

# **SIMULASI PROSES PENGECORAN DALAM TAHAPAN REVERSE ENGINEERING TOOLPOST MESIN BUBUT KONVENSIONAL**

## ***SIMULATION OF THE CASTING PROCESS IN THE REVERSE ENGINEERING TOOLPOST STAGE OF A CONVENTIONAL LATHE MACHINE***

**Hasanudin<sup>1,\*</sup>, Agus Dwiyanto<sup>1</sup>, Muhammad Diki Setiawan<sup>1</sup>, Kurniawan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta  
Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta  
Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia

\*Email corresponding: [hasanudin@itny.ac.id](mailto:hasanudin@itny.ac.id)

Email: [agusdwiyanto@itny.ac.id](mailto:agusdwiyanto@itny.ac.id)

Email: [mdikisetiawan@itny.ac.id](mailto:mdikisetiawan@itny.ac.id)

Email: [kurniawan@itny.ac.id](mailto:kurniawan@itny.ac.id)

---

**Cara sitasi:** Hasanudin, A. Dwiyanto, M. D. Setiawan, dan Kurniawan, "Simulasi Proses Pengecoran dalam Tahapan Reverse Engineering Toolpost Mesin Bubut Konvensional," *Kurvatek*, vol. 9, no. 2, pp. 213-220, 2024. doi: [10.33579/krvtk.v9i2.5478](https://doi.org/10.33579/krvtk.v9i2.5478) [Online].

---

**Abstrak**—*Reverse engineering* merupakan inovasi dalam pembuatan produk. Produk yang telah ada dianalisis untuk dilakukan pengembangan produk atau meningkatkan performa. Penelitian ini difokuskan pada penerapan metode *reverse engineering* untuk membuat *toolpost*, mengingat kebutuhan suku cadang *toolpost* mesin bubut konvensional masih bergantung pada impor dan seringkali tidak tersedia dipasaran karena pabrikan sudah tidak ada. Tahapan yang dilakukan meliputi pengumpulan informasi produk, analisis fitur fungsional, pengukuran dan pemodelan *toolpost* serta analisis keterbutaan melalui simulasi pengecoran. Simulasi pengecoran ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi cing tool postcatat yang akan terjadi, sebelum desain *toolpost* akan diwujudkan dalam produk jadi. Hasil simulasi menunjukkan total cacat porositas sebesar 2% dengan lokasi cacat yaitu pada area *gating system* dan area lubang pada *toolpost*. Meskipun terdapat cacat, persentase dan lokasi cacat tersebut dapat dianggap tidak akan mempengaruhi keberfungsian dari *toolpost*. Waktu tuang optimal yaitu 2,38 detik dan waktu pendinginan yaitu 201,3 detik untuk mencegah terjadinya retak dan deformasi.

**Kata kunci:** Rekayasa Peniruan, *Toolpost*, Simulasi Pengecoran, Mesin bubut konvensional.

**Abstract**—*Reverse engineering* is an innovation in product development. Existing products are analyzed for further development or performance enhancement. This research focuses on the application of reverse engineering methods to create a *toolpost*, considering the need for *toolpost* spare parts for conventional lathes, which still relies on imports and is often unavailable in the market due to the discontinuation of manufacturers. The stages involved include gathering product information, analyzing functional features, measuring and modeling the *toolpost*, and conducting manufacturability analysis through casting simulation. This casting simulation aims to identify potential defects before the *toolpost* design is realized in a finished product. The simulation results indicate a total porosity defect of 2%, with defect locations identified in the *gating system* area and the hole area of the *toolpost*. Although defects are present, the percentage and locations of these defects are deemed unlikely to affect the functionality of the *toolpost*. The optimal pouring time is 2.38 seconds, and cooling time is 201.3 seconds to prevent cracking and deformation.

**Keywords:** Reverse Engineering, *Toolpost*, Casting Simulation, Lathe

### **I. PENDAHULUAN**

Rekayasa peniruan atau *reverse engineering* merupakan inovasi dalam pembuatan produk atau komponen yang merupakan kebalikan dari perancangan produk. Pada perancangan sebuah produk dibuat dengan diawali dengan ide, kemudian dirancang dan dituangkan dalam gambar detail desain, sampai

