

Simulasi Aliran pada Proses Pengecoran *Connecting Rod* Berbahan Aluminium 7075 untuk Mesin Motor 150 cc dengan Variasi Tinggi *Sprue* Cetakan dan Temperatur Penuangan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Farid Miftahul Anwar, Mas Irfan Purbawanto Hidayat, dan Mavindra Ramadhani
Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: irfan@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—*Connecting rod* saat ini dimanufaktur melalui tiga metode yaitu *forging*, *powder metallurgy*, dan *casting*. Secara ekonomi, proses *casting* merupakan yang paling murah dibanding metode lain. Pada proses melakukan *casting* seringkali menggunakan *trial and error* untuk mendapatkan parameter *casting* yang dapat menghasilkan produk yang baik. Maka saat ini mulai digunakanlah simulasi numerik untuk menekan biaya produksi. Sudah banyak perangkat lunak yang diciptakan untuk mensimulasikan proses *casting*, namun banyak juga biaya yang dibutuhkan untuk membeli perangkat lunak tersebut. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian mengenai simulasi numerik *casting* menggunakan perangkat lunak numerik umum yaitu ANSYS Workbench. ANSYS Workbench menyediakan berbagai fitur analisis sehingga sebuah perangkat hanya perlu menggunakan satu perangkat lunak untuk berbagai kebutuhan. Salah satu di dalamnya adalah ANSYS Fluent yang berguna menganalisis perilaku suatu fluida. Seperti diketahui proses pengisian cetakan harus menghindari aliran turbulen agar didapat produk cor yang baik. Parameter yang diamati pada penelitian ini adalah *pouring temperature* dan tinggi *sprue* cetakan terhadap sifat logam cair di dalam cetakan pada pengecoran *connecting rod*. Variasi tinggi *sprue* yang digunakan adalah 20 mm, 60 mm, dan 100 mm. Sedangkan untuk variasi temperatur penuangan adalah 715°C, 740°C, dan 765°C. Untuk material yang digunakan untuk *connecting rod* adalah aluminium 7075. Langkah-langkah penelitian ini dimulai dari desain model *connecting rod* dan *gating system*, kemudian melakukan simulasi dan analisis hasil. Berdasarkan simulasi ini, model yang memiliki intensitas turbulensi terkecil adalah tinggi *sprue* 20 mm dengan temperatur penuangan 740°C dan 765°C. Untuk fraksi volume logam terbesar yang masuk ke dalam rongga cetak terjadi pada model tinggi *sprue* 20 mm dengan temperatur penuangan 740°C. Dengan mempertimbangkan dua variabel tersebut, maka model pengecoran *connecting rod* untuk mesin motor 150 cc yang paling baik adalah menggunakan tinggi *sprue* 20 mm dengan temperatur penuangan 740°C.

Kata Kunci—ANSYS, Pengecoran, Simulasi.

I. PENDAHULUAN

CONNECTING *rod* merupakan komponen mesin pembakaran dalam. Proses pembuatan *connecting rod* bermacam-macam. Rujukan menjelaskan proses pembuatan *connecting rod* meliputi *forging*, *powder metallurgy*, dan pengecoran [1]. Metode pengecoran digunakan karena biaya manufaktur yang paling rendah, namun sifat mekaniknya yang dihasilkan juga rendah. *Connecting rod* dengan cara dicor hanya digunakan untuk mesin berkekuatan rendah



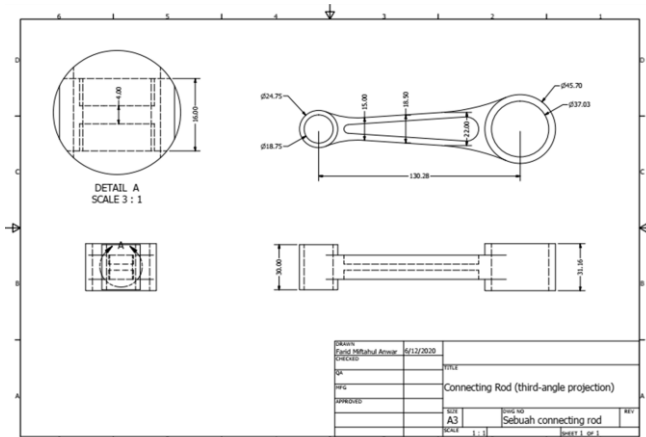
Gambar 1. Model 3 dimensi *connecting rod* mesin motor 150 cc.

seperti sepeda motor. Rujukan menjelaskan produk dengan jumlah lebih dari 100 unit, biaya yang paling rendah adalah menggunakan *permanent mold casting* [2]. Dimensi *connecting rod* perlu untuk diperhitungkan secara teoritis agar dalam pengaplikasiannya sesuai dengan kondisi yang terdapat dalam mesin pembakaran dalam. Rujukan melakukan perbandingan antara perhitungan teoritis dengan *connecting rod* yang sebenarnya [3]. Didapatkan hasil perhitungan teoritis mampu mendekati dimensi benda sebenarnya.

