

# Analisis Efisiensi dengan Pengurangan Downtime dalam Proses Produksi Gravity Casting

Satriyo Murti Pamungkas<sup>1\*</sup>, Mohammad Alexin Putra<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Prodi Magister Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Bandung Jl. Phh. Mustofa No. 23 Neglasari, Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

<sup>2</sup>Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung Jl. Phh. Mustofa No. 23 Neglasari, Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

\*Corresponding author: [satriyo.murti@mhs.itenas.ac.id](mailto:satriyo.murti@mhs.itenas.ac.id)

## Abstract

*This research aims to optimize mold design in the gravity casting process to improve production efficiency and reduce product defect rates. The method used is simulation based on Computer Aided Engineering (CAE), particularly Computational Fluid Dynamics (CFD), to analyze temperature distribution, molten metal flow, and heat transfer in the mold. The initial simulation results show uneven temperature distribution, leading to defects such as porosity, cracking, and shrinkage. Improvements are made through modifications of the mold geometry, selection of materials with better thermal conductivity, and the addition of cooling channels and flow regulators. The optimized design shows an increase in productivity from 57.28% to 97.54%, the design changes in this study also increase production amount by reducing mold heating time from 1350 minutes to 180 minutes, and decreasing product defect rates from 40.94% to 21.15%. Results.*

**Keywords:** Gravity casting, production efficiency, downtime, process optimization, mold maintenance.

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan desain cetakan pada proses gravity casting guna meningkatkan efisiensi produksi dan menurunkan tingkat cacat produk. Metode yang digunakan adalah simulasi berbasis Computer Aided Engineering (CAE), khususnya Computational Fluid Dynamics (CFD), untuk menganalisis distribusi suhu, aliran logam cair, dan perpindahan panas dalam cetakan. Hasil simulasi awal menunjukkan distribusi suhu yang tidak merata, yang menyebabkan cacat seperti porositas, retak, dan penyusutan. Perbaikan dilakukan melalui modifikasi geometri cetakan, pemilihan material dengan konduktivitas termal lebih baik, serta penambahan saluran pendingin dan pengatur aliran. Desain hasil optimasi menunjukkan peningkatan produktivitas dari 57,28% menjadi 97,54%, perubahan desain cetakan dalam penelitian ini juga meningkatkan jumlah produksi dengan pengurangan waktu pemanasan cetakan dari 1350 menit menjadi 180 menit, dan penurunan tingkat cacat produk dari 40,94% menjadi 21,15%. Hasil ini menunjukkan bahwa optimasi desain menggunakan simulasi CFD efektif dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi proses gravity casting.

**Kata kunci:** Gravity casting, efisiensi produksi, downtime, optimasi proses, perawatan mold.

## 1. Pendahuluan

Pengecoran gravitasi adalah proses pengecoran logam yang sudah mapan yang mengandalkan gravitasi untuk mengalirkan logam cair ke dalam cetakan permanen, yang biasanya terbuat dari bahan seperti baja atau besi cor [1]. Proses ini banyak digunakan di berbagai industri, termasuk otomotif, kedirgantaraan, dan manufaktur rumah tangga, karena kemampuannya untuk menghasilkan komponen dengan akurasi dimensi tinggi, permukaan akhir yang halus, dan sifat mekanis yang baik [2]. Namun demikian, meskipun dikenal andal, proses

pengecoran ini tetap menghadapi berbagai tantangan teknis yang dapat memengaruhi kualitas produk dan efisiensi produksi. Salah satu tantangan utama adalah distribusi suhu yang tidak merata dalam cetakan selama proses pendinginan, yang dapat mengarah pada cacat-cacat seperti porositas, retak termal, dan penyusutan tidak seragam [3].

Cacat-cacat tersebut tidak hanya menurunkan kualitas dan integritas struktural produk akhir, tetapi juga meningkatkan tingkat penolakan produk dan pemborosan material, yang pada akhirnya

berdampak pada efisiensi biaya dan waktu produksi. Selain itu, distribusi suhu yang buruk sering menyebabkan terjadinya titik panas (hot spots) dalam cetakan, memperlambat proses pendinginan dan memperpanjang waktu siklus pengecoran secara keseluruhan [4]. Ketidakefisienan ini menjadi semakin signifikan dalam skala produksi tinggi, di mana keterlambatan kecil dapat berdampak besar terhadap throughput dan produktivitas.