dengan produk jadi. Sedangkan pada rekayasa peniruan produk yang sudah ada dipelajari dengan tujuan untuk menemukan kembali teknologi, prinsip kerja, dan sistem suatu produk berupa alat, perkakas, mesin (keseluruhan atau bagiannya) melalui analisis struktur, fungsi, dan cara kerjanya, serta perkiraan mengenai bagaimana produk itu dahulu dibuat [1]. Setelah informasi tersebut didapatkan dilakukan pembaharuan pada produk atau komponen tersebut. Sehingga rekayasa peniruan produk dapat dikatakan sebuah proses pengembangan produk dengan metode terbalik [2]. Pada industri manufaktur saat ini, konsep rekayasa peniruan dapat diterapkan secara legal untuk menghasilkan produk baru atau variasi dari produk lama. Ada beberapa alasan mengapa rekayasa peniruan produk harus dilakukan diantaranya; produsen asli sudah tidak ada lagi, tetapi konsumen membutuhkan produk tersebut, dokumentasi desain produk asli telah hilang atau tidak pernah ada, membuat data untuk memperbarui atau membuat bagian yang tidak memiliki data computer-aided design (CAD), atau yang datanya menjadi tidak dapat digunakan lagi, Adanya fitur kurang baik dari suatu produk sehingga perlu diperbaiki, memperkuat fitur-fitur dari suatu produk karena penggunaan jangka panjang dan menemukan cara baru untuk meningkatkan kinerja dari produk [3].

Beberapa penelitian berkaitan dengan *reverse engineering* yang telah dilakukan di bidang industri manufaktur diantaranya Pengembangan komponen mekanik [4]. Rekayasa peniruan sudu turbin kaplan [5]. Pengembangan produk *Pin valve* untuk *nozzle* truk diesel TGA-30 [6]. Pembuatan *rotary joint* untuk memasok uap pada *drum dryer* [7]. Pembuatan prototipe *fuel cock assy* [8]. Pembuatan mesin gurdi [9]

Saat ini industri mesin perkakas di Indonesia masih belum berkembang. Hal ini dapat dilihat dari data jumlah industri perkakas yang tercatat masih sedikit, sehingga kebutuhan mesin perkakas maupun suku cadangnya masih dipenuhi dengan mengimpor dari luar negeri [10]. Sehingga diperlukan kemampuan untuk menyediakan mesin perkakas dalam negeri [11]. Pada penelitian ini, dilakukan rekayasa peniruan produk *toolpost* mesin bubut konvensional. Tahapan-tahapan dalam rekayasa peniruan produk *toolpost* yaitu dimulai dari pengumpulan informasi terkait *toolpost*, analisis fitur fungsional, pengukuran dan pembuatan model 3D *toolpost* serta analisis keterbuatan produk *toolpost*. Pada tahap analisis keterbuatan produk *toolpost* dilakukan proses simulasi pengecoran. Simulasi ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas hasil pengecoran dengan mengidentifikasi kemungkinan cacat yang akan terjadi pada produk *toolpost* yang didesain dan meminimalkan cacat tersebut. Sehingga pada saat desain tersebut diwujudkan dalam produk jadi, *toolpost* tersebut dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu simulasi ini bertujuan untuk mengurangi biaya *trial-and-error*, serta meningkatkan efisiensi proses pengecoran.

## II. METODE PENELITIAN

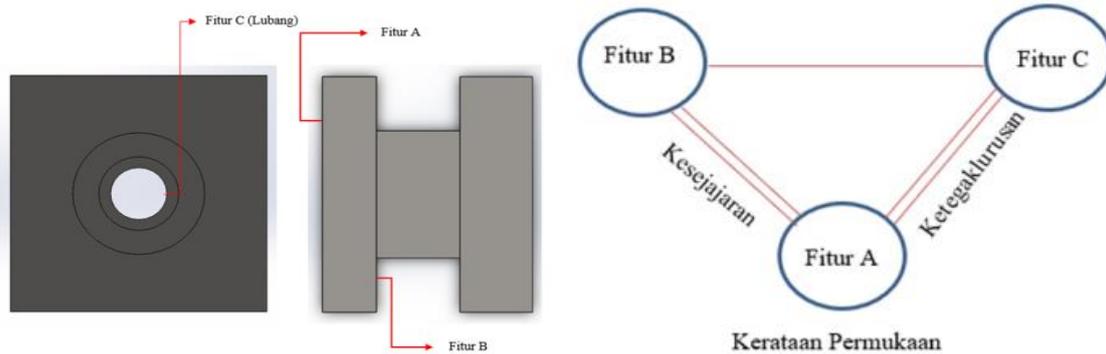
Rekayasa peniruan produk *toolpost* ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