Untuk pembuatan cetakan *connecting rod*, bentuk yang biasanya dipakai adalah dalam satu cetakan berisi 8 *connecting rod* [4]. Perbandingan proses manufaktur *connecting rod* dari segi biaya telah dilakukan penelitian oleh A. B. Sidhpara et.al (2013) [5]. Didapatkan hasil bahwa proses produksi pengecoran *connecting rod* membutuhkan biaya lebih rendah dibandingkan proses *forging*. Bahan yang digunakan untuk *connecting rod* pada umumnya adalah *forged steel* dan aluminium 7075. Rujukan melakukan simulasi sifat mekanik dari kedua bahan tersebut [6]. Keuntungan yang didapat dari penggunaan bahan aluminium 7075 untuk *connecting rod* adalah beratnya menjadi 3 kali lebih rendah dibanding *forged steel*. Berat yang lebih rendah ini berguna untuk meningkatkan kecepatan rotasi per menit (rpm). Dalam proses pengisian cetakan pengecoran, hal yang perlu dipelajari adalah fluiditas. Fluiditas adalah kemampuan logam cair mengalir mencapai jarak tertentu. Rujukan melakukan penelitian mengenai fluiditas ini menggunakan simulasi komputer [7]. Hasil yang didapat adalah temperatur penuangan tinggi dapat meningkatkan fluiditas dan kecepatan

Tabel 1.
Dimensi model *connecting rod* mesin motor 150 cc

No.	Bagian	Nilai
1	t (I-section)	4 mm
2	Panjang <i>connecting rod</i>	130,275 mm
3	Diameter dalam <i>big end</i>	37,03 mm
4	Diameter luar <i>big end</i>	45,697 mm
5	Ketebalan <i>big end</i>	31,157 mm
6	Diameter dalam <i>small end</i>	18,75 mm
7	Diameter luar <i>small end</i>	24,75 mm
8	Ketebalan <i>small end</i>	30 mm
9	Lebar	16 mm
10	Tinggi pada bagian tengah	20 mm
11	Tinggi pada <i>small end</i>	15 mm
12	Tinggi pada <i>big end</i>	22 mm

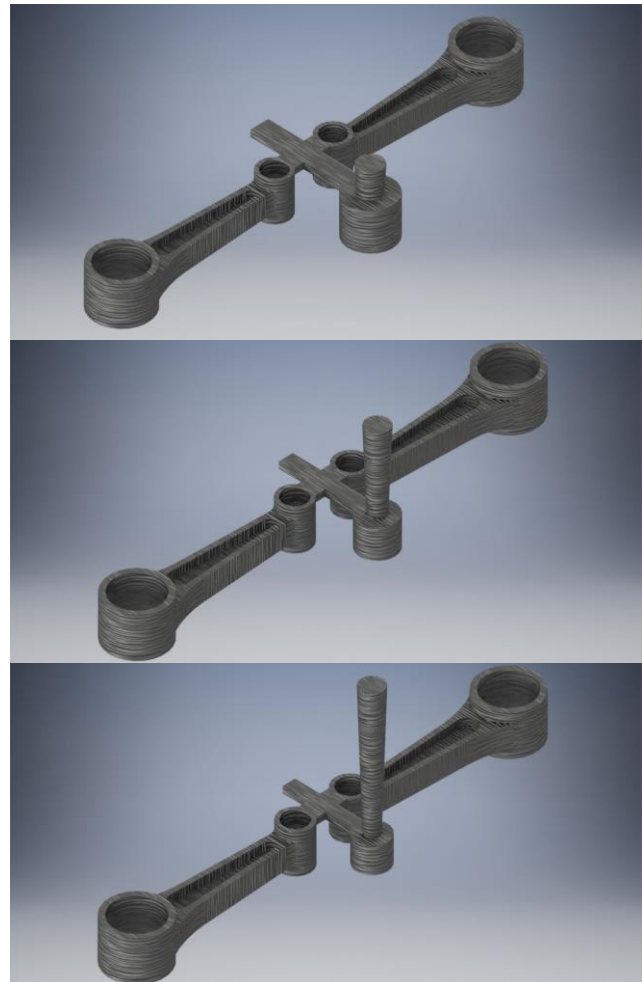


Gambar 2. Gambar teknik *connecting rod* mesin motor 150 cc.

aliran, namun temperatur penuangan tinggi menyebabkan kemungkinan terjadi cacat permukaan semakin besar.

Dalam pengecoran yang perlu diperhatikan lagi adalah *gating system*. *Gating system* adalah saluran logam cair sebelum masuk ke cetakan produk. Secara umum terdapat tiga jenis *gating system* yaitu *top*, *bottom*, dan *parting gating system*. Rujukan telah melakukan eksperimen pengecoran untuk membandingkan ketiga jenis *gating system* tersebut. Hasil yang didapat adalah persentase porositas terkecil adalah dengan model *parting line gating system* [8]. *Top gating system* memiliki ketinggian jatuh logam cair paling besar sehingga menyebabkan aliran turbulensi. Aliran turbulensi menyebabkan terperangkapnya udara di dalam rongga cetakan. Selain itu ketinggian yang besar menyebabkan erosi pada cetakan. *Bottom gating system* tidak menyebabkan aliran turbulen karena aliran masuk melalui bawah rongga cetakan, namun menyebabkan erosi pada bagian bawah cetakan. Bahan lain yang sering digunakan juga untuk *connecting rod* adalah aluminium A360. Rujukan telah menyimulasikan sifat mekanik dari *connecting rod* berbahan aluminium 7075 [9]. Dari analisis sifat mekanik disimpulkan bahwa aluminium 7075 mampu digunakan untuk material *connecting rod* kendaraan roda dua sebagai alternatif material selain yang sudah ada yaitu A360. Proses simulasi pengecoran dapat menggunakan berbagai perangkat lunak yang sudah ada. Rujukan telah melakukan simulasi pengecoran menggunakan perangkat lunak umum yaitu ANSYS Fluent [10]. Hasil yang didapatkan adalah simulasi untuk aliran logam cair dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent.

