Perkembangan teknologi computer saat ini berkembang sangat pesat, perkembangan teknologi tersebut akan berdampak pada kekuatan komputasi untuk sebuah simulasi. Penelitian CFD menjadi semakin menarik untuk diteliti. Namun memprediksi dengan menggunakan simulasi yang akurat dan handal merupakan sebuah tantangan [1]. Pembuatan mesh merupakan bagian yang membutuhkan waktu dan bagian terpenting dari analisis CFD. Secara garis besar, pembuatan mesh memerlukan lebih dari setengah waktu yang dibutuhkan sebelum pra-pemrosesan dan pengaturan diskritisasi analisis CFD. Faktor yang mempengaruhi waktu

komputasi antara lain, seperti pengetahuan dan keahlian, kekuatan pemrosesan, dan jenis mesh yang digunakan. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa tipe mesh merupakan faktor yang penting untuk mendapatkan solusi yang akurat dengan biaya komputasi rendah [2].

Saat ini telah diterapkan berbagai metode matematika baru untuk menyelidiki beberapa kasus [3] yang berkaitan dengan sains kontemporer [4] dan teknologi [5-7]. Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan salah satu metode yang dimaksud, kemudian untuk penerapannya digunakan sebagai alat penelitian umum di bidang industri termasuk otomotif [8] dan [9], teknik sipil [10-14], teknik listrik [15, 16] dan lainnya [17].

Penggunaan CFD memungkinkan untuk desain dan peningkatan produk berbiaya komputasi yang rendah. Penggunaan metode numerik sebagai alat untuk menyelesaikan persamaan diferensial nonlinier yang menggambarkan aliran fluida, perpindahan panas dan massa, reaksi kimia (pembakaran) dan lainnya. Pada umumnya persamaan yang disebutkan di atas, tidak memiliki solusi analitis, oleh sebab itu, penggunaan metode numerik diharapkan mampu diterapkan untuk menyelesaikannya. Tingkat perkiraan berkontribusi pada keandalan hasil yang diperoleh karena kesalahan pembulatan dan kesalahan pemotongan mempengaruhi akurasi solusi. Kesalahan pemotongan dapat diminimalkan dengan meningkatkan tahap pra-pemrosesan CFD, yang merupakan diskritisasi domain komputasi (meshing). Ini sangat berkontribusi pada kualitas hasil yang diperoleh serta stabilitas numerik dan konvergensi dari kasus yang diselidiki [18, 19].

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah sebuah metode pendekatan numeric yang bertujuan untuk menyelesaikan suatu persamaan diferensial nonlinear, serta mampu menggambarkan aliran fluida yang dianalisis. Metode numeric dapat diterapkan pada penelitian sebagai pengganti metode analitik untuk menyelesaikannya. Pada tahapan CFD ini terdiri dari diskritisasi domain komputasi menjadi banyak volume (sel) terbatas. Memperbaiki mesh komputasi sangat berkontribusi terhadap hasil stabilitas numerik model dan akibatnya keakuratan hasil yang didapat [14, 16]. Selain itu, jenis elemen mesh sangat mempengaruhi difusi numerik serta kualitas dan waktu konvergensi. Tiga jenis mesh umumnya diterapkan pada CFD: elemen heksahedral (Gbr. 1 merah), elemen tetrahedral (Gbr. 1 biru) dan elemen polyhedral (Gambar) [31].