### A. Pengumpulan Informasi Produk *Toolpost*

Informasi yang dikumpulkan yaitu mengenai material dan proses produksi yang dilakukan untuk membuat *toolpost*. Informasi material *toolpost* dibuat menggunakan besi cor kelabu FC 25 [12]. Sedangkan untuk pemilihan proses produksi mengikuti rangkaian proses pemilihan mulai dari proses interpretasi, seleksi, peringkat dan pencarian informasi pendukung. Pada pemilihan proses, semua proses produksi dianggap memiliki kemungkinan yang sama untuk dipilih. Penentuan proses yang sesuai dilakukan secara iterasi [13]. Dalam interpretasi kebutuhan proses terdapat batasan-batasan tertentu, dimana batasan-batasan tersebut digunakan untuk memilih proses-proses yang tidak dapat digunakan. Pada pemilihan proses produksi digunakan diagram pemilihan proses yaitu berupa matriks dan diagram batang. Matriks dan diagram pemilihan proses terdiri dari *Process-shape matrix*, *Process-material matrix*, *Process tolerance*, *Mass-range chart*, *Process-section thickness chart*, dan *surface roughness chart*, dari hasil analisis tersebut didapatkan bahwa *toolpost* dibuat dengan proses *sand casting*, kemudian diproses lebih lanjut dengan *conventional machining* yaitu dengan frais.

### B. Analisis Fitur dan Fungsinya

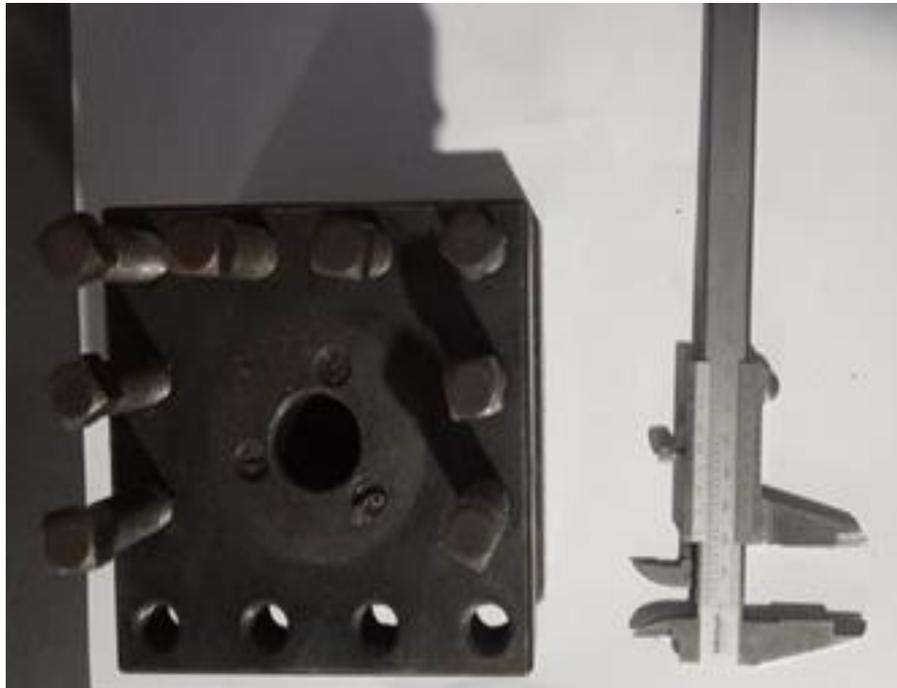
Analisis fitur diawali dengan mengidentifikasi fitur-fitur pada *toolpost*. Kemudian hubungan atau keterkaitan antar fitur digambarkan dengan diagram liason. Fitur yang menjadi karakteristik kunci (KC) dan mempengaruhi fungsi *toolpost* dapat dilihat pada Gambar 1. Fitur A (bagian bawah *toolpost*) merupakan fitur yang akan dirakit dengan eretan atas (*Compound rest*), sehingga fitur A permukaannya harus rata. Fitur B berfungsi sebagaiudukan penopang pahat mesin bubut, sehingga fitur B harus sejajar dengan fitur A. Fitur C berfungsi sebagai pemosisi *toolpost* pada eretan atas, sehingga fitur C harus tegak lurus terhadap fitur C.



