

Optimasi Desain *gating system* dan *riser* pada Pengecoran Produk Blok Silinder Modifikasi untuk Motor Bensin 4 Langkah

Bambang Wahyu Sidharta¹, Nidia Lestari², Venditias Yudha^{2*}, Eko Wahyudi²

¹Program Studi Teknologi Mesin, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Jl. Kalisahak No.28 Gondokusuman, Yogyakarta, 55222

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Jl. Kalisahak No.28 Gondokusuman, Yogyakarta, 55222

*Penulis korespondensi: venditias.y@akprind.ac.id

Histori artikel: diserahkan 4 Februari 2022, direviu 23 Maret 2022, direvisi 28 Maret 2022

ABSTRACT

The growth of the automotive industry has made the market demand for motor vehicle spare parts soar, especially motorcycles, including the demand for cylinder blocks. Procedure of this research was carried out to analyze the product of 4 stroke motor cylinder block castings, which include; manufacture of casting product designs, manufacture of gating systems and riser systems. Results and Discussion based on the results of the shrinkage simulation test that has been carried out through the type of sand casting casting with the casting material, namely FCD-600-3 cast iron (1290°C) and the impression material used is silica sand (20°C) with a gravity casting type of casting, it can be concluded that the results of design testing 1 (one) obtained a filling velocity of 1.111 m/s, with a filling time of 3.8 seconds and a required solidification time of 6 minutes. In design 1 (one) there is a shrinkage defect due to shrinkage located on the sprue and riser of 0.336%. While the test results from design 2 (two) obtained a filling velocity of 1.09 m/s, with a filling time of 3.9 seconds and a required solidification time of 5 minutes. In design 2 (two) there is a shrinkage defect due to shrinkage located on the riser and in the cast product of 0.404%. The conclusion of the test results on both designs, it was found that design 1 (one) is the most optimal design for cylinder block casting planning.

Keywords: Casting Design, Cylinder Block, Gating System, Riser

DOI : <https://doi.org/10.18196/jqt.v3i2.14460>

WEB : <https://journal.umy.ac.id/index.php/qt/article/view/14460>

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tumbuh dengan sangat pesat dan telah memengaruhi perkembangan disegala bidang termasuk bidang otomotif. Berkembangnya dunia industri otomotif membuat permintaan untuk *spare part* kendaraan bermotor melonjak tajam khususnya sepeda motor. Hal ini dibuktikan dengan data dari Badan Pusat Statistik (BPS, 2017) yang menyatakan perkembangan jumlah kendaraan bermotor menurut jenis sepeda motor pada tahun 2017 sebanyak 100.200.245, pada tahun 2018 sebanyak 106.657.952, dan pada tahun 2019 sebanyak 112.771.136. Peningkatan dari tahun 2017 sampai 2018 sebanyak 3,1% dan peningkatan dari tahun 2018 ke 2019 sebanyak 2,7%. Permintaan *spare part* kendaraan bermotor menurut jenisnya dapat

berbentuk fisik maupun engine, salah satunya adalah blok silinder.

Blok silinder adalah salah satu komponen utama kendaraan bermotor yang bersifat statis. Fungsi blok silinder sebagai tempat Bergeraknya piston dalam melaksanakan proses kerja motor. Sejalan dengan perkembangan ilmu dan teknologi, banyak terjadi penyempurnaan dan perkembangan pada blok silinder dengan cara memodifikasi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari generasi sebelumnya. Selain itu, hampir seluruh permintaan modifikasi blok silinder berasal dari permintaan konsumen yang memiliki tujuan atau keperluan, seperti penyalur hobi, balap, dan keindahan/estetika (Muhamad, 2020). Untuk memenuhi permintaan konsumen tersebut, kendaraan dibuat khusus atau disempurnakan dari standardnya agar mendapatkan sesuatu yang diharapkan. Berdasarkan penelitian

yang dilakukan oleh Wusono (2015) menyatakan berdasarkan hasil pengujian dengan kepala silinder dan blok silinder yang telah mengalami modifikasi ternyata ada peningkatan akselerasi 0,93 detik pada percepatan 0–80 km/jam.