Gambar 1 (a) Mesh Hexahedral (b) Mesh Tetrahedral (c) Mesh Polyhedral

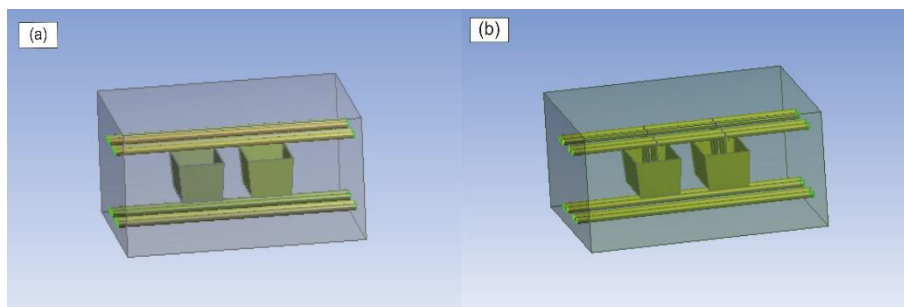
Secara umum, keakuratan perhitungan dan biaya komputasi ditentukan oleh jumlah selnya, semakin banyak selnya menunjukkan keakuratan dan biayanya tinggi, tetapi ini tidak selalu benar. Memilih jenis elemen yang tepat dan metodologi pembuatan grid akan memperoleh solusi yang akurat dan handal, seperti halnya dalam pembentukan grid terstruktur dan tidak terstruktur. Pada bidang akademik dan industri, jenis elemen heksahedral, tetrahedral, dan polihedral dan kombinasinya sering digunakan untuk memecahkan analisis CFD. Pada saat ini, elemen jenis heksahedral yang sering digunakan karena keakuratan perhitungan mendekati nyata. Namun, pada pembuatan elemen mesh heksahedral untuk geometri kompleks membutuhkan waktu dan ketrampilan khusus. Sebaliknya, jenis elemen tetrahedral mudah untuk pembuatannya dan membutuhkan biaya komputasi yang lebih sedikit bahkan untuk geometri yang kompleks. Namun, probabilitas difusi numerik tinggi. Selanjutnya, kepadatan tinggi tetra kecil atau elemen prisma dikurangkan untuk perawatan dinding dekat.

Jenis mesh hexahedral dan tetrahedral telah dipelajari dengan baik. Baru-baru ini, beberapa peneliti telah menggunakan elemen polihedral daripada elemen tetrahedral [22, 23]. Mereka menyimpulkan bahwa elemen polihedral mampu mengatasi perbedaan yang terkait dengan elemen tetrahedral dan elemen hexahedral. Namun, elemen polyhedral secara komputasi lebih mahal dalam beberapa kasus karena geometri kompleksnya [24]. Pada tahun sebelumnya, jenis elemen polyhedral belum mendapat perhatian khusus karena tidak tersedianya algoritma untuk polyhedral mesh dalam kode analisis CFD. Namun, seiring perkembangan waktu dan tuntutan dunia industri dan akademik, beberapa tahun terakhir ini, elemen mesh polihedral mendapatkan perhatian lebih. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, mendorong penulis untuk menyelidiki penggunaan jenis mesh untuk kasus kasus yang ada pada dunia industri.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pengaturan Eksperimental

Penelitian analisis hasil meshing yang akan dilakukan merupakan hasil pengembangan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [25] mold injeksi yang dilengkapi dengan saluran pendingin lurus dan konformal, desain menggunakan gambar 3D kemudian disimpan dalam format * iges agar dapat diproses ANSYS Fluent, dimensi ukuran mold injeksi yakni 300x260x140mm, material mold yang digunakan merupakan adalah baja karbon. Ilustrasi mold injeksi dapat dilihat pada Gambar. 1. Jarak saluran pendingin dengan produk dan jarak masing-masing saluran sebesar 20 mm. Mungkin dengan jarak dan diameter tersebut mampu memberikan kinerja pendinginan yang lebih baik untuk proses pencetakan injeksi.



Gambar 1. (a) Mold Injeksi Saluran Lurus (b) Mold Injeksi Saluran Konformal

Sifat fisik dan termal dari material polypropylene, mold dan pendinginan adalah sebagai berikut [30]:

	Material Produk	Material Mold	Material Pendingin
Massa Jenis	1.7 kg/m ³	8030 kg/m ³	998.2 kg/m ³
Kapasitas Panas Spesifik	1441 J/kg.K	502.48 J/kg.K	4182 J/kg.K
Konduktifitas Thermal	0.0168 W/m.K	16.27 W/m.K	0.6 W/m.K

Daerah yang dianalisis akan dibatasi pada daerah cavity plate, produk dan core plate, yang dilengkapi saluran pendinginan lurus dan saluran pendingin konformal dengan diameter 8mm, hal tersebut dilakukan untuk mempermudah dalam mengatasi permasalahan simulasi, selain itu, dengan pertimbangan bahwa terjadinya perpindahan kalor yang secara signifikan hanya terjadi pada bagian tersebut, sedangkan pada bagian lainnya dianggap tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

