

SIMULASI PARAMETER PROSES PENGECORAN LOGAM *INVESTMENT CASTING* UNTUK MEMINIMALKAN POROSITAS PADA *CASING PUMP*

Sahat Maruba Simbolon¹, Fipka Biso^{1*}, Amanda Rosalina¹

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Email: fipka@ppns.ac.id

Abstrak

Pengecoran logam berperan strategis dalam memenuhi kebutuhan komponen pada berbagai sektor industri, seperti otomotif, konstruksi, energi, hingga alat berat. Proses ini memiliki keunggulan dalam menghasilkan bentuk produk yang kompleks, presisi tinggi, serta kekuatan material yang baik dengan biaya produksi yang relatif ekonomis. Meski demikian, salah satu permasalahan utama yang masih sering ditemui adalah munculnya cacat porositas. Cacat ini tidak hanya menurunkan kualitas visual, tetapi juga berdampak signifikan terhadap kekuatan mekanis, ketahanan terhadap tekanan, serta keandalan produk dalam jangka panjang. *Casing pump*, sebagai komponen vital dalam sistem perpompaan, sering mengalami porositas akibat parameter pengecoran yang belum diatur secara optimal. Kondisi ini berakibat pada meningkatnya tingkat *reject* produk, pemborosan material, serta berkurangnya efisiensi produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab utama timbulnya porositas pada produk *casing pump* sekaligus mengoptimalkan parameter proses pengecoran yang meliputi suhu peleburan, suhu penuangan, suhu cetakan keramik, serta laju waktu tuang. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ProCAST, yaitu *Computer Aided Engineering* (CAE) berbasis simulasi yang mampu memvisualisasikan aliran logam cair, menganalisis mekanisme pembekuan, serta memprediksi titik kritis terjadinya porositas. Melalui pendekatan berbasis simulasi dan validasi, diharapkan dapat diperoleh kombinasi parameter proses yang lebih akurat sehingga tingkat porositas dapat ditekan, kualitas produk meningkat, serta efisiensi produksi tercapai. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan menjadi referensi ilmiah yang mendukung pengembangan proses manufaktur pengecoran logam yang lebih efisien, ekonomis, berdaya saing, dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: *investment casting*, optimasi parameter proses pengecoran, simulasi

Abstract

Metal casting plays a strategic role in meeting the demand for components in various industrial sectors, including automotive, construction, energy, and heavy equipment. This process offers significant advantages in producing complex shapes with high precision and strength at relatively economical costs. Nevertheless, one of the main challenges that continues to persist is the occurrence of porosity defects. Such defects not only reduce visual quality but also have a substantial impact on the mechanical strength, pressure resistance, and long-term reliability of the product. casing pump, as a vital component in pumping systems, is often prone to porosity due to suboptimal casting parameters. This condition leads to an increased product reject rate, material waste, and reduced production efficiency. The present study aims to identify the main causes of porosity in casing pump products and optimize critical casting parameters, including melting temperature, pouring temperature, ceramic mold preheat temperature, and pouring time. The optimization process is carried out using ProCAST software, a Computer Aided Engineering (CAE) tool capable of visualizing molten metal flow, analyzing solidification mechanisms, and predicting critical points of porosity formation. Through a simulation and validation-based approach, this research seeks to determine the most accurate combination of process parameters to minimize porosity, improve product

quality, and enhance production efficiency. Furthermore, the outcomes of this study are expected to serve as a scientific reference to support the development of more efficient, economical, competitive, and environmentally friendly metal casting manufacturing processes.