Modifikasi blok silinder dapat dilakukan dengan simulasi dengan bantuan software. Hal ini dinilai lebih efektif guna untuk melihat kekurangan pada produk yang akan dibuat, sehingga desain tersebut dapat dioptimalkan kembali sebelum diproduksi. Simulasi dapat membantu proses desain saluran masuk pada proses pengecoran terutama untuk produk-produk yang memiliki tingkat kesulitan tinggi (Pratomo & Virdhian, 2011). Hal ini relevan dengan hasil penelitian yang ditemukan oleh Pratomo & Virdhian (2011) bahwa terjadi penghematan biaya trial and errors dalam pembuatan dredge bucket: (7,9 dan 16) cuff di PT. TI mencapai Rp. 199.500.000 dengan menggunakan simulasi Adstefan. Selain itu, menurunkan cacat shrinkage dari 10% menjadi 5% pada produk inlet manihold. Bagian utama dari proses pengecoran yaitu perancangan sistem *sprue* dan *gating*. Sistem *gating* berfungsi sebagai jalur dimana logam cair mengalir ke dalam pola rongga dan *feed* selama penyusutan yang berkembang selama pengecoran solidifikasi. Desain yang tepat dari sistem *gating* sangat penting untuk diperhatikan dalam membuat produk coran yang baik (Kumar *et al.*, 2020).

Blok silinder dapat diproduksi oleh produsen skala besar maupun produsen skala kecil menengah. Akan tetapi, tantangan lebih banyak dialami oleh Industri kecil menengah dikarenakan keterbatasan biaya produksi dan teknologi dibidang pengecoran logam. Sehingga dibutuhkan simulasi untuk penghematan biaya trial and errors. Berdasarkan latar belakang tersebut maka penulis melakukan inovasi untuk membuat dan menganalisa desain pengecoran blok silinder modifikasi untuk motor bensin 4 langkah. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat digunakan dan diaplikasikan oleh Industri pengecoran logam khususnya untuk produksi blok silinder sepeda motor baik Industri berskala kecil maupun Industri berskala besar.

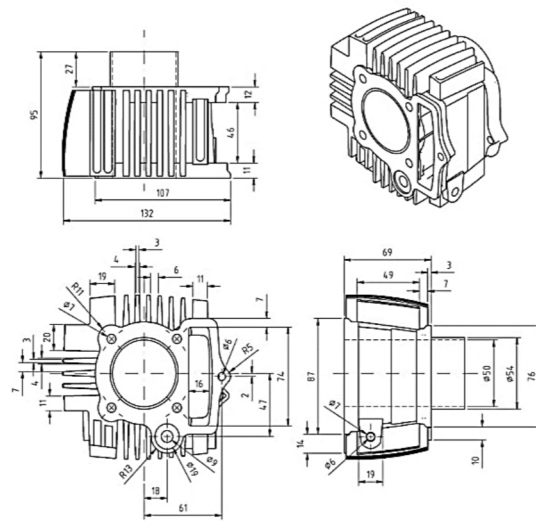
METODE PENELITIAN

Desain Blok Silinder

Kebutuhan *spare part* blok silinder yang meningkat tiap tahunnya serta ditunjang dengan perkembangan pada bidang teknologi otomotif maka tim berinovasi untuk membuat dan menganalisa desain

pengecoran blok silinder modifikasi untuk motor bensin 4 langkah berbantuan software CAD-CAE guna untuk melihat kekurangan pada produk yang akan dibuat sehingga desain tersebut dapat dioptimalkan kembali sebelum produk dibuat dan diproduksi massal. Penggunaan software simulasi dapat secara efektif mengoptimalkan dalam mengurangi penggunaan material (Bhatt *et al.*, 2021).

Blok Silinder adalah salah satu bagian/ part dari motor yang bersifat statis yang fungsinya sebagai tempat Bergeraknya piston dalam melaksanakan proses kerja motor. Adapun desain coran blok silinder modifikasi motor 4 langkah yang dibuat dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



GAMBAR 1. Desain Blok Silinder Modifikasi

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Komputer dengan minimal RAM 4 GB, Software Design menggunakan AutoCAD dan Software Simulasi menggunakan NovafLOW. Bahan yang digunakan adalah besi cor (*cast iron*) FCD 600 (GJS-600-3), yang mempunyai berat jenis (ρ) = 7,2 gr/cm³ dengan temperatur melting 1290°C.