2.2 Model Perhitungan

Pada penelitian ini, model turbulensi Renormalization Group (RNG) standart k epsilon adalah digunakan untuk analisis. Penelitian dengan menggunakan model perhitungan RNG juga dilakukan oleh [26] Persamaan yang mengatur model turbulensi RNG k epsilon untuk jumlah turbulen (k, epsilon) diberikan sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial i}(\rho k \mu_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[a_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_K + G_b - \rho \epsilon - Y_m + S_k \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon \mu_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[a_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\delta} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\delta} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} S_\delta \quad (2)$$

Keterangan:

G_K = Generasi Energi Turbulen Kinetik

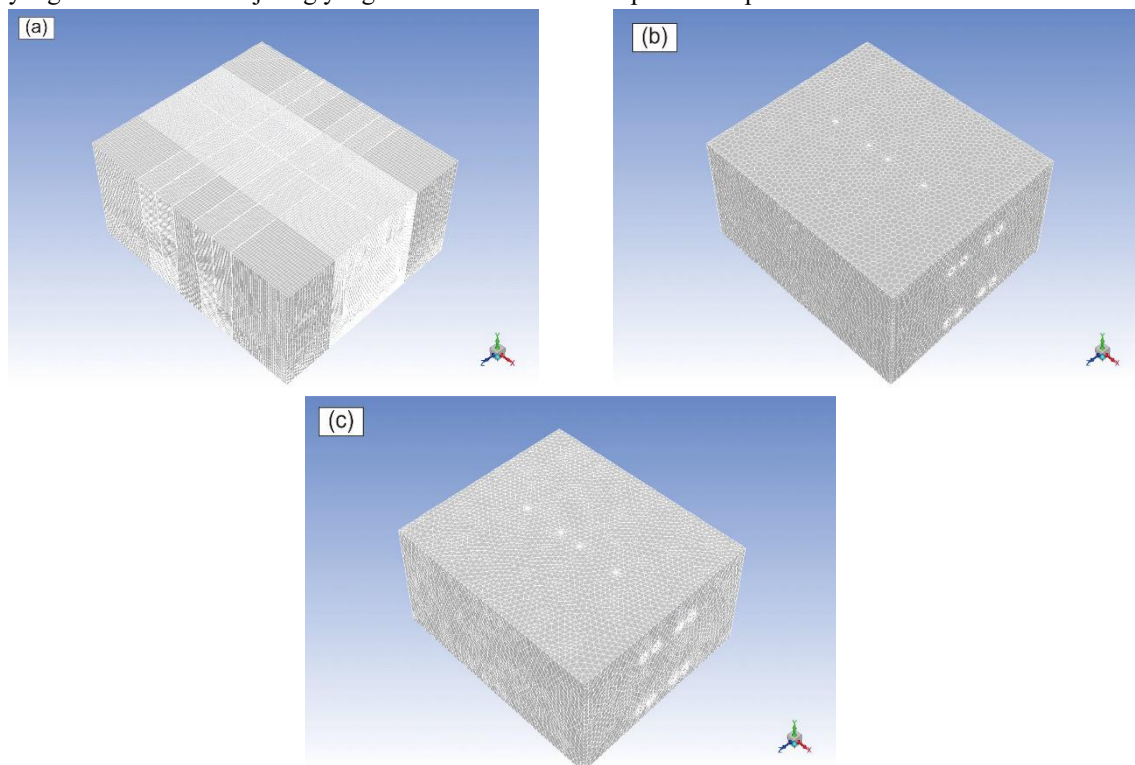
G_b = Generasi Energi Turbulen Kinetik Daya Apung

Y_m = Rasio Dilatasi Fluktuasi Kompresibel Turbulensi

2.3 Meshing

Mesh merupakan tahapan yang paling rumit dalam sebuah simulasi. Apabila terjadi kesalahan sedikit pun, meshing maka berakibat terjadinya eror dan gagal. Bila hal ini terjadi, maka dalam tahap ini harus diulang. Semakin besar jumlah elemen *meshing* maka hasil *meshing* semakin halus dan bisa mendapatkan hasil yang lebih akurat. Namun perlu diingat bahwa semakin besar elemen yang kita buat, dalam proses simulasi numeric semakin berat dan berlangsung lama dan menghasilkan file yang semakin besar [27].