**Gambar 1.** Diagram Liason untuk Analisis Fitur Fungsional (KC)

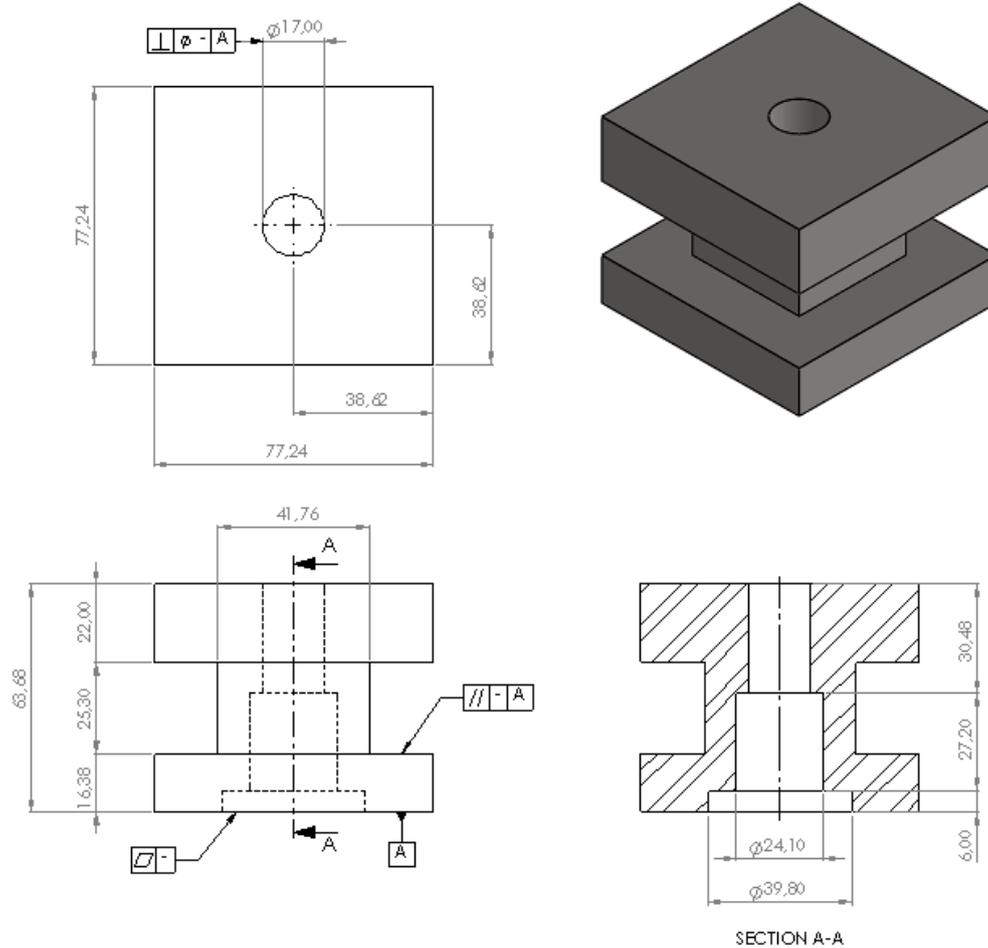
### C. Pengukuran Dimensi dan Pemodelan 3D *Toolpost*

Pengukuran dimensi *toolpost* dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran kontak. Alat ukur yang digunakan yaitu jangka sorong Mitutoyo yang memiliki kecermatan 0,02 mm, lihat Gambar 2. Proses pengukuran ini dilakukan di Laboratorium Teknik Produksi Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.



**Gambar 2.** Pengukuran Dimensi *Toolpost*

Hasil pengukuran berupa dimensi *toolpost* ini digunakan untuk pembuatan model 3D *toolpost* dengan *software CAD*. Model 2D dan 3D *toolpost* yang dibuat dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Model 2D dan 3D Toolpost

#### D. Analisis Keterbuatan

Analisis keterbuatan produk *toolpost* dilakukan dengan melakukan simulasi pengecoran dengan *software* simulasi pengecoran. Simulasi pengecoran dilakukan untuk mengidentifikasi cacat-cacat yang mungkin akan terjadi saat dilakukan proses produksi *toolpost* dan mengoptimasi desain agar cacat yang terjadi seminimal mungkin. Proses simulasi ini diawali dengan perencanaan dan pembuatan model 3D pola *gating system*. *Gating system* ini dirancang untuk mengisi cetakan secepat mungkin dan tidak menimbulkan terbentuknya turbulensi saat logam cair menuju rongga cetakan. *Gating system* ini dibuat mengikuti standar *American Foundrymen's Society* [14] dan melihat beberapa referensi tentang perencanaan *gating system* [15]. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung *gating system* sebagai berikut:

$$\text{Berat benda coran} \quad w = \rho \cdot V \quad (1)$$

$$\text{Waktu tuang} \quad t = K_1 \cdot \sqrt{w} \quad (1)$$

$$\text{Choke Area} \quad AB = \frac{w}{d.t.c. \sqrt{2.g.H}} \quad (3)$$

$$\text{Area of the Top of Sprue} \quad AT = AB \sqrt{\frac{H}{b}} \quad (4)$$

$$\text{Well base} \quad = 5 \times AB \quad (5)$$

$$\text{Well depth} \quad = 2 \times \text{Runner depth} (d) \quad (6)$$

Menentukan Luasan Pengalir (*Runner Area*) dan luasan saluran masuk (*Gate Area*) menggunakan perbandingan antara :

$$\text{Choke area} : \text{runner area} : \text{gate area} \quad = 1 : 4 : 4 \quad (7)$$