Optimalisasi desain cetakan menjadi solusi yang penting untuk mengatasi permasalahan tersebut. Desain cetakan memengaruhi pola aliran logam cair dan perilaku termal selama proses solidifikasi, sehingga sangat menentukan kualitas produk akhir [5]. Oleh karena itu, desain yang tepat harus mampu menghasilkan distribusi suhu yang seragam, mendukung aliran logam yang stabil, serta memungkinkan pendinginan yang efisien. Faktor-faktor seperti geometri cetakan, pemilihan material, dan penambahan fitur seperti saluran pendingin atau insulasi lokal perlu dianalisis secara cermat. Penelitian ini difokuskan pada optimalisasi desain cetakan dalam proses pengecoran gravitasi untuk meningkatkan keseragaman distribusi panas dan mengurangi cacat pengecoran, sekaligus mempercepat waktu siklus produksi. Dengan pendekatan simulasi komputasional dan validasi eksperimental, studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi proses pengecoran pada skala industri.

## 2. Material dan Metodologi

Metodologi penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan untuk mencapai tujuan utama, yaitu optimasi desain cetakan pada proses gravity casting. Proses diawali dengan tahap perumusan masalah yang bertujuan mengidentifikasi hambatan utama dalam proses produksi. Permasalahan yang ditemukan mencakup ketidakseragaman distribusi suhu pada cetakan, aliran logam cair yang tidak optimal sehingga berisiko

menyebabkan cacat seperti porositas atau cold shut, serta waktu siklus produksi yang tidak efisien. Identifikasi ini tidak hanya bersumber dari pengalaman praktik lapangan, tetapi juga diperkuat oleh hasil studi literatur yang relevan, observasi langsung terhadap proses pengecoran, dan analisis data historis dari hasil produksi sebelumnya. Semua data tersebut kemudian disintesis untuk merumuskan fokus masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian.

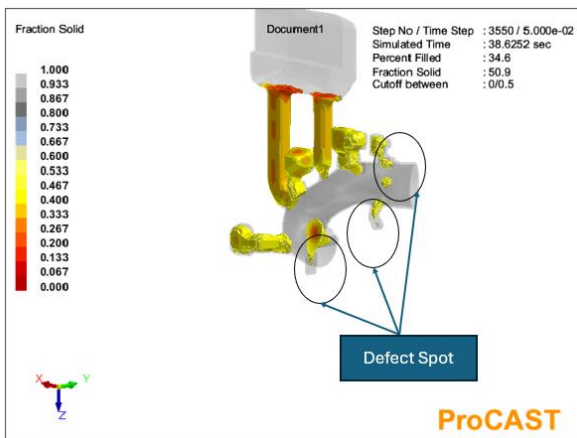
Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis terhadap desain cetakan awal menggunakan perangkat lunak berbasis Computer-Aided Engineering (CAE), khususnya modul Computational Fluid Dynamics (CFD). Melalui simulasi ini, peneliti dapat memetakan distribusi suhu selama proses pengecoran, menganalisis pola aliran logam cair dalam rongga cetakan, serta mengidentifikasi zona-zona kritis yang berpotensi menimbulkan kecacatan, seperti area overcooling, overheating, atau turbulensi aliran. Hasil dari simulasi ini digunakan sebagai dasar untuk melakukan modifikasi desain. Desain cetakan baru dikembangkan dengan mempertimbangkan peningkatan geometri aliran, pemilihan material cetakan yang mampu mendistribusikan panas secara merata, dan integrasi fitur tambahan seperti saluran pendingin atau pengatur aliran untuk menghindari ketidakseimbangan termal. Desain yang telah diperbaiki kemudian divalidasi kembali melalui simulasi CFD lanjutan untuk menilai performa terhadap indikator utama, seperti kecepatan pengisian, efisiensi pendinginan, dan pengurangan potensi cacat.