Pada penelitian ini, tiga jenis elemen meshing di analisa dan dievaluasi menggunakan skema diskritisasi yang sama dan ukuran jaring yang berbeda. Hasil mesh dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Meshing Saluran Pendingin Lurus dan Konformal (a) Mesh hexahedral (b) Mesh Polyhedral (c) Mesh Tetrahedral

2.4 Konvergensi

Terdapat tiga parameter penting terkait dengan validasi hasil simulasi komputasi, yaitu konvergensi, *grid independence* dan verifikasi dengan hasil eksperimen [29]. Konvergensi diartikan sebagai penentuan jumlah iterasi dan batas *Root Mean Square (RMS)* sebelum kita melakukan perhitungan CFD dilakukan. Langkah ini dilakukan pada tahap *solver* yang merupakan tahap penentuan berbagai kondisi batas yang harus diterapkan sebelum proses simulasi dilakukan. Jumlah iterasi yang digunakan berpengaruh terhadap jumlah waktu yang dibutuhkan untuk proses simulasi. Semakin banyak jumlah iterasi yang diterapkan maka waktu yang dibutuhkan juga semakin banyak untuk proses simulasi.

Banyaknya iterasi yang dibutuhkan berbanding lurus dengan jumlah keseluruhan elemen yang digunakan pada proses pemodelan. Semakin banyak jumlah total elemen/grid yang digunakan maka jumlah iterasi yang dibutuhkan juga semakin banyak. Berhentinya proses iterasi dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu proses iterasi telah mencapai batas dari jumlah iterasi yang telah ditentukan dan proses iterasi telah mencapai batas konvergensi yang ditentukan. Konvergensi optimum dapat diperoleh jika proses iterasi berhenti disebabkan oleh proses iterasi telah mencapai batas konvergensi yang ditentukan. Besarnya nilai

yang digunakan sebagai batas konvergensi atau batas *root mean square* yang banyak digunakan pada penelitian terkait dengan perilaku fluida adalah sebesar 10^3 . Nilai ini merupakan nilai konvergensi terbaik dan telah banyak digunakan pada berbagai perhitungan aplikasi teknik [20, 21].

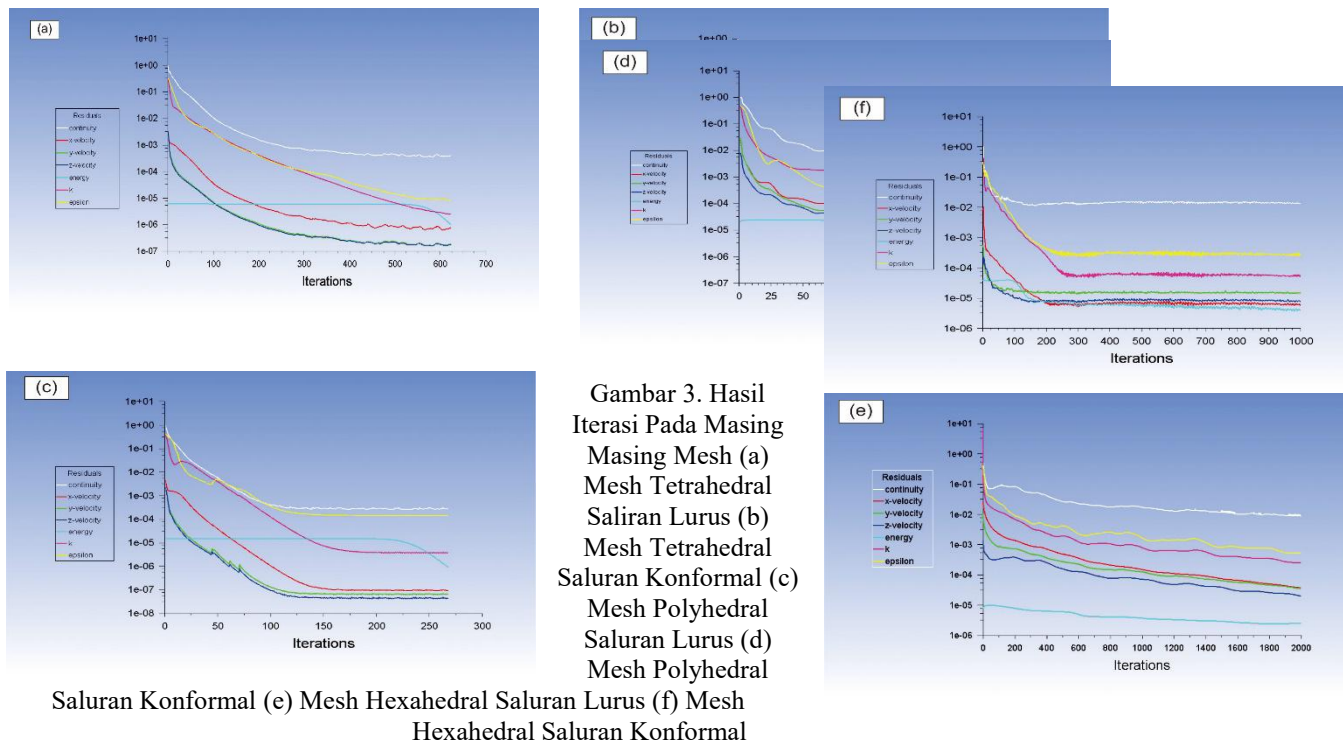
3. HASIL DAN ANALISIS (10 PT)