Dalam ANSYS Fluent model yang digunakan untuk simulasi pengecoran adalah model multifasa, model energi,



Gambar 3. Model 3 dimensi benda cor dengan tinggi *sprue* (a) 20 mm (b) 60 mm (c) 100 mm.

dan model turbulensi. Model yang digunakan untuk turbulensi dalam pengecoran adalah RNG k-epsilon, karena aliran di *runner* sering mengalami turbulensi [11]. Kemudian untuk bahan cetakan pengecoran yang paling baik digunakan untuk cetakan permanen aluminium adalah baja perkakas H13 [12]. Berdasarkan teori, tinggi *sprue* merupakan dimensi yang pertama kali ditentukan dalam pembuatan *gating system* [13]. Dalam penentuan tinggi *sprue* tidak ada persamaan khusus, namun menggunakan pengalaman pelaku pengecoran. Maka dari itu, dalam simulasi ini digunakanlah tinggi *sprue* sebagai variabel. Rujukan melakukan penelitian yang berjudul pengaruh tinggi *sprue* terhadap sifat mekanik besi cor ber dinding tipis (*thin wall ductile iron*) [14]. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan adanya tren penurunan kekerasan dan kekuatan tarik seiring bertambahnya tinggi *sprue*. Aliran yang jatuh dari jarak besar akan memiliki energi kinetik yang lebih besar dibanding yang jatuh dari jarak yang lebih kecil. Energi kinetik besar dapat menimbulkan aliran turbulen. Energi turbulen besar bisa menyebabkan erosi cetakan dan terperangkapnya udara di dalam benda cor. Namun di samping itu, kecepatan aliran yang kecil dapat menyebabkan cacat *cold shut*.

Temperatur penuangan tidak bisa didapatkan secara pasti. Temperatur penuangan yang terlalu mendekati titik beku akan menyebabkan pendinginan, sedangkan temperatur yang terlalu tinggi menyebabkan kerusakan pada cetakan cor. Rujukan menjelaskan temperatur penuangan penting dipelajari karena apabila temperatur penuangan terlalu

Tabel 2.
Dimensi *gating system* untuk masing-masing tinggi *sprue*

Tinggi <i>sprue</i>	<i>Gating system</i>	Dimensi
20 mm	Kedalaman <i>sprue base well</i>	29,853 mm
	Diameter <i>sprue base well</i>	38,009 mm
	Panjang <i>runner extension</i>	30,408 mm
	Lebar <i>runner</i>	15,204 mm
	Tinggi <i>runner</i>	5 mm
	Lebar <i>ingate</i>	15 mm
	Tinggi <i>ingate</i>	5 mm
	Panjang <i>runner</i>	64,412 mm
	Diameter <i>choke</i>	16,998 mm
	Diameter atas <i>sprue</i>	19,323 mm
60 mm	Kedalaman <i>sprue base well</i>	22,683 mm
	Diameter <i>sprue base well</i>	28,881 mm
	Panjang <i>runner extension</i>	23,105 mm
	Lebar <i>runner</i>	11,552 mm
	Tinggi <i>runner</i>	5 mm
	Lebar <i>ingate</i>	15 mm
	Tinggi <i>ingate</i>	5 mm
	Panjang <i>runner</i>	52,545 mm
	Diameter <i>choke</i>	12,916 mm
	Diameter atas <i>sprue</i>	17,847 mm
100 mm	Kedalaman <i>sprue base well</i>	19,964 mm
	Diameter <i>sprue base well</i>	25,418 mm
	Panjang <i>runner extension</i>	20,335 mm
	Lebar <i>runner</i>	10,167 mm
	Tinggi <i>runner</i>	5 mm
	Lebar <i>ingate</i>	15 mm
	Tinggi <i>ingate</i>	5 mm
	Panjang <i>runner</i>	48,044 mm
	Diameter <i>choke</i>	11,367 mm
	Diameter atas <i>sprue</i>	17,798 mm