Keywords: casting parameter optimization, investment casting, ProCAST

PENDAHULUAN

Industri pengecoran logam memiliki peran penting dalam menyediakan komponen strategis bagi sektor otomotif, konstruksi, dan alat berat. Kualitas hasil coran sangat dipengaruhi oleh parameter proses, terutama temperatur tuang, kecepatan aliran, serta desain sistem saluran. Penelitian pada (Harmanto, 2016) menunjukkan bahwa variasi temperatur penuangan berpengaruh signifikan terhadap tingkat porositas pada cetakan logam aluminium bekas. Hal ini sejalan dengan temuan Muhaemin et al. (2023), yang menekankan pentingnya pengendalian temperatur tuang dan dimensi saluran masuk untuk menurunkan cacat porositas pada pengecoran aluminium. Selain itu, Syah et al. (2017) menegaskan bahwa desain *gating system* dan pengaturan parameter proses pengecoran merupakan faktor kunci dalam mengurangi cacat rongga pada komponen seperti poros engkol. Dengan demikian, pengendalian parameter proses pada proses pengecoran logam menjadi aspek vital untuk mendukung kualitas produk industri manufaktur.

Berdasarkan fenomena tersebut, permasalahan dalam penelitian ini adalah belum optimalnya parameter proses pengecoran logam pada produk *casing pump*, yang menyebabkan tingginya tingkat cacat porositas dan rendahnya efisiensi produksi. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara pendekatan ilmiah berbasis simulasi dan praktik di industri. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan menganalisis pengaruh parameter suhu peleburan, suhu penuangan, suhu cetakan keramik, dan laju waktu tuang terhadap terbentuknya cacat porositas pada proses pengecoran logam, serta memberikan rekomendasi parameter optimal guna meningkatkan kualitas dan efisiensi produksi.

TINJAUAN PUSTAKA

(A) Teori dan Konsep Dasar *Investment Casting*

Investment casting merupakan salah satu metode pengecoran logam presisi yang menggunakan cetakan berbahan dasar *ceramic slurry* dan dikenal juga dengan istilah *lost wax process*. Keunggulan utama dari *investment casting* terletak pada tingkat akurasi dimensi yang tinggi, toleransi ketat, serta hasil permukaan coran yang halus dan berkualitas, sehingga seringkali tidak memerlukan proses permesinan lanjutan (*Metal Handbook Vol. 15 Casting*). Proses pengecoran logam dengan metode *investment casting* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Pengecoran *Investment Casting* (Data Perusahaan, 2024)

(B) Parameter Proses Pengecoran Logam

Parameter proses pengecoran logam sangat memengaruhi kualitas hasil coran. Misalnya, desain *gating system*, temperatur tuang, hingga kecepatan aliran logam cair akan menentukan tingkat porositas dan cacat pada produk (Syah et al., 2017).

(C) Temperatur Peleburan (*Melting Temperature*)

Temperatur peleburan logam harus dicapai secara optimal agar logam benar-benar cair dan bebas dari inklusi padat. Penelitian Harmanto (2016) menunjukkan bahwa pengendalian temperatur peleburan berhubungan erat dengan terbentuknya porositas pada hasil coran aluminium. Standar suhu temperatur peleburan yang digunakan berdasarkan jenis logam dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penentuan Parameter Jenis Logam dan Kisaran Suhu

Jenis Cairan Logam	Kisaran Suhu
Aluminium	~ 660 °C
Tembaga	~ 1085 °C
Baja Tahan Karat	~ 1400 – 1450 °C
Titanium	~ 1668 °C

(D) Temperatur Tuang (*Pouring Temperature*)

Menurut Hidayat & Tamjidillah (2016) temperatur tuang merupakan salah satu faktor paling berpengaruh terhadap kualitas coran, bahwa variasi temperatur tuang pada material aluminium paduan berpengaruh signifikan terhadap kekerasan hasil coran. Berikut adalah Tabel 2, parameter dengan rentang temperatur tuang yang digunakan pada industri pengecoran logam pada umumnya.

