

Optimasi Proses Pengecoran Aluminium pada Produksi Komponen Produk Cor untuk Peningkatan Kualitas dan Efisiensi

Nur Rokhim¹, Margono Sugeng²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Dian Nusantara, Jakarta

511211015@mahasiswa.undira.ac.id¹, margono.sugeng.@undira.ac.id²

Abstract

This study investigates the effect of pouring temperature variations on the casting quality of AC4A aluminum ingot alloy using the CO₂ sand mold method. The pouring temperatures tested were 650°C and 664°C, with a (yield), and the microstructure of the cast products. The results indicate that increasing the pouring temperature positively affects the casting quality. The Vickers hardness increased by 9.26%, from 54.73 HV at 650°C to 59.8 HV at 664°C. The yield also improved from 10.62% to 10.92%, indicating better material efficiency. Microstructure analysis at 100x magnification showed that the 664°C casting produced finer α -Al dendritic structures, a more uniform distribution of eutectic Si phases, and reduced porosity. The pouring temperature of 664°C is recommended as the optimal parameter to achieve better mechanical quality and production efficiency. The findings of this study are expected to serve as a basis for further development of aluminum casting processes in laboratory-scale applications and technical education.

Keyword: aluminum casting, aluminum ingot AC4A, pouring temperature, microstructure, Vickers hardness, material yield

Abstrak

Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi suhu penuangan terhadap kualitas pengecoran paduan aluminium ingot AC4A dengan metode cetakan pasir CO₂. Suhu penuangan yang diuji adalah 650°C dan 664°C, dengan parameter yield dan mikrostruktur produk cor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu penuangan berdampak positif terhadap kualitas hasil cor. Kekerasan Vickers meningkat sebesar 9,26%, dari 54,73 HV pada suhu 650°C menjadi 59,8 HV pada 664°C. Yield juga meningkat dari 10,62% menjadi 10,92%, yang menunjukkan efisiensi material yang lebih baik. Analisis mikrostruktur pada pembesaran 100x menunjukkan bahwa pengecoran pada suhu 664°C menghasilkan struktur dendritik α -Al yang lebih halus, distribusi fasa eutektik Si yang lebih merata, serta porositas yang lebih rendah. Suhu penuangan 664°C direkomendasikan sebagai parameter optimal untuk mencapai kualitas mekanis dan efisiensi produksi yang lebih baik. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan lebih lanjut proses pengecoran aluminium dalam skala laboratorium maupun pendidikan teknik.

Kata Kunci: pengecoran aluminium, aluminium ingot AC4A, suhu penuangan, mikrostruktur, kekerasan Vickers, yield material

1. PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur modern, efisiensi dan kualitas produksi menjadi prioritas utama, khususnya pada proses pengecoran logam untuk komponen kompleks yang membutuhkan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Paduan aluminium AC4A merupakan material unggulan karena ringan, tahan korosi, dan memiliki konduktivitas termal tinggi, sehingga banyak digunakan pada industri otomotif, dirgantara, hingga peralatan rumah tangga [1]–[3].

Namun, proses pengecoran AC4A masih menghadapi tantangan teknis seperti porositas, misrun, dan ketidakteraturan struktur mikro, yang berdampak negatif terhadap kekuatan mekanis serta efisiensi produksi [2], [4]. Salah satu parameter paling krusial dalam hal ini adalah suhu penuangan, yang sangat memengaruhi pengisian cetakan, pembentukan mikrostruktur, dan sifat mekanik produk akhir. Suhu terlalu rendah dapat menyebabkan cacat pengisian seperti misrun, sedangkan suhu terlalu tinggi berisiko menimbulkan oksidasi dan porositas gas [5].

Namun, studi mengenai pengaruh variasi suhu penuangan terhadap kualitas coran AC4A dengan metode cetakan pasir CO₂ masih terbatas [3], [6]. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara eksperimental pengaruh suhu penuangan terhadap mikrostruktur, cacat coran, kekerasan, dan efisiensi material (yield) pada pengecoran AC4A.