Prosedur Pengujian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa terhadap produk coran blok silinder motor 4 langkah, yang meliputi; pembuatan desain produk coran, pembuatan sistem saluran (*gating system*) dan sistem penambah (*riser*). Dari desain yang dibuat akan disimulasikan menggunakan software pengecoran novafLOW, selanjutnya hasil dari simulasi tersebut akan dilakukan pengamatan secara

visual terhadap kualitas hasil coran untuk menganalisis kegagalan cacat coran akibat penyusutan (*shrinkage*).

Jenis pengecoran yang digunakan adalah pengecoran cetakan pasir (*sand casting*). Sebagai perbandingan pada simulasi akan dilakukan 2 (dua) kali proses simulasi dengan 2 (dua) konsep desain coran yaitu sistem saluran dan sistem penambah (*riser*) yang berbeda. Pada penelitian ini, simulasi pengecoran dilakukan dengan menggunakan software Novaflow. Simulasi dilakukan melalui hasil desain 3D CAD yang telah dilengkapi sistem saluran dan penambah yang disimpan dalam format stl file (*stereolithography*), dan selanjutnya dilakukan simulasi berdasarkan parameter dan pendekatan sesuai dengan kondisi pengecoran blok silinder serta menggunakan analisis penyusutan akibat pembekuan logam cair untuk memprediksi potensi cacat (*shrinkage*). Proses pembuatan desain dan simulasi pengecoran ini dilakukan berulang kali hingga menghasilkan desain pengecoran yang optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menentukan Waktu Tuang

Waktu tuang merupakan waktu yang dibutuhkan logam cair untuk mengisi seluruh rongga cetak. Adapun data-data yang digunakan dalam perhitungan adalah:

Volume benda cor (V)	= 384,017 cm ³
Berat jenis besi cor (ρ)	= 7,2 gr/cm ³
Koefisien (S)	= 1,3 (<i>bottom gating</i>), 1,4 (<i>side gating</i>), 1,5-1,6 (<i>top gating</i>)
Tebal rata-rata produk cor (δ)	= 5 mm

Untuk menentukan waktu tuang (t) dapat dihitung dengan mengetahui berat produk cor yang dibuat. Adapun untuk menentukan waktu tuang dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$t = S \cdot (\delta \cdot G)^{1/3} \quad (1)$$

Dalam hal ini, berat benda cor:

$$\begin{aligned} G &= V \cdot \rho \\ &= 384,017 \cdot 7,2 \\ &= 2,76 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} t &= 1,5 \cdot (5 \cdot 2,76)^{1/3} \\ &= 3,6 \text{ detik} \\ &\approx 4 \text{ detik} \end{aligned}$$

Menentukan Laju Penuangan

Laju penuangan merupakan kecepatan alir logam cair untuk mengisi rongga cetakan. Adapun data-data yang digunakan dalam perhitungan adalah:

Koefisien (P)	= 0,5
Karbon (C)	= 3,12%
Silicon (Si)	= 2%
Fosfor (P)	= 0,08%
Efek gesekan sistem saluran (c)	= 0,85

Untuk menentukan laju penuangan ini dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$\begin{aligned} R &= \frac{G^P}{1,34 + \left(\frac{\delta}{13,77}\right)} \quad (2) \\ &= \frac{2,76^{0,5}}{1,34 + \left(\frac{5}{13,77}\right)} \\ &= 0,97 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Karbon ekuivalen dihitung berdasarkan persamaan 3.

$$\begin{aligned} CE &= \% C + \left(\frac{1}{4} \cdot \% Si\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot \% P\right) \quad (3) \\ &= 3,12 + \left(\frac{1}{4} \cdot 2\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot 0,08\right) \\ &= 4,11 \end{aligned}$$

Sehingga laju penuangan yang di adjust dapat ditentukan dengan persamaan 4.

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{R}{1 \cdot c} \quad (4) \\ &= \frac{0,97}{1 \cdot 0,85} \\ &= 1,07 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Menentukan Dimensi Sprue

Sprue merupakan saluran turunnya logam cair dari pouring cup menuju saluran pengalir/ runner. Untuk mengetahui dimensi sprue yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan menghitung luas penampang *sprue* (A_c), dengan mengetahui koefisien *sprue* sebesar 0,2 maka dimensi *sprue* dapat ditentukan dengan persamaan 5.

$$A_c = 22,6 \cdot \frac{G}{6,9 \cdot C_f \cdot t \cdot (H)^{0,5}} \quad (5)$$

Dalam hal ini, H adalah tinggi efektif logam cair adalah: $H = h = 10$ cm, Sehingga luas penampang (A_c) pada *sprue* menjadi:

$$A_c = 22,6 \cdot \frac{2,76}{6,9 \cdot 0,2 \cdot 4 \cdot (10)^{0,5}}$$

$$= 3,92 \text{ cm}^2 \\ \approx 4 \text{ cm}^2$$

Berdasarkan perhitungan di atas, dengan mengetahui luas penampang sprue sebesar 4 cm^2 , maka diperoleh dimensi saluran turun (*sprue*) dengan diameter atas 23 cm, dan diameter bawah 16 cm dengan bentuk *sprue* tirus.