Tabel 2. Temperatur Tuang Dengan Kisaran Berdasarkan Jenis Material

Jenis Logam	Temperatur Tuang (°C)
Aluminium	700 – 760
Baja	1550 – 1650
Perunggu	1050 - 1150

(E) Temperatur Cetakan Keramik (*Sintering Temperature*)

Selain temperatur logam cair, temperatur cetakan juga perlu diperhatikan. Menurut Santoso et al. (2018) dalam penelitiannya dengan simulasi pengecoran *stainless steel* CF8M dengan ProCAST menunjukkan bahwa variasi temperatur tuang dan kondisi cetakan dapat memengaruhi kualitas coran yang dihasilkan. Berikut adalah Tabel 3, penentuan parameter suhu temperatur cetakan yang perlu diperhatikan.

Tabel 3. Temperatur Cetakan Dengan Kisaran Berdasarkan Jenis Material

Tahap Pelaksanaan	Suhu	Lama (Jam)
Pemanasan Awal	300 – 600	1 - 2
Sinter Utama	850 - 1100	2 – 4
Pendinginan	< 200	1 - 2

(F) Kecepatan Tuang (*Pouring Speed*)

Kecepatan tuang harus diatur agar logam cair mampu mengisi rongga cetakan secara merata tanpa menimbulkan turbulensi yang berlebihan. Kecepatan putar pada *centrifugal casting* berpengaruh langsung terhadap kekerasan dan tingkat porositas coran aluminium (Putra & Arif, 2019).

(G) Taguchi

Metode Taguchi dapat dimanfaatkan untuk mengoptimasi desain sistem saluran dan parameter proses dengan pendekatan simulasi *software* ProCAST pada proses pengecoran *propeller* kapal (Arifin et al., 2019). Pendekatan ini memungkinkan peneliti menentukan kombinasi parameter terbaik seperti bentuk *runner*, tinggi *sprue*, dan desain *sprue base* dengan tujuan meminimalkan porositas dan meningkatkan kualitas coran. Metode Taguchi dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi dan bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk dan proses dengan meminimalkan variabilitas tanpa perlu eksperimen dalam jumlah besar.

(H) Desain Eksperimen Taguchi

Desain eksperimen Taguchi memanfaatkan *Orthogonal Array* (OA) untuk merancang kombinasi uji coba dari berbagai faktor dan level secara efisien. Tabel OA yang digunakan tergantung pada jumlah faktor dan jumlah level tiap faktor (Kusumayudha et al., 2021). Contoh, jika terdapat 4 faktor masing-masing pada 3 level, maka digunakan OA L9 (3⁴), yang terdiri dari 9 kombinasi eksperimen seperti pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Matriks *Orthogonal Array* L9 (3⁴)

<i>Run</i>	Faktor A	Faktor B	Faktor C	Faktor D
1	1	1	1	1
2	2	2	2	2
3	3	3	3	3
4	1	2	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

METODE**(A) Metode Perhitungan Taguchi**

Setelah seluruh data hasil pengukuran dikumpulkan dan diolah, dilakukan perhitungan menggunakan metode Taguchi untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai *Signal-to-Noise* (S/N) sesuai dengan karakteristik respon yang diamati. Nilai S/N untuk karakteristik *Smaller is Better* dihitung menggunakan Persamaan 1 berikut:

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \dots \dots \dots (1)$$

Di mana:

n : jumlah pengulangan percobaan
 y_i : data hasil eksperimen

(B) *Analysis of Variance (ANOVA)*

Untuk mendukung analisis ragam (ANOVA) dalam evaluasi parameter proses, dilakukan beberapa tahapan perhitungan *statistic*, dengan langkah-langkah sebagai berikut.