Desain *riser* untuk mengkompensasi penyusutan logam mengikuti standar [16].

$$\text{Berat logam cair yang ada di dalam riser} \quad WF = WC \times \frac{100}{c\%} \times \frac{s\%}{100} \quad (8)$$

Model 3D pola *gating system* dan model 3D *toolpost* yang telah dibuat digabungkan untuk selanjutnya dilakukan proses simulasi pengecoran. Pada proses simulasi pengecoran ini diteliti pengaruh atau efek pengaturan ukuran *mesh* terhadap hasil simulasi. Ukuran *mesh* divariasikan dengan ukuran 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm. Pada proses simulasi ini yang diselidiki yaitu pengaruh ukuran *mesh* terhadap waktu cairan logam mengisi cetakan (waktu tuang) dan distribusi temperatur, pengaruh ukuran *mesh* terhadap waktu pendinginan serta pengaruh ukuran *mesh* terhadap cacat yang akan terjadi.

### III. HASIL DAN DISKUSI

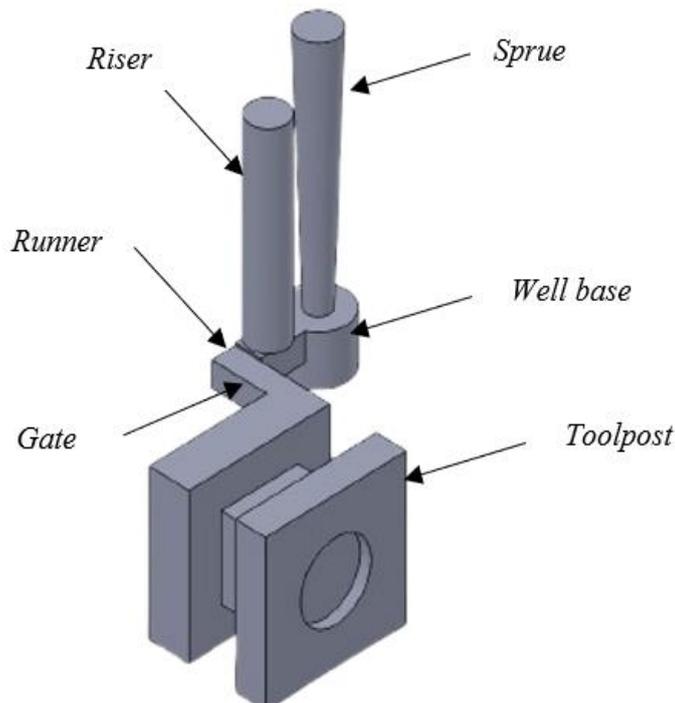
#### A. Hasil Desain *Gating System*

Hasil perancangan *gating system* untuk pengecoran produk *toolpost* dapat dilihat pada Gambar 4. Dimensi *gating system* diperoleh dari hasil perhitungan dengan menggunakan rumus (1) sampai dengan (8). Sebelum tahap perhitungan untuk menentukan dimensi *gating system* diperlukan data mengenai volume *toolpost*. Hasil perhitungan didapatkan data dimensi *gating system* sebagai berikut:

Volume	= 246,30 $cm^3$	
Berat benda coran	= 1,78 kg	(1)
Waktu tuang	= 2,77 detik	(2)
<i>Choke Area</i>	= 1,24 $cm^2$	(3)
<i>Area of the Top of Sprue</i>	= 3,47 $cm^2$	(4)
Tinggi <i>sprue</i>	= 10 cm	
<i>Well base</i>	= 6,2 $cm^2$	(5)
<i>Well depth</i>	= 2,56 cm	(6)
Luasan Pengalir ( <i>Runner Area</i> )	= 4,96 $cm^2$	(7)
Luasan saluran masuk ( <i>Gate Area</i> )	= 4,96 $cm^2$	(7)

Sedangkan untuk saluran penambah (*riser*) yang berfungsi sebagai *reservoir* yang akan mensuplai logam cair tambahan pada produk cor selama proses pembekuan dirancang supaya logam cair didalamnya harus membeku lebih lambat dari benda *toolpost*. Sehingga perlu dihitung berat logam cair yang diperlukan sebagai berikut:

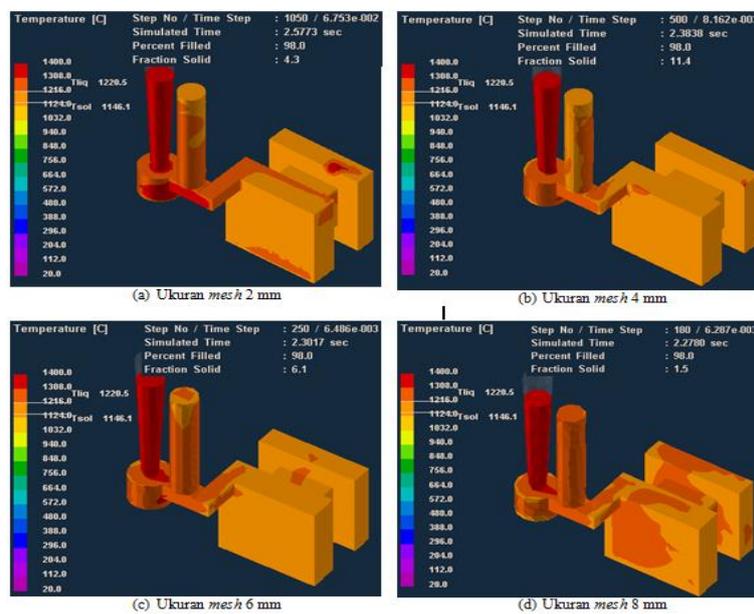
$$\text{Berat logam cair yang ada di dalam riser} \quad WF = 43,1 \text{ cm}^3 \quad (8)$$



**Gambar 4.** Desain *Gating system* dan *Toolpost*

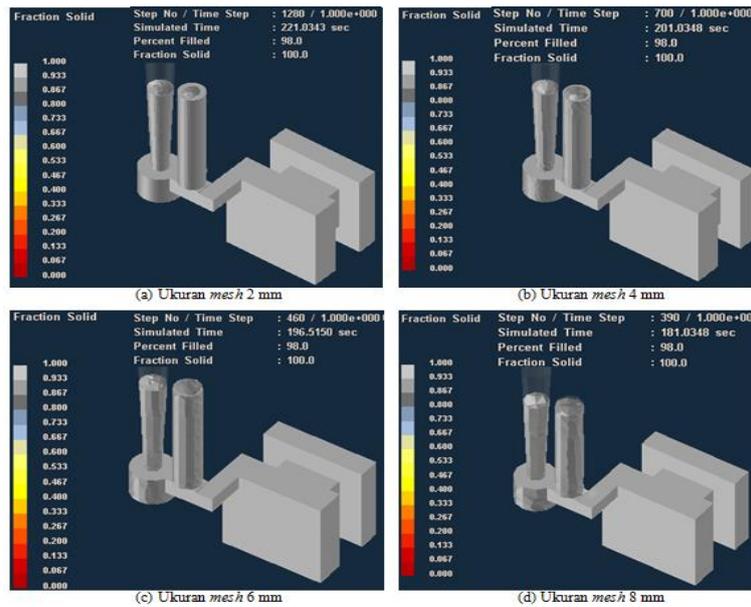
## B. Hasil Simulasi Proses Pengecoran

Hasil simulasi menunjukkan bahwa ukuran *mesh* mempengaruhi waktu tuang logam cair mengisi cetakan dan distribusi temperatur pada cetakan yang terlihat pada gradasi warna, lihat Gambar 5. Pada ukuran *mesh* 2 mm waktu yang dibutuhkan logam cair untuk mengisi cetakan adalah 2,57 detik dan temperatur pada cetakan saat sudah terisi logam cair pada area *gating system* yaitu 1400 °C, sedangkan pada area pada tepi *toolpost* yaitu 1216 °C, lihat Gambar 5a. Ukuran *mesh* 4 mm waktu yang dibutuhkan untuk mengisi cetakan adalah 2,38 detik dan temperatur pada *toolpost* 1216 °C sedangkan pada area *gating system* logam cair tergradasi antara 1124 °C sampai 1400 °C, lihat Gambar 5b. Ukuran *mesh* 6 mm waktu yang dibutuhkan untuk mengisi cetakan adalah 2,30 detik dan temperatur pada *toolpost* 1216 °C sedangkan pada tepi atas yaitu 1216 °C pada area *gating system* logam cair tergradasi antara 1124 °C sampai 1400 °C, lihat Gambar 5c. Ukuran *mesh* 8 mm waktu yang dibutuhkan untuk mengisi cetakan adalah 2,27 detik dan temperatur pada cetakan saat sudah terisi logam cair tergradasi antara 1124 °C sampai 1400 °C, lihat Gambar 5d. Sehingga dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran *mesh*, turbulensi pada logam cair semakin terlihat jelas dan berpengaruh pada waktu logam cair mengisi cetakan. Sedangkan perbedaan temperatur pada cetakan ini disebabkan oleh perbedaan waktu logam cair mengisi cetakan. Distribusi temperatur yang tidak seragam pada *toolpost* dapat menyebabkan cacat seperti deformasi ataupun retak.