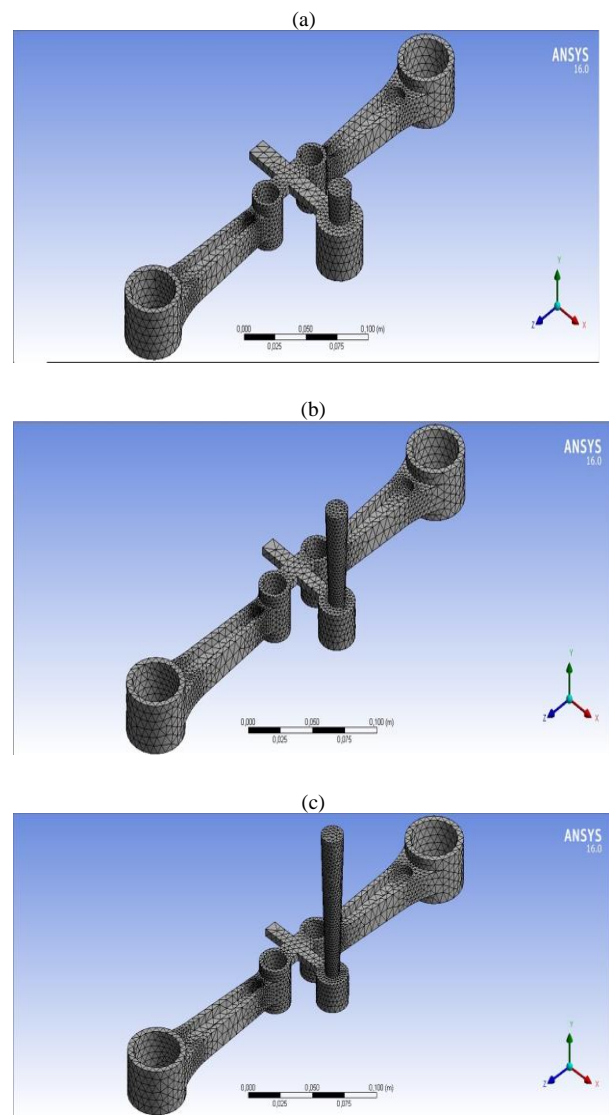
rendah, cetakan tidak terisi penuh disebabkan logam akan membeku terlebih dahulu pada *ingate* [15]. Dan apabila temperatur penuangan terlalu tinggi menyebabkan penyusutan dan akurasi dimensi yang rendah. Temperatur penuangan paduan aluminium biasanya berkisar antara 675-790°C. Dalam penelitian tersebut di dapat kekuatan tarik semakin menurun seiring peningkatan temperatur penuangan. Menurut penelitian lain peningkatan temperatur penuangan dapat meningkatkan jumlah udara yang terperangkap di dalam logam cair [16]. Udara yang tidak bisa keluar dari logam cair akan terperangkap ketika logam membeku sehingga menyebabkan porositas. Porositas ini dapat menyebabkan menurunnya sifat-sifat mekanik produk cor.

II. METODE PENELITIAN

A. Desain Connecting Rod dan Gating System

Sesuai perhitungan didapat dimensi model *connecting rod* untuk mesin motor 150 cc. Model *connecting rod* dibuat menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor Professional 2016*. Nilai dimensi ditabulasikan dalam Tabel 1. Untuk gambar teknik dan gambar model 3 dimensi secara berurutan ditampilkan dalam Gambar 1 dan Gambar 2. Perhitungan dimensi *connecting rod* terdapat pada lampiran.

Dimensi *gating system* berupa ukuran *sprue*, *pouring basin*, *sprue base well*, *choke area*, *runner*, *ingate*, dan *riser*. *Gating system* dibuat menggunakan *Autodesk Inventor Professional 2016*. Pada Gambar 3 ditampilkan gambar 3 dimensi *gating system*. Besar ukuran *gating system* berdasarkan tinggi *sprue* ditabulasikan pada Tabel 2. Contoh perhitungan *gating system* terdapat pada lampiran.



Gambar 4. Hasil proses meshing model (a) 20 mm (b) 60 mm (c) 100 mm.

B. Proses Meshing

Proses simulasi selalu diawali dengan *meshing*. *Meshing* ini terdiri dari kumpulan elemen-elemen dengan bentuk yang bervariasi seperti tetrahedral atau balok. Tiga jenis cetakan dengan masing-masing tinggi *sprue* yang telah dibuat dengan *Autodesk Inventor Professional 2016* dilakukan proses *meshing* menggunakan *ANSYS Fluent 16.0*. Pengaturan *meshing* yang digunakan adalah *relevance* bernilai nol. Hasil *meshing* ditunjukkan pada Gambar 4.

C. Sifat Material Cor dan Cetakan

Sebelum melakukan simulasi perlu memasukkan sifat-sifat material cor dan cetakan. Sifat-sifat ini didapat menggunakan perangkat lunak simulasi sifat material yaitu *JMatPro 7.0*. Sifat material didapat atkan dengan cara memasukkan komposisi masing-masing unsur dari material cor dan cetakan. Sifat-sifat material tersebut ditabulasikan dalam Tabel 3.