- (1) Menghitung rata-rata respon dari setiap kombinasi eksperimen digunakan Persamaan 2 berikut:

$$\bar{y}_i = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots(2)$$

Di mana:

$\bar{y}_i$: rata-rata respon pada eksperimen ke-i
 x : nilai hasil pengukuran
 n : jumlah pengulangan

- (2) Menghitung rata-rata total dari seluruh respon. Persamaan perhitungan rata-rata seluruh respon adalah sebagai berikut:

$$\bar{Y} = \frac{\sum y}{n} \dots\dots\dots(3)$$

Di mana:

$\bar{Y}$: rata-rata total seluruh eksperimen
 $\sum y$: total keseluruhan nilai respon
 n : jumlah total data respon

- (3) Menyusun tabel respon untuk setiap level faktor
 Nilai pengaruh masing-masing level ditentukan dengan menghitung selisih antara nilai tertinggi dan terendah. Selisih tersebut kemudian diranking dari yang paling tinggi hingga paling rendah untuk mengetahui kontribusi dominan antar parameter. Hasil perhitungan dimasukkan ke dalam tabel respon seperti yang disajikan pada Tabel 2.

- (4) Menghitung Total SS (*Sum of Squares*)

Total *sum of squares* dihitung untuk mengetahui keseluruhan variasi dari data eksperimen terhadap nilai absolutnya digunakan Persamaan 4 sebagai berikut:

$$SS_T = \sum_{i=1}^n y_i^2 \dots\dots\dots(4)$$

Di mana:

SS_T : total *sum of squares*
 y_i : nilai pengamatan atau data hasil eksperimen ke-iii
 n : jumlah total data eksperimen

- (5) Menghitung *Sum of Squares Due to the Mean*

Nilai ini digunakan untuk menghitung kontribusi dari rata-rata keseluruhan data. Persamaan nilai menghitung kontribusi rata-rata sebagai berikut:

$$SS_m = n \cdot \bar{y}^2 \dots\dots\dots(5)$$

Di mana:

SS_m : *sum of squares* karena rata-rata
 $\bar{y}$: rata-rata total dari seluruh data eksperimen
 n : jumlah data

(6) Menghitung Jumlah Kuadrat Faktor (*Sum of Squares for Factors*)

Nilai *sum of squares* untuk masing-masing faktor dihitung berdasarkan distribusi nilai rata-rata pada setiap level. Dengan rumus Persamaan 6 sebagai berikut:

$$SS_{faktor} = \sum_{k=1}^i n_k (\bar{y}_k - \bar{y})^2 \dots\dots\dots(6)$$

Di mana:

n_k : jumlah ulangan pada level ke-k
 $\bar{y}_k$: rata-rata respon pada level ke-k
 $\bar{y}$: rata-rata total semua data

(7) Menghitung *Sum of Squares* untuk Error (SSE)

Total error dihitung dengan mengurangi nilai kontribusi faktor dan nilai rata-rata dari total *sum of squares*. Persamaan nilai kontribusi faktor dan rata-rata sebagai berikut:

$$SS_e = SS_T - SS_m - \sum SS_i \dots\dots\dots(7)$$

(8) Menentukan Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)

Derajat kebebasan untuk tiap faktor dihitung dengan rumus Persamaan 8 sebagai berikut:

$$DF_1 = L - 1 \dots\dots\dots(8)$$

Di mana:

L : jumlah level pada faktor ke-i

(9) Menghitung *Mean Sum of Squares* (MS)

Nilai rata-rata *sum of squares* tiap faktor dihitung dengan rumus Persamaan 9 sebagai berikut:

$$MS_{faktor} = \frac{SS_{faktor}}{DF_i} \dots\dots\dots(9)$$

(10) Menghitung *Mean Square Error* dan F-Ratio

Mean Square Error dihitung dengan rumus Persamaan 10 sebagai berikut:

$$MS_e = \frac{SS_e}{DF_e} \dots\dots\dots(10)$$

Rasio F untuk uji signifikansi tiap faktor dihitung dengan rumus Persamaan 11 sebagai berikut:

$$F_i = \frac{MS_{faktor}}{MS_e} \dots\dots\dots(11)$$

(11) Menghitung *Pure Sum of Squares*

Untuk menghilangkan pengaruh fluktuasi eksperimen, dilakukan koreksi. Dengan Persamaan 12 sebagai berikut:

$$SS'_i = SS_i - (DF_i \cdot V_e) \dots\dots\dots(12)$$

Di mana:

$V_e : MS_e$: error variance

(12) Menghitung Persentase Kontribusi Faktor

Kontribusi tiap faktor dihitung berdasarkan proporsi terhadap total variasi:

$$P_i = \frac{SS_i}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(13)$$

(13) Perhitungan Nilai F-Hitung (F-Ratio) dengan Persamaan 14:

$$F_{hitung} = \frac{MS_{faktor}}{MS_{Error}} \dots\dots\dots(14)$$

Perhitungan F-Hitung untuk setiap Faktor:

a. Temperatur Penuangan (B)

$$F_B = \frac{1.2572}{0.2171} = 5.79 \dots \dots \dots (15)$$

b. Temperatur Cetakan (C)

$$F_C = \frac{10.5374}{0.2171} = 48.53 \dots \dots \dots (16)$$

c. Temperatur Tuang (D)

$$F_D = \frac{0.2487}{0.2171} = 1.15 \dots \dots \dots (17)$$

d. Interpretasi F-Hitung (Dibandingkan F-Tabel)

Untuk $\alpha = 0.05$, dengan $df_1 = 2$ dan $df_2 = 2$, nilai F-tabel ≈ 19.00 . Faktor C (Temperatur Cetakan): F-hitung = $48.53 > 19.00 \rightarrow$ signifikan, Faktor B (Temperatur Penuangan): F-hitung = $5.79 < 19.00 \rightarrow$ kurang signifikan namun memiliki pengaruh, Faktor D (Kecepatan Tuang): F-hitung = $1.15 < 19.00 \rightarrow$ tidak signifikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

(A) Hasil Penelitian

Penelitian ini menggunakan matriks *orthogonal* L9 (3^4) sehingga terdapat 9 eksperimen. Dengan nilai rata-rata digunakan sebagai nilai awal pada masing-masing respon. Dari hasil eksperimen simulasi didapatkan nilai rata-rata porositas terhadap produk setiap eksperimen seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Desain L9 Taguchi dan Pengolahan Data Respon

No	Parameter				Hasil		
	Peleburan (°C)	Penuangan (°C)	Cetakan (°C)	K. Tuang (m/s)	Total Porositas (%)	Makro Porositas (%)	Mikro Porositas (%)
1	1570	1554	1100	4	9.284512	2.695128	6.589384
2	1570	1560	1140	5	10.238451	3.085214	7.153237
3	1570	1566	1180	6	9.321457	2.711238	6.610219
4	1580	1560	1180	4	9.632148	2.823715	6.808433
5	1580	1560	1180	4	9.152348	2.582003	6.570345
6	1580	1566	1100	5	10.412589	3.144325	7.268264
7	1590	1554	1180	5	9.512637	2.803421	6.709216
8	1590	1560	1100	6	10.158347	3.052781	7.105566
9	1590	1566	1140	4	9.408256	2.759631	6.648625

Sumber: Hasil Data Dokumentasi, 2025

Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan atau diasumsikan hasil percobaan dari setiap eksperimen yang tercantum dalam Tabel 4, yang dimana menggunakan penerapan metode matriks *orthogonal* L9 (3^4) Taguchi untuk menghitung nilai rasio *Signal-to-Noise* (S/N) pada respon porositas produk. Perhitungan rasio S/N porositas pada produk setiap eksperimen dapat dilihat seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Rasio S/N

Variabel Bebas

Eksperimen	T. Peleburan (°C)	T. Penuangan (°C)	T. Cetakan (°C)	Kecepatan Tuang (m/s)	S/N Rasio Porositas (dB)
1	1570	1554	1100	4	-19.3564
2	1570	1560	1140	5	-20.2046
3	1570	1566	1180	6	-19.3915
4	1580	1554	1140	6	-19.6726
5	1580	1560	1180	4	-19.2253
6	1580	1560	1100	5	-20.3530
7	1590	1566	1180	5	-19.5621
8	1590	1554	1100	6	-20.1354
9	1590	1560	1140	4	-19.4664
Jumlah					-176.3673
Rata-Rata					-19.5964