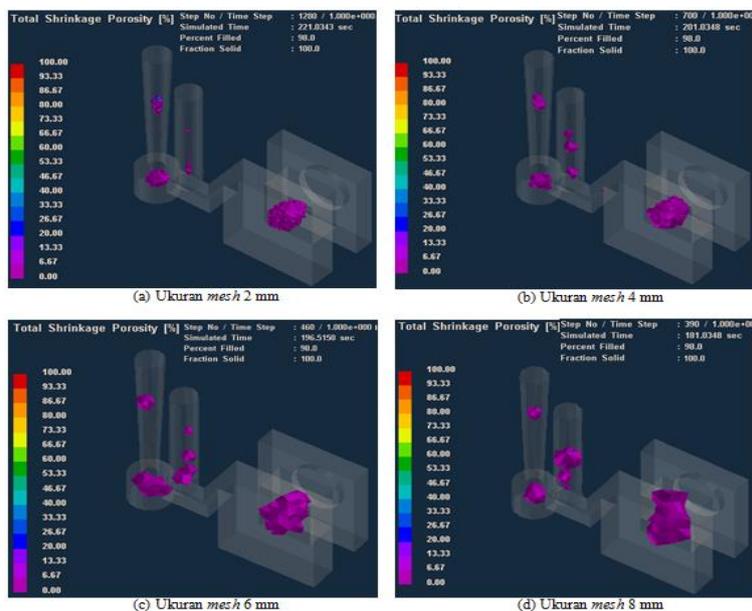
**Gambar 5.** Pengaruh Ukuran *Mesh* Terhadap Distribusi Temperatur

Hasil simulasi menunjukkan bahwa ukuran *mesh* mempengaruhi waktu pendinginan, lihat Gambar 6. Ukuran *mesh* 2 mm waktu pendinginan yang dibutuhkan logam cair yaitu 221,03 detik yang ditunjukkan pada Gambar 6a. Ukuran *mesh* 4 mm waktu pendinginan yang dibutuhkan logam cair yaitu 201,03 detik yang ditunjukkan pada Gambar 6b. Ukuran *mesh* 6 mm waktu pendinginan yang dibutuhkan yaitu 196,51 detik yang ditunjukkan pada Gambar 6c. Ukuran *mesh* 8 mm waktu yang dibutuhkan untuk pendinginan adalah 180,32 detik yang ditunjukkan pada Gambar 6d. Sehingga dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran *mesh* yang digunakan pada proses simulasi pengecoran semakin cepat pula waktu pendinginannya. Kecepatan waktu pendinginan akan berpengaruh pada efisiensi dan ongkos produksi *toolpost*.



**Gambar 6.** Pengaruh Ukuran Mesh Terhadap Waktu Pendinginan

Hasil simulasi pengecoran dengan ukuran *mesh* yang divariasikan 2 mm, 4 mm, 6 mm, dan 8 mm menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh ukuran *mesh* terhadap cacat atau porositas yang terjadi, baik persentasenya maupun lokasinya sama. Pada masing-masing hasil simulasi lokasi cacat yang terjadi pada *toolpost* terletak area lubang. Sedangkan cacat-cacat yang lain terjadi pada *gating system* yaitu *sprue*, *well base*, *riser*. Persentase porositas keseluruhan yang terjadi pada setiap simulasi dengan variasi ukuran *mesh* menunjukkan hasil yang sama yaitu 2%, karena persentase cetakan yang terisi yaitu 98%, lihat Gambar 7a-d. Karena lokasi cacat terjadi pada area *gating system* dan area lubang dengan persentase cacat tersebut dapat dikatakan relatif kecil. Sehingga dapat dikatakan bahwa cacat yang terjadi tidak akan mempengaruhi kualitas produk *toolpost*.



**Gambar 7.** Pengaruh Ukuran Mesh Terhadap Total Shrinkage Porosity

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa ukuran *mesh* berpengaruh terhadap waktu tuang waktu dan waktu pendinginan. Sedangkan untuk persentase cacat atau porositas yang terjadi tidak dipengaruhi oleh ukuran *mesh*. Ukuran *mesh* 4 mm merupakan ukuran *mesh* yang optimal karena distribusi temperatur pada *toolpost* lebih merata jika dibandingkan dengan ukuran *mesh* lainnya, sehingga proses pendinginan dapat lebih seragam untuk menghindari deformasi ataupun retak.