D. Variabel dan Proses Simulasi

Simulasi adalah proses penyelesaian hasil dari model 3 dimensi yang telah dilakukan *meshing*. Parameter yang

Tabel 3.
Sifat-sifat material cor dan cetakan

No.	Material	Sifat	Nilai
1	Aluminium	Massa jenis	2470 kg/m ³
2		Massa molekul	26,982 kg/kmol
3		Entalpi standar	-978300 J/kmol
4		Panas jenis	1170 J/kg.K
5		Konduktivitas panas	87,45 W/m.K
6		Viskositas	0,0013 kg/m.s
7	Udara	Viskositas	1,789.10 ⁻⁵ kg/m.s
8		Massa molekul	28,996 kg/kmol
9		Massa jenis	1,225 kg/m ³
10	Tool steel H13	Panas jenis	1006,43 J/kg.K
11		Konduktivitas panas	0,0242 W/m.K
12		Massa jenis	7760 kg/m ³
13		Panas jenis	450 J/kg.K
14		Konduktivitas panas	18,21 W/m.K

Tabel 4.
Nilai parameter yang digunakan dalam simulasi

No.	Parameter	Nilai
1	Percepatan gravitasi	9,8 m/s ²
2	Tekanan operasi	101325 Pa
3	Temperatur operasi	298,15 K
4	Temperatur dinding	298,15 K
5	Tegangan permukaan aluminium	1,031 n/m

Tabel 5.
Kombinasi variabel

	715°C	740°C	765°C
20 mm	20 mm, 715°C	20 mm, 740°C	20 mm, 765°C
60 mm	60 mm, 715°C	60 mm, 740°C	60 mm, 765°C
100 mm	100 mm, 715°C	100 mm, 740°C	100 mm, 765°C

digunakan dalam proses simulasi ditabulasikan dalam Tabel 4.

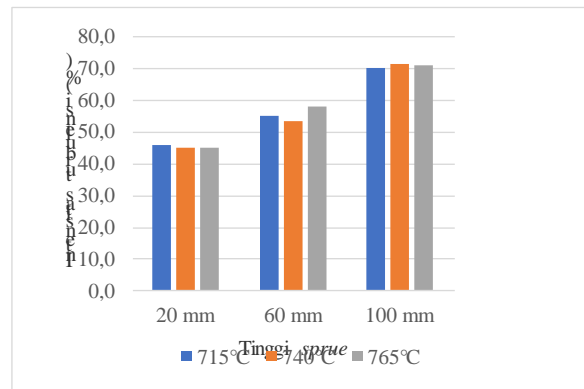
Dalam penelitian ini digunakan dua jenis variasi variabel yaitu tinggi sprue dan temperatur penuangan. Variasi tinggi sprue yang digunakan adalah 20 mm, 60 mm, dan 100 mm. Sedangkan variasi temperatur penuangan yang digunakan adalah 715°C, 740°C, dan 765°C. Maka akan terdapat 9 kombinasi variabel seperti pada Tabel 5.

Dari variabel-variabel tersebut dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent 16.0. Simulasi dilakukan pada setiap 0,01 detik dengan pengulangan 20 kali dan dilakukan selama 2 detik. Sifat yang dianalisis mengenai aliran pengecoran ini adalah intensitas turbulensi, fraksi volume logam cair, dan distribusi temperatur.

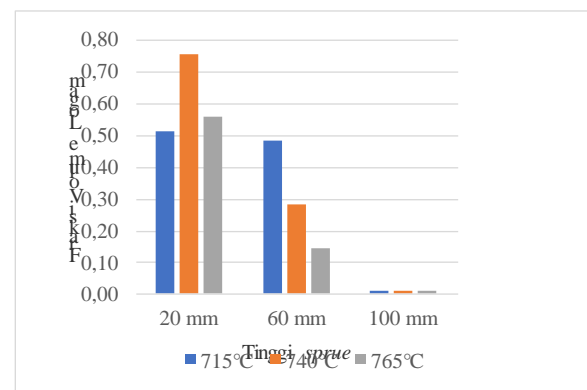
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Tinggi Sprue dan Temperatur Penuangan terhadap Intensitas Turbulensi

Gambar 5 digunakan untuk memudahkan dalam membandingkan hasil intensitas turbulensi antar model. Pada gambar tersebut menunjukkan semakin besar tinggi sprue, semakin besar pula intensitas turbulensi yang terjadi. Hal ini terjadi karena semakin besar tinggi sprue maka semakin besar pula energi potensial yang tersedia, menyebabkan kecepatan aliran yang dihasilkan semakin besar. Kecepatan aliran besar menyebabkan fluktuasi kecepatan semakin besar sehingga intensitas turbulensi juga meningkat, sesuai dengan



Gambar 5. Grafik Perbandingan Intensitas Turbulensi.



Gambar 6. Grafik perbandingan fraksi volume logam.

Persamaan 1 bahwa intensitas turbulensi sebanding dengan fluktuasi kecepatan aliran.