Sumber: Hasil Data Dokumentasi, 2025

(B) Hasil ANOVA

Analisis *Analysis of Variance* (ANOVA) bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi pengaruh signifikan dari masing-masing parameter proses pengecoran logam terhadap respon. Hasil perhitungan ANOVA bisa dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan ANOVA

<i>Source Of Variance</i>	<i>Degree of Freedom (DF)</i>	<i>Sum of Square (SS)</i>	<i>Mean of Square (MS)</i>	F-Hitung
T. Peleburan (A)	2	0.0000	0.0000	-
T. Penuangan (B)	2	0.4282	0.2141	2.00
T. Cetakan (C)	2	0.5660	0.2830	2.64
K. Tuang (D)	2	0.4975	0.40071	3.80
Total	8	1.8084	-	-

Sumber: Hasil Data Dokumentasi, 2025

Untuk menentukan faktor-faktor yang berpengaruh signifikan, dalam analisis ini derajat kebebasan *error* (DF *Error*) bernilai nol, karena semua kombinasi telah digunakan. Oleh karena itu, dilakukan strategi *pooling*, yaitu dengan menggabungkan salah satu faktor yang kontribusinya tidak signifikan sebagai nilai *error*. Hasil dari perhitungan ANOVA setelah *pooling* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan ANOVA Setelah *Pooling*

<i>Source Of Variance</i>	<i>Degree Of Freedom (DF)</i>	<i>Sum Of Square (SS)</i>	<i>Mean Of Square (MS)</i>	F-Hitung
<i>Pooling Up</i>				
Temperatur Cetakan (C)	2	0.5660	0.2830	2.64
Kecepatan Tuang (D)	2	0.8142	0.4071	3.80
<i>Error (Pooling A+B)</i>	2	0.4975	0.1071	-
Total	8	24.5210	-	-

Sumber: Hasil Data Dokumentasi, 2025

(C) Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk memverifikasi akurasi model prediktif yang diperoleh dari metode Taguchi, khususnya dalam meminimalkan cacat porositas pada proses pengecoran logam.

Berikut ini contoh perhitungan S/N rasio pada *design* konfirmasi dengan persamaan:

- (1) Perhitungan S/N (*Smaller is Better*)

$$S/N = -10 \log(y^2)$$

$$S/N = -10 \log(80.7992984786)$$

$$S/N = -10 \times 1.9074075901$$

$$S/N = -19.074$$

- (2) Perhitungan Interval Kepercayaan (CI)

$$CI = \sqrt{F_{\alpha}(1, df_e) \cdot \frac{MSE}{neff}}$$

$$CI = \sqrt{18,51 \frac{0,2171}{2,25}} = \sqrt{1,7857} = 1,366$$

- (3) Prediksi S/N dan batas CI

$$CI = \sqrt{18,51 \frac{0,2171}{2,25}} = \sqrt{18,51 \cdot 0,09649} = \sqrt{1,7857} = 1,336$$

$$CI = \pm 1.336 \text{ dB}$$

$$S/N^{\wedge} \text{pred} \pm CI = -19,0907 \pm 1,336 - 20,4267 \text{ dB} \leq \mu \leq -17,7547 \text{ dB}$$

(D) Pembahasan

Untuk eksperimen prediksi kemudian dibandingkan dengan interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi bisa dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Interval Kepercayaan

Respon	Interval Kepercayaan
Eksperimen prediksi	-61,9015 ± -59,2295
Eksperimen konfirmasi	-61,8845 ± -59,2125