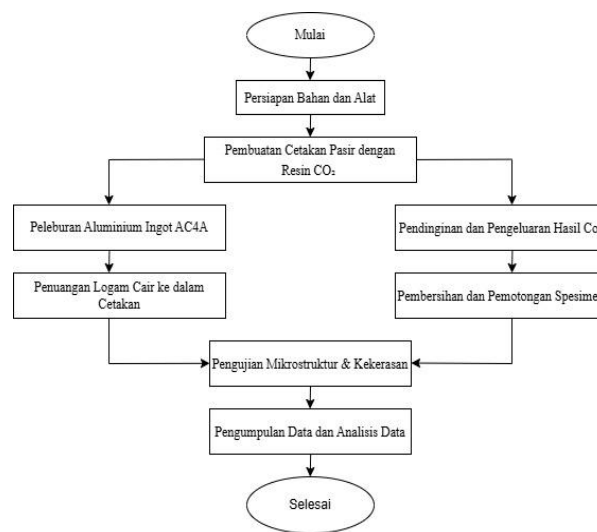
Hasilnya diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang manufaktur logam serta menjadi acuan teknis pada proses pengecoran skala laboratorium maupun produksi kecil. Secara praktis, optimasi parameter pengecoran juga berpotensi menekan tingkat cacat, meningkatkan yield material, dan memaksimalkan efisiensi proses secara keseluruhan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan pendekatan kuantitatif yang diawali dari tahapan perancangan hingga pembuatan produk cor berbasis paduan aluminium ingot AC4A. Proses dimulai dari pembuatan cetakan pasir dengan sistem saluran tuang standar, dilanjutkan dengan peleburan logam dan penuangan pada dua variasi suhu, yaitu 650°C dan 664°C. Subjek penelitian berupa logam aluminium ingot AC4A, yang diuji berdasarkan parameter mikrostruktur, kekerasan Vickers, dan efisiensi material (yield). Instrumen yang digunakan meliputi mikroskop optik untuk pengamatan struktur mikro, alat uji kekerasan Vickers, thermogun, timbangan digital, dan stopwatch. Teknik analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan menghitung nilai kekerasan rata-rata, yield material, serta melakukan analisis visual dan komparatif terhadap perbedaan hasil mikrostruktur akibat variasi suhu penuangan.

2.1. Diagram Alir

Diagram alir umum proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Prosedur Pengambilan Data

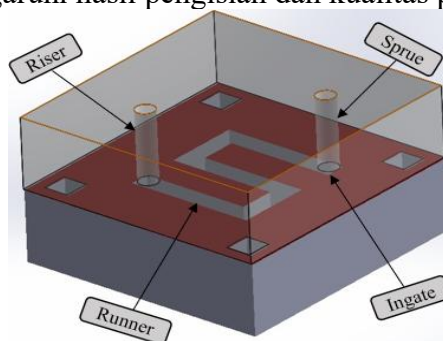
Proses eksperimen dilakukan dalam beberapa tahap sistematis yang bertujuan untuk mengamati pengaruh variasi suhu penuangan terhadap kualitas coran paduan aluminium ingot AC4A, baik dari sisi mikrostruktur maupun sifat mekanis (kekerasan). Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan:

1. Persiapan Bahan dan Alat

Menyiapkan bahan utama berupa paduan aluminium ingot AC4A. Serta peralatan pengecoran dan pengujian seperti dapur peleburan, cetakan pasir, mikroskop optik, dan alat uji kekerasan yang digunakan dalam pengumpulan data mikrostruktur dan kekerasan.

2. Pembuatan Cetakan Pasir dengan Resin CO₂

Cetakan dibuat menggunakan pasir silika yang dicampur dengan resin yang dikeraskan menggunakan gas CO₂. Desain cetakan mencakup sistem saluran tuang gambar 3 yang memengaruhi hasil pengisian dan kualitas permukaan coran.



Gambar 3. Desain Sistem Saluran Tuang

3. Peleburan Aluminium Ingot AC4A

Aluminium dilebur dalam dapur peleburan berbahan bakar LPG hingga mencair sempurna, sembari dilakukan pengadukan dan penghilangan terak untuk memastikan kemurnian logam cair gambar 4. Selama proses peleburan, suhu penuangan diukur secara presisi untuk memastikan nilai sesuai parameter eksperimen. Pengamatan juga dilakukan terhadap waktu penuangan sebagai bagian dari data utama yang dianalisis.



Gambar 4. Peleburan Aluminium

4. Penuangan Logam Cair ke dalam Cetakan

Logam cair dituangkan ke dalam cetakan melalui sistem saluran tuang dengan hati-hati agar tidak terjadi turbulensi berlebihan yang dapat menyebabkan cacat gambar 5.

Selama proses ini, suhu penuangan dan waktu penuangan dicatat sebagai parameter utama.



Gambar 5. Penuangan Logam Cair

5. Pendinginan dan Pengeluaran Hasil Cor

Cetakan didiamkan hingga logam membeku secara sempurna. Setelah pendinginan selesai, hasil cor dikeluarkan dari cetakan pasir gambar 6. Langkah ini penting untuk menjaga konsistensi kondisi pembekuan antar variasi suhu.



Gambar 6. Pendinginan dan Pengeluaran Hasil Coran

6. Pembersihan dan Pemotongan Spesimen

Hasil cor dibersihkan dari sisa pasir ceteakan, kemudian dipotong sesuai ukuran spesimen pengamatan mikrostruktur dan uji kekerasan gambar 7. Pemotongan dilakukan untuk menyiapkan sampel uji yang representatif.



Gambar 7. Pembersihan dan Pemotongan Spesimen

7. Pengujian Mikrostruktur & Kekerasan

Spesimen dipersiapkan melalui proses mounting, pengamplasan, pemolesan, dan etsa untuk observasi mikrostruktur menggunakan mikroskop metalografi. Uji kekerasan Vickers dilakukan pada beberapa titik untuk memperoleh nilai rata-rata yang representatif. Data yang dikumpulkan berupa foto struktur mikro dan angka kekerasan Vickers.