**Table 1.** Pengaruh Ukuran *Mesh* Terhadap Hasil Simulasi Pengecoran

No	Ukuran <i>Mesh</i>	Waktu tuang (detik)	Waktu pendinginan (detik)	Total Shrinkage Porosity (%)
1	2 mm	2,57	221,03	2
2	4 mm	2,38	201,03	2
3	6 mm	2,30	196,51	2
4	8 mm	2,27	181,03	2

#### IV. KESIMPULAN

Lokasi cacat terjadi pada area *gating system* dan area lubang pada *toolpost* dengan persentase cacatnya dapat dikatakan sangat kecil. Sehingga dapat disimpulkan bahwa cacat yang terjadi tidak akan mempengaruhi kualitas produk *toolpost*. Desain *toolpost* yang telah dianalisis keterbuatannya melalui simulasi pengecoran selanjutnya perlu diwujudkan dalam bentuk *prototipe*.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian, Pengabdian Masyarakat dan Inovasi (LPPMI) Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (ITNY) yang telah memfasilitasi publikasi artikel penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rochim, T. Reverse Engineering (modul workshop Puslitbang PT. PLN). MPE (Mechanical Production Engineering). FTMD-ITB. 2012
- [2] B. V. Ramnath *et al.*, "Implementation of reverse engineering for crankshaft manufacturing industry," vol. 5, no. 1, pp. 994-999, 2018.
- [3] M. Dúbravčík and Š. J. P. E. Kender, "Application of reverse engineering techniques in mechanics system services," vol. 48, pp. 96-104, 2012.
- [4] B. Shabani and Z. J. M. E. S. J. Pandilov, "Analyzing and application of reverse engineering for design and development of mechanical parts," vol. 35, no. 2, pp. 89-96, 2017.
- [5] S. Zivkovic, L. Cerce, J. Kostic, V. Majstorovic, and D. J. P. C. Kramar, "Reverse engineering of turbine blades kaplan's type for small hydroelectric power station," vol. 75, pp. 379-384, 2018.
- [6] B. Kareem, A. Olayinka, P. Ikubanni, and F. Akhator, "Implementation of Reverse Engineering and Re-Engineering in the Development of Pin Valve for the Nozzle of Man Diesel Trucks," *Building Services Engineering Research and Technology*, pp. 1735-1738, 01/01 2019.
- [7] M. Furqon, A. Rahayuningtyas, D. D. Hidayat, and Y. J. J. R. T. I. yuwana Martawirya, "Pembuatan Prototipe Produk Rotary Joint," pp. 242-256, 2021.
- [8] I. P. Nurprasetyo, S. Mejiartono, and A. J. I. J. o. S. T. T. Wibowo, "Design and Prototyping of a Simple Test Rig for Fuel Cock Assy," vol. 5, no. 1, pp. 18-22, 2022.
- [9] Kemenperin, Profil Industri Mesin Perkakas, data diperoleh melalui situs internet: <https://kemenperin.go.id/download/7548/Profil-Industri-Mesin-Perkakas> . Diunduh pada tanggal 17 Oktober 2024.
- [10] A. Wibowo, I. Belly, and Y. Yuwana, "Reverse engineering of wörner type drilling machine structure," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 319, no. 1, p. 012018: IOP Publishing.
- [11] A. Wibowo, T. Prakosa, and Y. Yuwana, "Strategi Pengembangan Industri Mesin Perkakas Nasional."
- [12] H.-C. Möhring, C. Brecher, E. Abele, J. Fleischer, and F. J. C. a. Bleicher, "Materials in machine tool structures," vol. 64, no. 2, pp. 725-748, 2015.
- [13] M. F. Ashby and D. J. M. B. Cebon, "Materials selection in mechanical design," vol. 30, no. 12, p. 995, 2005.
- [14] American Foundrymen's Society Training & Research Institute. Basic Principle of Gating and Riser. Golf&Wolf Roads Des Plainers Illinois, 1972.
- [15] S. N. Leksono, F. Hamzah, and D. A. Purnomo, "Perancangan dan Pembuatan Gating System Pada Produk Clamp Saddle Dengan Proses Pengecoran Logam Sand Casting," in *Proceedings Conference On Design Manufacture Engineering And Its Application*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 1-6.
- [16] J. Brown, *Foseco ferrous foundryman's handbook*. Butterworth-Heinemann, 2000.



©2024. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).