Setelah desain cetakan dinyatakan optimal secara simulatif, tahap selanjutnya adalah pembuatan prototipe cetakan sesuai spesifikasi desain hasil optimasi. Prototipe ini kemudian diuji dalam proses pengecoran aktual guna mengevaluasi kinerjanya di lingkungan operasional nyata. Pengujian dilakukan dengan mengukur parameter seperti distribusi suhu cetakan saat produksi, kualitas akhir produk hasil pengecoran, serta durasi waktu siklus produksi. Data hasil uji

coba ini dibandingkan dengan hasil simulasi CFD untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian antara model numerik dan kondisi lapangan. Verifikasi ini menjadi dasar untuk menilai reliabilitas metode simulasi yang digunakan. Akhir dari proses metodologi ini adalah penyusunan analisis evaluatif serta rekomendasi teknis mengenai penerapan desain cetakan baru secara industrial, yang berfokus pada peningkatan efisiensi proses, pengurangan tingkat kecacatan, dan dukungan terhadap keberlanjutan produksi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Analisis CAE Desain awal



Gambar 1. Hasil CAE desain molding sebelum dikembangkan

Hasil simulasi CAE menunjukkan adanya potensi terjadinya beberapa jenis cacat pada proses gravity casting akibat distribusi suhu yang tidak seragam. Cacat seperti porositas, retak, dan penyusutan tidak merata dapat terjadi karena perbedaan laju pendinginan yang signifikan. Faktor-faktor utama yang memengaruhi terjadinya cacat ini meliputi desain cetakan, material cetakan, suhu tuang, dan laju pendinginan [6]. Untuk meminimalkan risiko cacat tersebut, diperlukan optimasi desain cetakan, pemilihan material cetakan yang sesuai, pengaturan suhu tuang yang optimal, serta penerapan sistem pendinginan yang efektif [7]. Analisis lebih lanjut terhadap hasil simulasi, seperti visualisasi distribusi suhu dan analisis tegangan, dapat memberikan pemahaman yang lebih

mendalam tentang penyebab cacat serta solusi yang tepat untuk mengatasinya. Hasil simulasi ini disajikan pada bagian berikut. Gambar 1.

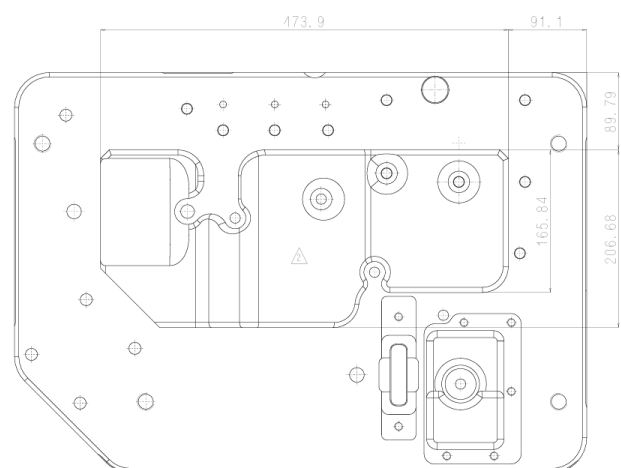
Berdasarkan analisis CAE tersebut, *Defect spot* diakibatkan oleh pendinginan yang lebih cepat pada geometri tersebut. Oleh karena itu, diperlukan penambahan sumber panas untuk menyelesaikan permasalahan tersebut [8].

#### 3.2 Proposing Design Development

Perubahan desain yang dilakukan pada tiga titik defect yang ditunjukkan pada table 1.