Menentukan Dimensi Runner

Runner merupakan saluran pengalir logam cair dari sprue menuju rongga cetak melalui saluran masuk/ingate. Untuk mengetahui dimensi ingate yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan menghitung luas potongan melintang runner (A_r), dengan mengetahui luas penampang (A_c) sebesar 4 cm^2 , maka dimensi runner dapat ditentukan dengan persamaan 6.

$$A_r = \frac{A_c}{0,9} \quad (6) \\ = \frac{3,57}{0,9}$$

$$= 3,86 \text{ cm}^2$$

Sehingga dimensi runner adalah:

$$a = \sqrt{A_r} \quad b_2 = a + 0,4 \\ = \sqrt{3,86} \quad = 1,96 + 0,4 \\ = 1,9 \text{ cm} \quad = 2,3 \text{ cm} \\ b_1 = a - 0,4 \\ = 1,96 - 0,4 \\ = 1,56 \text{ cm} \approx 1,6 \text{ cm}$$

Menentukan Dimensi Ingate

Ingate merupakan saluran masuknya logam cair dari runner menuju rongga cetak. Untuk mengetahui dimensi ingate yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan menghitung luas penampang *ingate* (A_g), dengan mengetahui faktor hambatan ingate (f) sebesar 0,54 (Widodo, 2013), maka dimensi ingate dapat ditentukan dengan persamaan 7.

$$A_g = \frac{22,6 \cdot G}{\rho \cdot t \cdot f \cdot \sqrt{h_m}} \quad (7)$$

Dimana h_m merupakan tekanan metalostatik, dengan mengetahui tinggi kup (a) sebesar 10 cm, dan tebal produk cor (c) sebesar 7 cm maka tekanan metalostatik (persamaan 8):

$$h_m = a - \left(\frac{c}{8}\right) \quad (8) \\ = 10 - \left(\frac{7}{8}\right) \\ = 9,12 \text{ cm}$$

sehingga,

$$A_g = \frac{22,6 \cdot 2,76}{7,2 \cdot 4 \cdot 0,66 \cdot \sqrt{9,12}} \\ = 1,08 \text{ cm}^2$$

Karena desain coran yang direncanakan menggunakan 2 (dua) buah *ingate* dengan bentuk persegi panjang, dengan mengetahui luas penampang ingate (A_g) sebesar $1,08 \text{ cm}^2$, maka diperoleh ukuran ingate dengan panjang 4 cm, lebar 1,3 cm dan tinggi 0,4 cm.

Perencanaan Dimensi Riser

Riser merupakan saluran penambah yang berfungsi untuk mengisi rongga coran yang terjadi akibat adanya penyusutan. Untuk mengetahui dimensi *riser* yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan menghitung modulus produk cor (M_c) dan modulus *riser* (M_r) (Choudhari et al., 2013). dengan mengetahui volume produk cor (V) sebesar $384,01 \text{ cm}^3$, dan luas produk cor sebesar $303,36 \text{ cm}^2$, maka dimensi *riser* dapat ditentukan dengan persamaan 9.

$$M_c = \frac{V}{A} \quad (9) \\ = \frac{384,01}{303,36} \\ = 1,26 \text{ cm}$$

Modulus *riser* (persamaan 10):

$$M_r = \frac{M_c}{1,2} \quad (10) \\ = \frac{1,26}{1,2} \\ = 1,05 \text{ cm}$$

Volume *riser* (persamaan 11):

$$V_r = 179 \cdot M_r^3 \quad (11) \\ = 179 \cdot 1,05^3 \\ = 207 \text{ cm}^3$$

Tinggi *riser* (persamaan 12):

$$H_r = 8,02 \cdot M_r^3 \quad (12) \\ = 8,02 \cdot 1,05^3 \\ = 9,82 \text{ cm}$$