Sumber: Hasil Data Dokumentasi, 2025

KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian, pengambilan data, dan analisis menggunakan metode Taguchi, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- (1) Terbentuknya cacat mikro dan makro porositas pada produk *casing pump* dipicu oleh kombinasi parameter pengecoran yang tidak optimal, terutama temperatur peleburan, temperatur penuangan, temperatur cetakan, dan kecepatan tuang. Ketidaktepatan pengaturan parameter tersebut mengakibatkan aliran logam cair tidak sempurna serta pembekuan yang tidak merata di dalam rongga cetakan.
- (2) Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap terbentuknya porositas adalah kecepatan tuang dengan kontribusi sebesar 45,02%, diikuti oleh temperatur cetakan sebesar 31,30%. Sementara itu, temperatur peleburan dan temperatur penuangan memberikan pengaruh relatif lebih kecil, yaitu sebesar 23,68%.

- (3) Melalui simulasi menggunakan metode Taguchi dan uji konfirmasi eksperimen, diperoleh bahwa kombinasi parameter optimal mampu menurunkan total porositas secara signifikan. Nilai porositas yang semula sebesar 99,18610 cm³ berhasil berkurang menjadi 82,53911 cm³, bahkan dapat ditekan lebih lanjut hingga mendekati 82,4391 cm³ pada desain terbaik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya kepada Perusahaan Zenith Allmart Precisindo dan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, serta kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan selama proses penyusunan karya ilmiah ini. Dan teman-teman yang turut membantu dalam memberikan rekomendasi.

REFERENSI

- Arifin, A., Gunawan, G., Ismail, T., & Machrus, M. (2019). Optimasi Desain Sistem Saluran pada Pengecoran Propeller Kapal Menggunakan Metode Taguchi. *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta*. 5(1).
- Harmanto, S. (2016). Pengaruh Temperatur Penuangan Terhadap Porositas Pada Cetakan Logam Dengan Bahan Aluminium Bekas. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 11.
- Hidayat, T., & Tamjidillah, M. (2016). Pengaruh Temperatur Tuang Dengan Jenis Material Al Paduan (Rongsok Wajan) Terhadap Kekerasan Hasil Pengecoran Evaporative. *Kinematika: Jurnal Teknik Mesin*. 1, 47–58.
- Kusumayudha, R., et al. (2021). Penentuan parameter kokoh mesin high pressure die casting (HPDC) menggunakan Taguchi dan ProCast. Undergraduate Thesis, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Machrus, M., & Arifin, A. (2018). Optimasi Desain Sistem Saluran (*Gating System*) pada Pengecoran Propeller Kapal Menggunakan Metode Taguchi. Undergraduate Thesis, Universitas Sriwijaya.
- Muhaemin, M., Wahyu, D., & Irfandi, D. (2023). Pengaruh Temperatur Tuang dan Diameter Saluran Masuk terhadap Cacat Porositas pada Proses Pengecoran Logam Aluminium. *Jurnal Teknik Mesin Untirta*. 13(2), 183–192. <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jtl/article/view/21410>
- Putra, L. R., & Arif, M. (2019). Pengaruh Kecepatan Putar Mesin Centrifugal Casting Pada Proses Pengecoran Aluminium Terhadap Kekerasan dan Porositas. *Jurnal Teknik Mesin*. 7(1).
- Santoso, H. A., et al. (2018). Simulasi Pengaruh Temperatur Tuang terhadap Kualitas Coran Stainless Steel Tipe CF8M Menggunakan Perangkat Lunak ProCAST. *Jurnal Teknologi Mesin*. 6(1), 15–23.
- Suryanto, A., et al. (2024). Escalation of Capacity and Quality PS60 Casting Production by Design Molding System (stainless steel CF8M cobalt casting). *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*. 9(1), 30–38.
- Syah, K., Karmiadiji, D. W., & Rahmalina, D. (2017). Desain Gating System dan Parameter Proses Pengecoran untuk Mengatasi Cacat Rongga Poros Engkol. *JTERA*. 2, 11.

Widad, M. (2022). Simulasi Pengecoran Aluminium Skrap Metode Gravity Die Casting Menggunakan ESI ProCAST [Skripsi, Universitas Sriwijaya].