Tabel 1. Tabel Desain sebelum dan sesudah didevelopment

VIEW	BEFORE	AFTER
TOP VIEW		
BOTTOM VIEW		



Gambar 2. Dimensi mold setelah re-desain

Perubahan desain cavity mold pada tabel "Before" dan "After" menunjukkan

beberapa pembaruan signifikan untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi. Pada bagian Top View, dilakukan penambahan pipa heater di tiga area berbeda (ditandai sebagai A, B, dan C) untuk meningkatkan distribusi panas pada mold, sehingga proses injeksi plastik menjadi lebih efektif. Selain itu, pada area D, selain penambahan pipa heater, dilakukan pula penutupan riser untuk mengoptimalkan aliran material plastik dan mencegah terjadinya kebocoran atau cacat pada produk akhir [9-11]. Sementara itu, pada bagian Bottom View, perubahan utama meliputi pengurangan ketebalan pada geometri mold serta pembuatan saluran panas (area E), yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pemanasan dan pendinginan selama proses produksi. Pada area F, dilakukan pengurangan ketebalan pada base part mold, yang tidak hanya mengurangi berat mold tetapi juga mempercepat siklus pemanasan dan pendinginan [12,13]. Perubahan-perubahan ini secara keseluruhan dirancang untuk meningkatkan performa mold, mempercepat waktu siklus produksi, dan menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik [14,15].

### 3.2 Hasil Prototyping

Prototyping dilakukan dengan membuat 4 part melalui molding yang telah dikembangkan, dan dilakukan pengecekan secara visual dan cutting check pada defect spot. Part prototipe ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Casting Prototipe

### 3.3. Hasil Analisis Evaluasi Pra-Produksi

Prototyping yang telah dibuat selanjutnya dilakukan evaluasi dengan cara monitoring produksi casting selama 22 hari kerja dengan 15 jam perhari terbagi dalam 2 shift. Hasil evaluasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis evaluasi pra-produksi

	Before			After		
	ratio	Stop Time	Work Time	ratio	Stop Time	Work Time
Achievement Production Output	57,28%		2937	97,54%		3082
Bakar Mold	45,97%	1350min	2937	5,84%	180min	3082
Casting NG Ratio	40,94%			21,15%		

Berdasarkan hasil pra-produksi molding sebelum dan setelah pengembangan desain, terdapat peningkatan yang signifikan pada berbagai aspek produksi. Tingkat pencapaian production output sebelum pengembangan desain hanya mencapai 57,28%, sedangkan setelah pengembangan meningkat tajam menjadi 97,54%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa desain baru berhasil meningkatkan efisiensi produksi dengan mengurangi waktu henti (downtime). Pada proses bakar mold, rasio waktu berhenti sebelum pengembangan desain mencapai 45,97%, dengan total waktu henti sebesar 1350 menit. Setelah pengembangan, rasio ini menurun drastis menjadi hanya 5,84%, dengan total waktu henti berkurang menjadi 180 menit. Hal ini menunjukkan bahwa desain baru mampu mengurangi kebutuhan waktu untuk proses bakar mold, sehingga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas.

Selain itu, rasio produk gagal (Casting NG Ratio) juga mengalami penurunan signifikan. Sebelum pengembangan desain, rasio produk gagal mencapai 40,94%, yang menunjukkan tingginya tingkat kecacatan pada produk. Setelah dilakukan pengembangan, rasio ini

berkurang menjadi 21,15%, mencerminkan perbaikan kualitas hasil produksi. Penurunan rasio kecacatan ini menunjukkan bahwa desain baru cetakan mampu mengoptimalkan aliran logam cair dan distribusi suhu cetakan, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya cacat pada produk. Secara keseluruhan, pengembangan desain cetakan telah memberikan dampak positif yang besar, baik dalam peningkatan efisiensi waktu maupun kualitas hasil produksi. Dengan hasil ini, desain baru cetakan dapat direkomendasikan untuk diimplementasikan pada skala produksi yang lebih besar.