Diameter *riser* (persamaan 13):

$$D_r = \sqrt{\frac{4 \cdot V_r}{\pi \cdot h}} \quad (13)$$

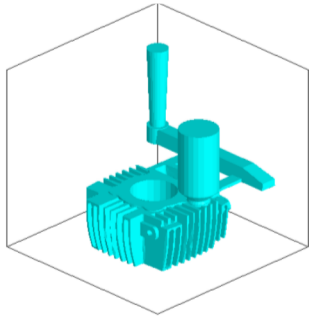
$$= \sqrt{\frac{4 \cdot 207}{\pi \cdot 9,82}}$$

$$= 6,2 \text{ cm}$$

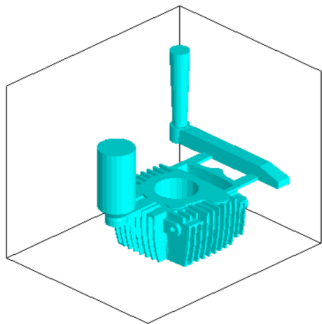
Berdasarkan perhitungan di atas, dengan mengetahui modulus riser sebesar 1,02 maka diperoleh dimensi riser dengan diameter 6,4 cm dan tinggi 10 cm dengan jenis *open riser*.

Simulasi Desain Pengecoran Blok Silinder

Simulasi dilakukan untuk melihat kondisi aliran logam cair yang masuk ke dalam rongga cetak serta untuk mengetahui prosentase dan bagian pada coran yang kemungkinan terjadinya cacat. Perubahan penempatan sistem saluran dilakukan dengan menggunakan software CAD dengan mendesain gambar 3D produk lengkap dengan *gating system* dan *riser*. Desain produk coran dibuat dalam dua model seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Spesifikasi simulasi yaitu 1) material yang digunakan pada simulasi adalah FCD 600 dengan properti mengacu pada software novaflow yakni dengan kadar karbon sebesar 3,12%, 2) material cetakan yaitu silica sand, 3) Tipe penuangan menggunakan *gravity casting*, dan 4) cavity yaitu *air-outside mold*.



GAMBAR 2. Desain pengecoran model 1



GAMBAR 3. Desain pengecoran model 2

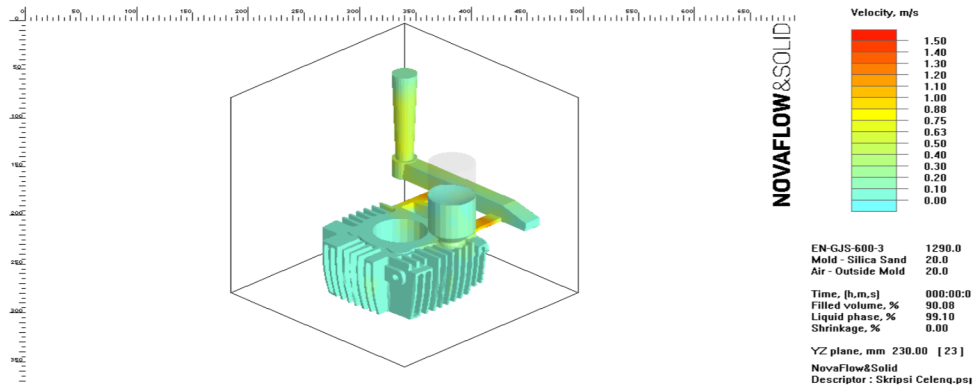
1. Simulasi penuangan

Simulasi penuangan ini dilakukan untuk melihat kondisi logam cair pada saat proses penuangan dan laju aliran logam cair yang masuk pada rongga cetak. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem saluran yang dibuat dapat berfungsi dengan optimal dan dengan kecil terjadinya turbulensi pada aliran atau sebaliknya. Adapun hasil simulasi kecepatan tuang logam cair ke dalam cetakan dapat dilihat pada Gambar 4.