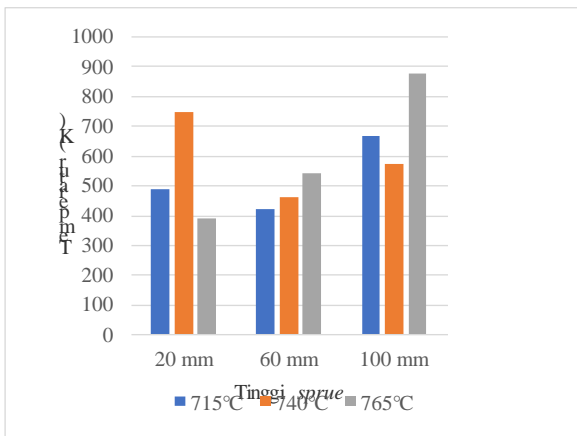
$$I = \frac{\sqrt{u'}}{u} \tag{1}$$

Dengan $u'^2 = (\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u'^2 dt)^{1/2}$ dan U adalah rata-rata kecepatan. Sehingga intensitas turbulensi bergantung pada fluktuasi kecepatan dan rata-ratanya. Berdasarkan grafik pada Gambar 5, variabel yang menghasilkan intensitas turbulensi terkecil adalah tinggi sprue 20 mm dengan temperatur penuangan 740°C dan 765°C.

Pengaruh temperatur terhadap intensitas turbulensi pada simulasi ini menghasilkan pola yang bervariasi. Bertambahnya temperatur menyebabkan bertambah pula energi kinetik molekul. Peningkatan energi kinetik menyebabkan peningkatan kecepatan. Dalam Persamaan 4.1 di atas, disebutkan bahwa intensitas turbulensi dipengaruhi oleh fluktuasi kecepatan dan rata-rata kecepatan. Perubahan kecepatan yang terjadi menyebabkan perubahan dua variabel tersebut. Sehingga tidak dapat ditinjau dari satu variabel saja. Sifat aliran bisa juga ditentukan dari tegangan geser yang terjadi. Berdasarkan Persamaan 2 berikut ini, sifat aliran mempengaruhi tegangan geser yang terjadi.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} - \rho u'v' = \tau_{lam} + \tau_{turb} \tag{2}$$

Dari Persamaan 2 dapat dilihat bahwa tegangan geser yang terjadi pada aliran turbulen lebih besar daripada aliran laminar. Pada simulasi ini telah dimodelkan bahwa aliran yang terjadi adalah turbulen. Terlihat dari Persamaan 2 bahwa tegangan geser di dalam aliran turbulen tidak semata-mata sebanding dengan gradien dari kecepatan rata-rata menurut waktu. Tetapi tegangan geser tersebut juga mengandung kontribusi dari fluktuasi acak komponen-komponen x dan y



Gambar 7. Grafik perbandingan nilai temperatur pada daerah fraksi volume logam terkecil.

dari kecepatan.

B. Pengaruh Tinggi Sprue dan Temperatur Penuangan terhadap Fraksi Volume Logam

Fraksi volume dapat digunakan untuk memperkirakan adanya udara yang terjebak dalam logam cair. Fraksi volume bernilai maksimum 1, sehingga apabila fraksi volume logam berjumlah 0,9 maka diperkirakan terdapat 0,1 udara yang terperangkap. Pada penelitian ini, hanya bagian yang mempunyai fraksi volume logam cair yang terendah untuk membandingkan antar variabel. Grafik pada Gambar 6 dibuat untuk memudahkan perbandingan.

Dari Gambar 6, Fraksi volume logam cenderung menurun seiring dengan bertambahnya tinggi sprue. Bertambahnya tinggi sprue menyebabkan meningkatnya aliran kecepatan logam. Kecepatan aliran yang tinggi berakibat meningkatnya intensitas turbulensi. Intensitas turbulensi tinggi bisa membentuk ruang udara di dalam logam cair. Pada tinggi sprue 60 mm, peningkatan temperatur penuangan menyebabkan penurunan fraksi volume logam yang terisi dalam cetakan. Hal ini terjadi karena peningkatan energi kinetik. Energi kinetik tinggi menyebabkan kecepatan aliran meningkat, sehingga intensitas turbulensi juga meningkat. Intensitas turbulensi tinggi dapat menimbulkan ruang udara dalam logam cair. Pada tinggi sprue 20 mm fraksi volume menurun ketika dari temperatur 740 °C ke 765°C dan meningkat dari temperatur 715°C ke 740 °C dan 765 °C. Selain menimbulkan ruang udara pada aliran kecepatan tinggi, namun bisa juga menyebabkan rongga cetakan lebih cepat terisi sehingga tidak memberikan waktu yang cukup untuk udara memasuki rongga cetakan.

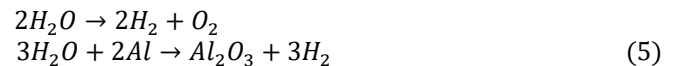
Pada tinggi sprue 100 mm, terdapat daerah yang sepenuhnya terisi udara dan terjadi pada ketiga variabel temperatur. Hal ini terjadi karena tinggi sprue yang besar dapat menyebabkan kecepatan aliran yang tinggi. Intensitas turbulensi pada tinggi sprue 100 mm adalah yang paling besar, sehingga kemungkinan timbulnya ruang udara dalam cairan semakin besar. Menurut (Das, et al. 2019), fraksi volume udara minimum yang dapat menyebabkan cacat pengecoran adalah 0,5. Maka variabel hasil simulasi pengecoran yang terhindar dari cacat akibat udara yang terjebak dalam cetakan adalah tinggi sprue 20 mm dengan temperatur penuangan 715°C, 740°C, dan 765°C. Perangkat lunak ANSYS Fluent menghitung fraksi volume berdasarkan Persamaan 3.