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan desain cetakan pada proses gravity casting berhasil meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi secara signifikan. Desain baru mampu meningkatkan pencapaian production output dari 57,28% menjadi 97,54%, yang mencerminkan pengurangan waktu henti produksi secara drastis. Pada proses bakar mold, total waktu henti berhasil ditekan dari 1350 menit menjadi hanya 180 menit, dengan rasio waktu berhenti menurun dari 45,97% menjadi 5,84%. Selain itu, rasio produk gagal (Casting NG Ratio) juga mengalami penurunan yang signifikan, dari 40,94% menjadi 21,15%, menunjukkan bahwa desain baru dapat meminimalkan potensi kecacatan produk dengan mengoptimalkan aliran logam cair dan distribusi suhu cetakan. Dengan hasil yang dicapai, desain baru ini tidak hanya meningkatkan efisiensi waktu produksi tetapi juga memperbaiki kualitas hasil casting, sehingga memberikan kontribusi positif yang besar terhadap keberlanjutan dan produktivitas industri. Oleh karena itu, desain cetakan yang telah dioptimalkan ini layak untuk diterapkan pada skala industri yang lebih besar guna mencapai performa produksi yang lebih maksimal.

#### Referensi

- [1] Raharjo, S., Abdillah, F., & Wanto, Y. (2011). Analisa pengaruh pengecoran ulang terhadap sifat mekanik paduan aluminium adc 12. *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi*, 1(1).
- [2] Azis, S. R. (2019). *Simulasi pada Slope dengan Metode Pengecoran Gravitasi Menggunakan Ansys 16.0* (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- [3] Anil, K. C., Kumaraswamy, J., & Sanman, S. (2023). Experimental arrangement for estimation of metal-mold boundary heat flux during gravity chill casting. *Materials Today: Proceedings*, 72, 2013-2020.
- [4] Fan, Q., Zhuang, X., Zhu, Y., Li, Y., Xie, L., Pan, P., & Peng, R. (2019). Temperature field model and control strategy in gravity casting process. *Review of Scientific Instruments*, 90(11).
- [5] Taniguchi, S., & Maeda, Y. (2020). Inlet Condition for Mold Filling Simulation in Gravity Casting of Aluminum Alloy. *Materials Transactions*, 61(10), 1981-1986.
- [6] Jiang, W., Fan, Z., Liu, D., Liao, D., Dong, X., & Zong, X. (2013). Correlation of microstructure with mechanical properties and fracture behavior of A356-T6 aluminum alloy fabricated by expendable pattern shell casting with vacuum and low-pressure, gravity casting and lost foam casting. *Materials Science and Engineering: A*, 560, 396-403.
- [7] Du, D., An, J., Dong, A., & Sun, B. (2025). A review of the progress and challenges of counter-gravity casting. *Journal of Materials Science & Technology*, 216, 1-26.
- [8] Li, L., Li, D., Gao, J., Zhang, Y., & Kang, Y. (2018). Influence of mold temperature on microstructure and shrinkage porosity of the A357 alloys in gravity die casting.

- In *Advances in Materials Processing: Proceedings of Chinese Materials Conference 2017 18th* (pp. 793-801). Springer Singapore.
- [9] Kurtulus, K., Bolatturk, A., Coskun, A., & Gürel, B. (2021). An experimental investigation of the cooling and heating performance of a gravity die casting mold with conformal cooling channels. *Applied thermal engineering*, *194*, 117105.
- [10] Ramazzotti, D. (2020). Rotational molding. In *Plastics Products Design Handbook* (pp. 75-104). CRC Press
- Taniguchi, S., & Maeda, Y. (2020). Inlet Condition for Mold Filling Simulation in Gravity Casting of Aluminum Alloy. *Materials Transactions*, *61*(10), 1981-1986.
- [12] Yim, C. D., Wu, G., & You, B. S. (2007). Effect of gas bubbling on tensile elongation of gravity mold castings of magnesium alloy. *Materials transactions*, *48*(10), 2778-2781.
- [13] Jorstad, J. L. (2008). Permanent mold: casting processes. *Advanced Materials & Processes*, *166*(4), 30-34.
- [14] Prucha, T. E. (2003, November). Metal Mold Processes—Gravity and Low Pressure Technology. In *AFS International Conference on Structural Aluminum Casting. SAC* (pp. 119-136).
- [15] Anil, K. C., Kumaraswamy, J., & Sanman, S. (2023). Experimental arrangement for estimation of metal-mold boundary heat flux during gravity chill casting. *Materials Today: Proceedings*, *72*, 2013-2020.