Jenis mesh heksahedral dibuat menggunakan software pointwise, mesh tetrahedral dihasilkan dengan menggunakan CFD Fluent manual. Kemudian, untuk jenis mesh polyhedral dihasilkan dari proses mesh tetrahedral yang dirubah menjadi polyhedral elemen dengan menggunakan CFD Fluent. Tingkat konvergensi pada penelitian ini adalah (1×10^{-3}) untuk semua jenis mesh. Jumlah cells, face dan nodes pada tiap jenis mesh dapat dilihat pada Tabel 2.

Bagian	Jenis Mesh					
	Mesh Tetrahedral		Mesh Hexahedral		Mesh Polyhedral	
	Lurus	Konformal	Lurus	Konformal	Lurus	Konformal
Cells	5165769	1683292	2451598	5604384	1073499	691619
Face	10537964	3555821	7617771	17731788	6948302	3575722
Nodes	968698	399036	2575976	5968231	5772350	2530340

3.2 Konvergensi

Pada analisis CFD, beberapa faktor yang mempengaruhi konvergensi suatu simulasi didasarkan pada ukuran mesh dan diskritisasi skema. Konvergensi juga tergantung pada bentuk geometri suatu benda yang akan disimulasikan, semakin kompleks bentuk dari geometrinya maka akan membutuhkan lebih banyak waktu untuk mencapai konvergen. Iterasi pada masing-masing mesh dapat dilihat pada Gambar 3.



Berdasarkan gambar 3 iterasi diatas menunjukkan hasil iterasi pada semua jenis mesh. Jenis mesh heksahedral konvergen pada jumlah >1000 iterasi, dan jenis mesh tetrahedral dan polyhedral konvergen pada jumlah <1000 hal ini dikarenakan jumlah cell, face, dan nodenya lebih sedikit dibanding dengan mesh lainnya, sehingga waktu komputasi yang dilakukan oleh computer semakin lebih cepat. Pada analisis CFD, tingkat konvergensi ditentukan pada ukuran mesh dan diskritisasi skema. Konvergensi juga tergantung pada geometri bentuk yang akan disimulasikan, bentuk geometri yang kompleks akan membutuhkan lebih banyak waktu komputasi [28].