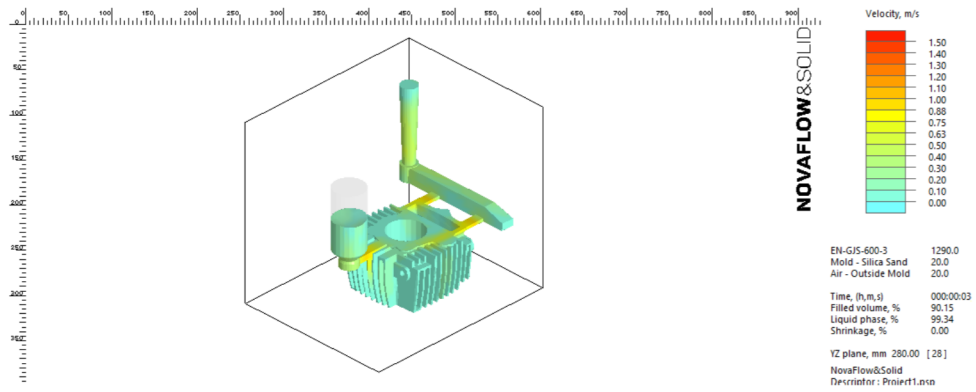
Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, kecepatan tuang logam cair ke dalam rongga cetak pada desain model 1 (satu), diperoleh kecepatan rata-rata penuangan sebesar 1.111 m/s, dan pada Gambar 4 terlihat untuk kecepatan alir logam cair tertinggi terjadi pada bagian saluran masuk/ *ingate* dengan nilai kecepatan sekitar 1,4 m/s seperti yang terlihat pada gambar simulasi, dimana warna merah menunjukkan bagian yang memiliki kecepatan alir tertinggi. Sedangkan untuk desain model 2 (dua), diperoleh kecepatan rata-rata penuangan sebesar 1.09 m/s, dan pada Gambar 5 terlihat untuk kecepatan alir logam cair tertinggi terjadi pada bagian saluran masuk/*ingate* dengan nilai kecepatan sekitar 1,4 m/s.

2. Simulasi solidifikasi

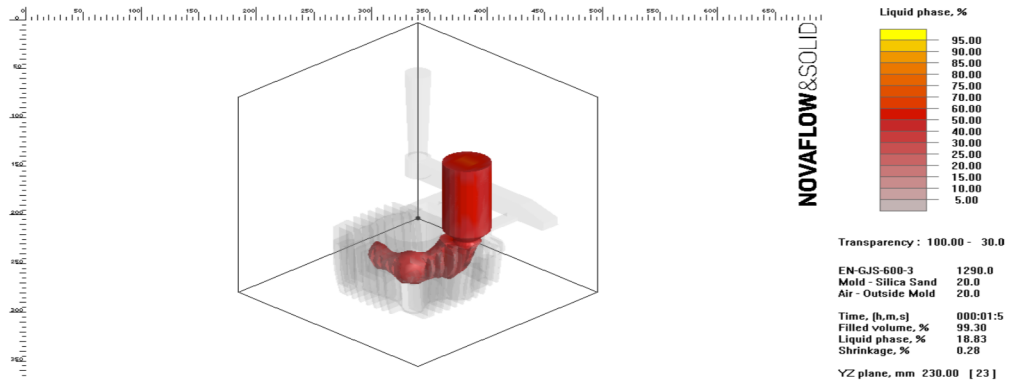
Solidifikasi merupakan proses pembekuan logam cair yang dituang pada cetakan. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara temperatur pembekuan, temperatur pada cetakan terhadap waktu pada masing-masing variasi panas cetakan. Perbedaan temperatur cetakan berpengaruh pada laju pembekuan, yang ditunjukkan oleh perbedaan waktu yang diperlukan selama proses pembekuan. Berdasarkan hasil simulasi solidifikasi menunjukkan peningkatan temperatur cetakan berpengaruh pada proses solidifikasi yang menyebabkan waktu solidifikasi meningkat. Gradien temperatur yang tinggi pada daerah pembekuan liquid diakibatkan oleh perbedaan temperatur antara temperatur tuang dengan temperatur cetakan. Temperatur cairan akan menurun karena diserap langsung oleh cetakan yang memiliki konduktifitas panas yang tinggi. Pada kondisi *liquid phase* 18,82% terlihat bahwa fase titik akhir pembekuan logam cair terletak pada saluran penambah/*riser* untuk model 1 dan model 2, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Warna merah merupakan bagian yang menunjukkan perubahan laju pembekuan logam cair.