$$\frac{1}{\rho_q} \left[\frac{\partial}{\partial t} (a_q \rho_q) + \nabla (a_q \rho_q v_q) \right] = S_{aq} + \sum_{p=1}^n (m_{pq} - m_{qp}) \quad (3)$$

Dimana fraksi volume ditunjukkan simbol α , massa jenis ρ , dan kecepatan v . Secara umum ruas kanan bernilai nol karena tidak memodelkan transfer massa. Karena nilai dari massa jenis adalah konstan maka yang berpengaruh terhadap perubahan fraksi volume adalah kecepatan aliran. Dalam persamaan momentum untuk multifasa terdapat hubungan antara kecepatan dengan temperatur yaitu pada Persamaan 4 berikut ini.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho v) + \nabla (\rho v^2) = -\nabla p + \nabla [\mu (\nabla v + \nabla v^T)] + \rho g + F \quad (4)$$

Di samping itu, peningkatan temperatur mampu meningkatkan kelarutan aluminium terhadap hidrogen. Menurut (Tiryakioglu 2020) hidrogen terserap ke dalam aluminium cair karena adanya dekomposisi uap air dan oksidasi aluminium sesuai Persamaan reaksi 5



Kelarutan adalah jumlah maksimum zat yang dapat dilarutkan di dalam pelarut pada temperatur tertentu. Kelarutan hidrogen di dalam aluminium cair dapat dihitung menggunakan Persamaan 6 berikut.

$$S_{eq[H]} = S_{o[H]} \cdot \sqrt{P} \cdot e^{-\frac{\Delta H}{RT}} \quad (6)$$

Dimana P adalah tekanan, T adalah temperatur absolut, $S_{o[H]}$ adalah konstanta kelarutan, ΔH adalah entalpi pembentukan larutan hidrogen, dan R adalah konstanta gas. Dapat dilihat pada persamaan tersebut bahwa apabila temperatur mengalami kenaikan maka entalpi pembentukan larutan hidrogen pada temperatur tersebut semakin besar. Entalpi pembentukan larutan hidrogen semakin tinggi menyebabkan kelarutan hidrogen dalam aluminium juga meningkat.

C. Pola Temperatur pada Daerah Fraksi Volume Logam Terendah

Secara umum, pola distribusi temperatur adalah inlet memiliki temperatur paling tinggi kemudian berangsur menurun menuju daerah outlet. Hal ini terjadi karena pada inlet seolah-olah logam cair terus masuk dengan temperatur awal yang sudah ditetapkan. Pada daerah outlet lebih dingin karena telah terjadi karena panas dari logam ada yang berpindah pada dinding cetakan. Temperatur dalam logam cair berhubungan dengan kelarutan logam terhadap udara. Pada persamaan 4 telah disebutkan bahwa kelarutan berbanding lurus dengan temperatur. Semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula kelarutan logam terhadap udara. Untuk melihat bagaimana hubungan kelarutan dengan temperatur maka dibuatlah pengamatan antara fraksi volume udara di dalam aluminium cair dengan temperatur pada daerah tersebut. Pada Gambar 7 berikut terlihat bahwa fraksi volume logam terkecil yaitu 0, memiliki temperatur paling tinggi daripada lainnya yaitu antara 553,874 K sampai 895,505 K. Sedangkan fraksi volume logam lebih dari 0 memiliki temperatur antara 372,56 K sampai 558,691 K. Untuk memudahkan pengamatan dibuatlah grafik pada Gambar 7 berikut.

Pada Gambar 7 tersebut, tinggi sprue 100 mm memiliki temperatur tertinggi dan menyebabkan fraksi volume aluminium cair terkecil yaitu 0. Hal ini terjadi juga pada model tinggi sprue 20 mm dengan temperatur penuangan 740°C. Fraksi volume udara minimum yang menyebabkan