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis penggunaan jenis mesh polyhedral, mesh tetrahedral dan hexahedral pada penggunaan simulasi aliran sistem pendingin injeksi molding. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode simulasi menggunakan mesh polyhedral yang diusulkan mampu mempercepat perhitungan serta mempercepat mencapai konvergensi hal tersebut dibuktikan dengan grafik iterasi. Penggunaan mesh polyhedral pada simulasi CFD lebih efektif daripada menggunakan mesh tetrahedral maupun hexahedral. Namun, Penggunaan simulasi mesh heksahedral hasilnya lebih dekat dengan eksperimen dan membutuhkan waktu iterasi yang lama. Selain itu, hasilnya mesh polihedral membutuhkan waktu komputasi yang lebih sedikit dibanding mesh hexahedral dan mesh tetrahedral. Menggunakan mesh polihedral dalam CFD ditemukan lebih efektif daripada menggunakan elemen tetrahedral. Penggunaan jenis mesh heksahedral, umumnya digunakan untuk geometri sederhana karena tingkat keakurasiannya yang tinggi dan konvergensi yang stabil. Apabila mesh jenis hexahedral digunakan untuk geometri yang sangat kompleks maka sangat membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai konvergensi akibatnya biaya komputasi yang dikeluarkan semakin besar. Oleh karena itu, penggunaan elemen heksahedral terbatas pada benda sederhana dan simetris. Tetrahedral dan elemen polihedral digunakan dalam rumit dan benda tidak simetris. Pada penelitian ini, mesh jenis polihedral membuktikan lebih unggul dibanding jenis mesh yang lainya pada kasus simulasi sistem pendingin pada injeksi molding. Analisis konvergensi menunjukkan bahwa mesh jenis polihedral, konvergensiya cepat dibandingkan dengan mesh jenis tetrahedral. Selanjutnya, iterasi lebih sedikit dalam elemen polihedral pada saat yang sama tingkat kriteria konvergensi. Apalagi preprocessing waktu elemen polihedral lebih rendah daripada waktu elemen tetrahedral.

UCAPAN TERIMAKASIH (10 PT)

Penulis juga berterima kasih kepada staf PT. ATMI Surakarta, Staf Laboratorium Perpindahan panas dan Massa, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada serta Staf Laboratorium Komputasi, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Blocken B., "50 years of Computational Wind Engineering: Past, present and future", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 129, 69–102. doi:10.1016/j.jweia.2014.03.008.
- [2] Hefny, M. M., and Ooka, R., "Influence of Cell Geometry and Mesh Resolution on Large Eddy Simulation Predictions of Flow around A Single Building", *Building Simulation*, 1(3), 251–260. Doi: 10.1007/s12273-008-8321-7. 2008.
- [3] Yaqin, R.I., Siahaan, J.P., & Pranoto, S.H., "Analisis Tegangan *Propeller* Kapal Penangkap Ikan Di Kota Dumai Menggunakan *Finite Element Analysis*", *Jurnal Teknologi Terapan* 5(2), 57-65. 2019.
- [4] Krzywanski, J., Grabowska, K., Herman, F., Pyrka, P., Sosnowski, M., Prauzner T., & Nowak, W. "Optimization of a three-bed adsorption chiller by genetic algorithms and neural networks". *Energy Conversion and Management*, 153, 313-322. 2017.
- [5] Mazal, J., Stodola, P., Prochazka, D., Kutej, L., Scurek, R., & Prochazka, J. "Modelling of the UAV Safety Manoeuvre for the Air Insertion Operations". *International Workshop on Modelling and Simulation for Autonomous Systems*, 337-346. 2016.
- [6] Sztekler, K., Kalawa, W., Nowak, W., Stefanski, S., Krzywanski, J., & Grabowska, K. "Using the adsorption chillers for utilisation of waste heat from rotary kilns". *International Conference on Experimental Fluid Mechanics (EFM)*, Mikulov, Czech Republic, 650-653. 2017.
- [7] Sztekler, K., Kalawa, W., Nowak, W., Stefanski, S., Krzywanski, J., & Grabowska, K. "Using the adsorption chillers for waste heat utilisation from the CCS installation". *International Conference on Experimental Fluid Mechanics (EFM)*, Mikulov, Czech Republic, 654-657. 2017.
- [8] Jamrozik, A., Tutak, W., Kociszewski, A., & Sosnowski, M. "Numerical simulation of two-stage combustion in SI engine with prechamber". *Applied Mathematical Modelling*, 37, 5, 2961-2982. 2013.
- [9] Jamrozik, A., Tutak, W., Gnatowski, A., Gnatowska, R., Winczek, J., & Sosnowski, M. "Modeling of thermal cycle CI engine with multi-stage fuel injection". *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 11, 3, 179-186. 2017.
- [10] Gnatowska, R. "A study of downwash effects on flow and dispersion processes around buildings in tandem arrangement". *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(4), 1571-1577. 2015.