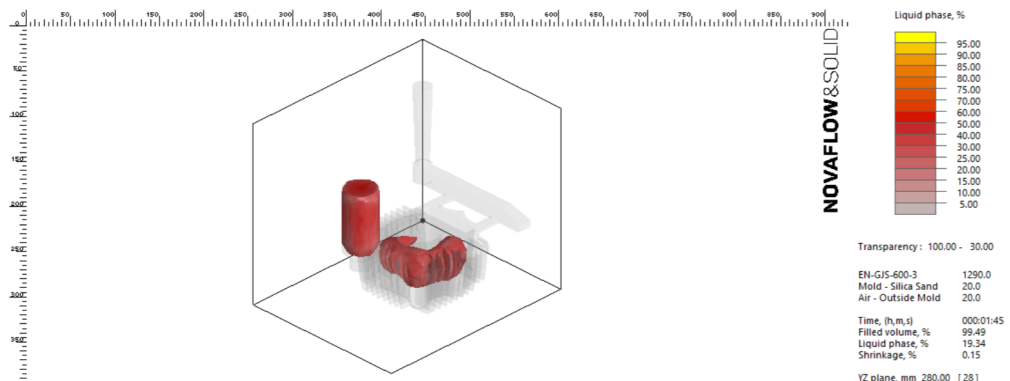
GAMBAR 4. Hasil simulasi penuangan pada model 1



GAMBAR 5. Hasil simulasi penuangan pada model 2



GAMBAR 6. Solidifikasi: liquid phase 18,82% pada desain model 1



GAMBAR 7. Solidifikasi: liquid phase 18,82% pada desain model 2

3. Simulasi shrinkage

Cacat yang sering terjadi pada coran adalah cacat penyusutan (*shrinkage*). cacat pada hasil cor sangat dihindari karena akan berpengaruh pada kualitas hasil yang mengubah dimensi dan sifat mekanik dari benda hasil cor. Penyebab cacat tersebut karena adanya proses pembekuan atau solidifikasi yang tidak merata pada produk cor. Adapun hasil simulasi *shrinkage* yang telah dilakukan disajikan pada gambar berikut:

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, bahwa cacat penyusutan (*shrinkage*) ini secara visual berbentuk rongga. Pada hasil simulasi yang telah dilakukan, terlihat bahwa cacat *shrinkage* yang terjadi pada coran terletak pada bagian saluran turun (*sprue*) menuju ke saluran masuk (*ingate*) dan juga pada bagian saluran penambah (*riser*). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9 simulasi yang ditandai dengan warna merah dimana warna

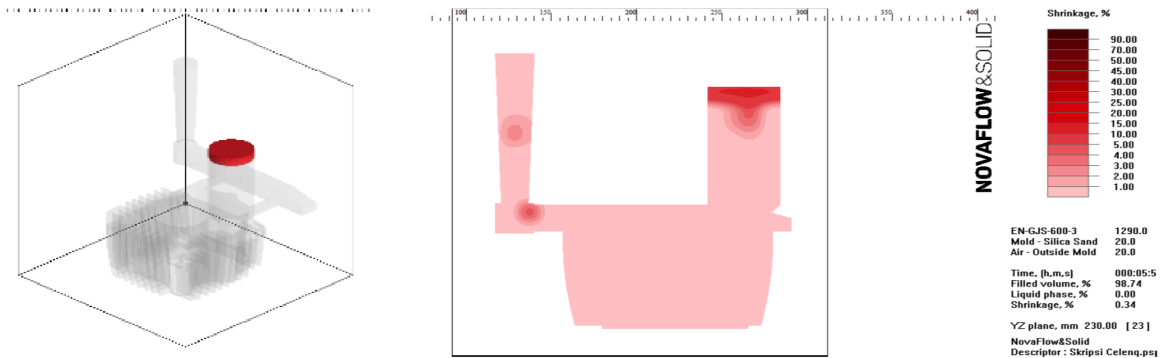
tersebut menunjukkan titik adanya cacat *shrinkage* pada coran. Cacat *shrinkage* terjadi disebabkan penyusutan volume logam cair pada saat proses pembekuan yang tidak mendapatkan pasokan logam cair dari riser. Data hasil simulasi disajikan pada Tabel 1 untuk desain model 1 dan Tabel 2 untuk desain model 2.