cacat adalah 0,5. Fraksi volume udara yang aman terjadi pada tinggi *sprue* 20 mm dengan temperatur penuangan 715°C dan 765°C. Dapat dilihat bahwa model tinggi *sprue* 20 mm dengan temperatur penuangan 765°C memiliki temperatur paling rendah. Pada tinggi *sprue* 60 mm terjadi peningkatan kelarutan udara seiring dengan meningkatnya temperatur penuangan. Hal ini ditunjukkan dari nilai fraksi volume aluminium cair yang menurun seiring bertambahnya temperatur penuangan. Nilai fraksi volume aluminium cair yaitu 0,48, 0,28, dan 0,14. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa peningkatan temperatur dalam logam mampu meningkatkan kelarutan logam terhadap udara.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian di atas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1)Tinggi *sprue* mempunyai pengaruh terhadap intensitas turbulensi. Semakin besar tinggi *sprue* maka semakin besar kecepatan aliran logam cair, dengan demikian semakin besar pula intensitas turbulensi yang terjadi; (2)Tinggi *sprue* juga berpengaruh terhadap fraksi volume udara maksimum yang terperangkap dalam logam. Semakin besar tinggi *sprue* maka semakin besar kecepatan aliran logam, sehingga intensitas turbulensi juga meningkat. Hal ini menyebabkan adanya udara yang terperangkap dalam logam cair; (3)Temperatur penuangan mempunyai pengaruh yang bervariasi terhadap intensitas turbulensi. Variasi ini terjadi karena intensitas turbulensi dipengaruhi oleh dua hal yaitu rata-rata kecepatan dan fluktuasi kecepatan. Fluktuasi kecepatan ini sangat bervariasi dan merupakan variabel berdasarkan waktu; (4)Temperatur penuangan berpengaruh terhadap fraksi volume udara yang masuk ke aliran logam. Semakin tinggi temperatur penuangan, maka semakin besar fraksi volume udara yang masuk karena kelarutan logam terhadap udara meningkat. Hal ini dapat diamati dari pola distribusi temperatur pada daerah yang memiliki fraksi volume udara terbesar. Di mana fraksi volume udara besar memiliki temperatur besar pada daerah tersebut; (5)Berdasarkan simulasi ini, model yang memiliki intensitas turbulensi terkecil adalah tinggi *sprue* 20 mm dengan temperatur penuangan 740°C dan 765°C. Untuk fraksi volume logam terbesar yang masuk ke dalam rongga cetak terjadi pada model tinggi *sprue* 20 mm dengan temperatur penuangan 740°C. Dengan mempertimbangkan dua variabel tersebut, maka model pengecoran *connecting*

rod untuk mesin motor 150 cc yang paling baik adalah menggunakan tinggi *sprue* 20 mm dengan temperatur penuangan 740°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Plancak *et al.*, "A Review of the Possibilities to Fabricate Connecting Rods," *Ann. Fac. Eng. Hunedoara*, vol. 11, no. 2, p. 167, 2013.
- [2] W. D. Callister, *Materials science and engineering : an introduction*, 7th ed. New York: John Wiley & Sons, 2007.
- [3] S. Aishwarya and E. V. V Ramanamurthy, "Design and optimization of connecting rod for 4-stroke petrol engine by using finite element analysis," *Asian Res. Public Netw. J. Eng. Appl. Sci. Vol.*, vol. 10, 2015.
- [4] V. I. Karumuri, Srikanth, Terefe Jima, Masresha Adasho, "Aluminum casting tool design for connecting rod using 8 cavities," *Int. J. Eng. Sci. Invent. Res. Dev.*, vol. Vol. III, 2017.
- [5] A. B. Sidhpara, V. I. Kureshi, and P. A. Patel, "Comparision of manufacturing methods and analysis of connecting rod for reducing cost," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 2, no. 5, 2013.
- [6] B. T. Ramesh, V. Koppad, and others, "Analysis and Optimization of Connecting Rod With Different Materials," *World J. Res. Rev.*, vol. 4, no. 1, 2017.
- [7] A. W. Adianta, S. Suprianto, A. Daely, and M. F. Bangun, "Studi fluiditas dan karakteristik aliran pada pengecoran al-si alloy menggunakan simulasi numerik," in *Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE)*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 7–12.
- [8] R. M. Pratama and S. Soeharto, "Studi eksperimen pengaruh jenis saluran pada aluminium sand casting terhadap porositas produk toroidal piston," *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, pp. F126--F130, 2012.
- [9] and D. D. V. Rao, M. Srinivas, A. Girish Kumar, "Design and analysis of al 7075 connecting rod," *Int. J. Pure Appl. Math.*, vol. 118 No. 24, 2018.
- [10] X. Yuwen, L. Chen, and Y. Han, "Numerical simulation of casting filling process based on FLUENT," *Energy Procedia*, vol. 17, pp. 1864–1871, 2012.
- [11] X. Dai, X. Yang, J. Campbell, and J. Wood, "Effects of runner system design on the mechanical strength of Al-7Si-Mg alloy castings," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 354, no. 1–2, pp. 315–325, 2003.
- [12] O. of I. Technologies, "Mold Materials for Permanent Molding of Aluminum Alloys," *Met. Cast. Proj. Fact Sheet*, 2000.
- [13] K. Y. Foo and B. H. Hameed, "Adsorption characteristics of industrial solid waste derived activated carbon prepared by microwave heating for methylene blue," *Fuel Process. Technol.*, vol. 99, pp. 103–109, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.fuproc.2012.01.031.
- [14] E. F. Ochulor, S. O. Adeosun, and S. A. Balogun, "Effect of gating sprue height on mechanical properties of thin wall ductile iron," *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Chem. Mol. Nucl. Mater. Metall. Eng.*, vol. 9, no. 2, pp. 360–367, 2015.
- [15] A. Klemens, F. Sariman, M. Syahid, and others, "Study on effect of temperature smelting and pouring to mechanical properties Aluminum 7075," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 343, no. 1, p. 12166.
- [16] Y. Li and H. Zhou, "Effects of pouring temperature on microstructure and mechanical properties of the a356 aluminum alloy die castings," *Mat. Res.*, vol. 23, no. 1, 2020, doi: doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2019-0676.