- [11] Gnatowska, R. (2008). "Synchronization phenomena in systems of bluff-bodies". *International Journal of Turbo and Jet Engines*, 25, 2, 121-128. 2008.
- [12] Gnatowska, R. (2011). "Aerodynamic characteristics of three-dimensional surface-mounted objects in tandem arrangement". *International Journal of Turbo and Jet Engines*, 28, 1, 21-29. 2011
- [13] Moryn-Kucharczyk, E., & Gnatowska, R., "Pollutant dispersion in flow around bluffbodies arrangement". in *Wind Energy*, Springer, 49-53. 2007
- [14] Gnatowska, R., "Aerodynamic characteristics of two-dimensional sharp-edged objects in tandem arrangement". *Archives of Mechanics*, 60, 6, 475-490. 2008.
- [15] Krzywanski, J., Szyk, M., Nowak, W., & Kolenda, Z. "Experience in modelling of a single-stage silica gel-water adsorption chiller". *Technical Sciences/University of Warmia and Mazury in Olsztyn*. 2016.
- [16] Sosnowski, M., Krzywanski, J., & Gnatowska, R. "Polyhedral meshing as an innovative approach to computational domain discretization of a cyclone in a fluidized bed CLC unit in *Energy and Fuels*", 14, Suwala, W., Dudek, M., Leszczynski, J., & Lopata, S., Eds. 2017.
- [17] Sosnowski, M. "Computer aided optimization of a nozzle in around-the-pump fire suppression foam proportioning system". *Engineering Mechanics* 2017, 914-917. 2017
- [18] Sosnowski, M. "Computational domain discretization in numerical analysis of flow within granular materials". *International Conference on Experimental Fluid Mechanics (EFM)*, Mikulov, Czech Republic, 582-588. 2017.
- [19] Sosnowski, M., Krzywanski, J., Grabowska, K., & Gnatowska, R. "Polyhedral meshing in numerical analysis of conjugate heat transfer". *International Conference on Experimental Fluid Mechanics (EFM)*, Mikulov, Czech Republic, 589-594. 2017
- [20] CFX, CFX Manual VII, Ansys 2007
- [21] Dinham, T.A., Craddock, C., Lebas, A., and Ganguly, A., "Use of CFD for hull form and appendage design assessment on a offshore patrol vessel and identification of a wake focusing effect", *RINA Marine CFD Conference*, Southampton, UK., 2008.
- [22] M. Peri C, "Simulation of flows in complex geometries: New meshing and solution methods", In *NAFEMS Seminar: Simulation of Complex Flows (CFD), Application and Trends*, 2004.
- [23] Rao V. Garimella, Jibum Kim, and Markus Berndt, "Polyhedral mesh generation and optimization for non-manifold domains", Josep Sarrate and Matthew Staten, editors, *Proceedings of the 22nd International Meshing Roundtable*, pages 313-330, Springer Internat. 2014.
- [24] Berg, M. De, Cheong, O., Kreveld, M. Van, and M. O. Mark, "Computational Geometry Algorithms and Applications", *Springer*, 2008.
- [25] Angger B.P and Fauzun, "Numerical Study of Effect of Cooling Channel Configuration and Size on The Product Cooling Effectiveness in The Plastic Injection Molding" *Matec Web of Conferences* 197, 0809., 2018
- [26] Yakhot, V., Orszag, S. A., Thangam, S., Gatski, T. B., and Speziale, C. G. "Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique", *Physics of Fluids A: Fluid Dynamics*, 4(7), 1510. doi:10.1063/1.858424. 1992.
- [27] Yan N. B., Untung B., Muhammad I. "Estimasi Hambatan Total Kapal Tanker Kvlcc2m Dengan Menggunakan Cfd" *Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 3, No.4*. 2015.
- [28] M Zahid I., dan Als Chan. "A Study Of The Effect Of Element Types On Flow And Turbulence Characteristics Around An Isolated High-Rise Building" *Eleventh International Conference On Cfd In The Minerals And Process Industries*. 2015.
- [29] Doddy H., "Analisis CFD Hambatan Viskos Katamaran Tak Sejajar (Staggered) Dengan Variasi Penempatan Posisi Demihull Secara Memanjang Dan Melintang" *Tugas Akhir*, MN091382. 2015.
- [30] Ansys, User's Guide, Fluent inc 2011.
- [31] Sosnowski M., "The Influence of Computational Domain Discretization on CFD Results Concerning Aerodynamics of a Vehicle" *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics* 2018, 17(1), 79-88, DOI: 10.17512/jamcm.2018.1.08