Tabel 1. Data hasil simulasi desain model 1

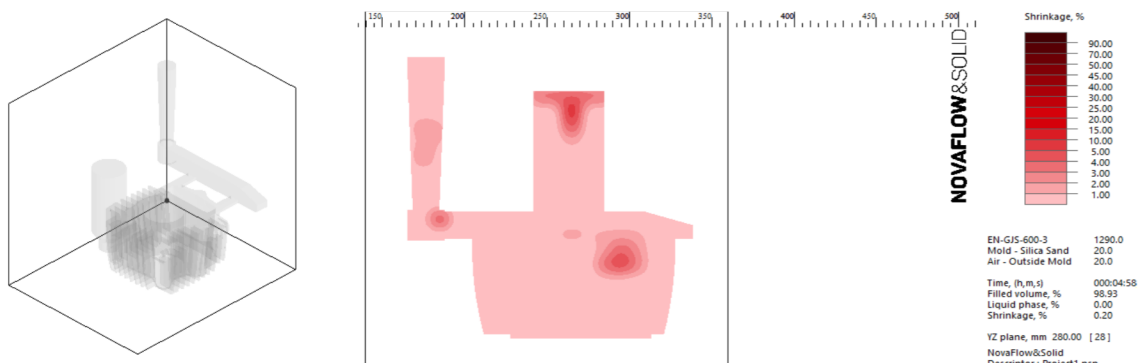
Ringkasan Hasil	
<i>Shrinkage</i> , %	0.336
<i>Filling time</i> , (h,m,s)	000:00:03,843
<i>Solidification time</i> , (h,m,s)	000:05:53,988
<i>Velocity</i> , m/s	1.111

Tabel 2. Data hasil simulasi desain model 2

Ringkasan Hasil	
<i>Shrinkage</i> , %	0.404
<i>Filling time</i> , (h,m,s)	000:00:03,972
<i>Solidification time</i> , (h,m,s)	000:04: 54,045
<i>Velocity</i> , m/s	1.09



GAMBAR 8. 3D dan 2D shrinkage : Liquid phase, % 0.000 model 1



GAMBAR 9. 3D dan 2D shrinkage : Liquid phase, % 0.000 model 2

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian simulasi yang telah dilakukan pada dua model desain coran yang berbeda, maka dapat disimpulkan bahwa dengan membuat perbedaan pada penempatan sistem penambah (*sprue*) yang digunakan ternyata mempengaruhi cacat *shrinkage* yang terbentuk akibat penyusutan serta berpengaruh pada *filling time* dan *solidification time* pada proses pengecoran. Hasil pengujian kedua desain tersebut, ditemukan bahwa desain model 1 (satu) merupakan desain yang paling optimal pada perencanaan pengecoran blok silinder, hal ini dikarenakan cacat *shrinkage* yang terdapat pada desain cor terjadi hanya pada *gating system* dan *riser* dengan nilai presentase lebih rendah dibandingkan dengan desain model 2 (dua).

DAFTAR PUSTAKA

- Bhatt, J., Vyas, D., Rajput, A., Somasundaram, M., & Kumar, U. N. 2021. A systematic review on methods of optimizing riser and gating system based on energy Nexus approach. *Energy Nexus*, 1, 100002.
- Badan Pusat Statistik. 2017. Perkembangan jumlah kendaraan bermotor. termuat di <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/per-kembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis.html>, diakses tanggal 4 Desember 2021 pukul 06:52 WIB
- Choudhari, C. M., Narkhede, B. E., & Mahajan, S. K. 2013, December. Optimum design and analysis of riser for sand casting. In *2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 1151-1155). IEEE.
- Kumar, R., Madhu, S., Aravindh, K., Jayakumar, V., Bharathiraja, G., & Muniappan, A. 2020. Casting design and simulation of gating system in rotary adaptor using procast software for defect minimization. *Materials Today: Proceedings*, 22, 799-805.
- Pratomo, S. B., & Virdhian, S. 2011. Membuat Desain Pengecoran Dengan Simulasi Adstefan Untuk Menanggulangi Cacat Pada Produk Cor. *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 5(3), 205-217.
- Widodo R. 2013. *Pengantar Praktis Teknik Perhitungan Sistem Sluran dan Penambah*, PT Pustaka Intan Madani, Yogyakarta.
- Wusono, A. T. 2015. Pengaruh Modifikasi Kepala Silinder dan Blok Silinder terhadap Akselerasi Mesin Yamaha FIZR. Tugas akhir Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Ponorogo, Ponorogo
- Muhamad, Z. 2020. Modifikasi Motor Bensin 4 Langkah Silinder Tunggal menjadi Silinder Ganda Type V Block serta Dampak yang Ditimbulkan. *Tugas Akhir Teknik Mesin*, Universitas Bandar Lampung, Bandar Lampung.