8. Pengumpulan Data dan Analisis Data

Data hasil pengujian berupa suhu penuangan, waktu penuangan, berat logam, berat produk coran, nilai kekerasan, dan mikrostruktur dikumpulkan dan dianalisis untuk mengetahui hubungan antara suhu penuangan dengan kualitas hasil cor aluminium ingot AC4A.

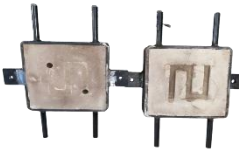
2.3 Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

Tabel 1. Bahan

No.	Bahan	Gambar	Spesifikasi
1	Aluminium Ingot AC4A		Paduan aluminium dengan unsur utama Si dan Mg, memiliki kekuatan sedang dan ketahanan korosi tinggi.
2	Pasir Silika		Ukuran butir halus, tahan suhu tinggi, cocok untuk cetakan logam non-ferro.
3	Resin CO ₂		Resin furan cair sebagai pengikat pasir yang mengeras saat terkena gas CO ₂ .
5	Bahan Baku Gas LPG		Campuran propana dan butana sebagai sumber panas untuk peleburan logam.
6	Bahan Bakar Gas CO ₂		Gas pengeras cetakan, bereaksi dengan resin untuk membentuk cetakan kokoh.

Tabel 2. Alat

No.	Alat	Gambar	Fungsi
1	Dapur Peleburan		Melebur aluminium hingga mencapai suhu penuangan yang diinginkan.
2	Cetakan Pasir		Membentuk produk coran sesuai geometri yang diinginkan.
3	Thermogun		Mengukur suhu logam cair secara cepat dan non-kontak.
4	Timbangan Digital		Menimbang berat logam sebelum dan sesudah proses pengecoran untuk menghitung yield material.
5	Stopwatch		Mengukur durasi waktu penuangan dan pendinginan logam cair.
6	Precision Cutting Struers Secotom 60		Memotong spesimen uji dengan presisi tinggi tanpa merusak struktur.
7	Mesin Grinding Polishing Struers Tegramin 25		Menanamkan spesimen dalam resin untuk mempermudah penanganan saat preparasi.
8	Mesin Mounting Struers Citopress 5		Mengamplas dan memoles permukaan spesimen untuk analisis mikrostruktur.
9	Olympus BX53M		Mengamati struktur mikro pada spesimen hasil pengecoran.
10	Shimadzu HMTV-G 21ST		Mengukur kekerasan permukaan spesimen dengan metode Vickers.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengolahan Data

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh suhu penuangan terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur aluminium ingot AC4A dengan dua variasi suhu: 650°C dan 664°C. Waktu penuangan dijaga konstan 4 detik untuk menghindari cacat seperti *misrun* dan *cold shut*.

Tabel 1 Data Suhu dan Waktu Penuangan

No	Suhu Penuangan (°C)	Waktu Penuangan (detik)
1	650	4
2	664	4

Waktu penuangan dihitung dengan rumus: $t = \frac{V}{Q}$ dengan $Q = A_s \sqrt{2gh}$

Keterangan:

t = waktu penuangan (detik), V = volume logam cair (m³), Q = debit aliran logam cair (m³/s), A_s = luas penampang sprue (m²), g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²), h = tinggi kolom logam cair dalam sprue (m)

Berdasarkan desain sistem tuang yang digunakan, diketahui bahwa:

- Diameter sprue d = 15 mm = 0,015 m
- Tinggi sprue h = 50 mm = 0,050 m
- Berat logam cair pada masing-masing percobaan:
 - 1) Suhu 650°C = 1,271 kg
 - 2) Suhu 664°C = 1,200 kg
- Massa jenis aluminium cair ρ 2400 kg/m³

2. Luas penampang sprue dihitung sebagai berikut: $A_s = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (0,015)^2}{4} = 1,767 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

3. Volume logam cair:

a. Suhu 650°C: $V = \frac{1,271}{2400} = 5,296 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

b. Suhu 664°C: $V = \frac{1,200}{2400} = 5,000 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

4. Kecepatan aliran logam cair: $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,05} = 0,99 \text{ m/s}$

5. Debit aliran: $Q = A_s \cdot v = 1,767 \times 10^{-4} \cdot 0,99 = 1,749 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

6. Menghitung Waktu Penuangan Teoritis:

Suhu 650: $t = \frac{5,296 \times 10^{-4}}{1,749 \times 10^{-4}} = 3,03 \text{ detik}$

Suhu 664: $t = \frac{5,000 \times 10^{-4}}{1,749 \times 10^{-4}} = 2,86 \text{ detik}$

Hasil ini mendekati waktu aktual 4 detik, menunjukkan keakuratan kontrol proses.

Tabel 2 Data Kekerasan (Vickers Hardness)

No.	Suhu Penuangan °C	Waktu Pendinginan (menit)	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Nilai Rata-rata (HV)
-----	-------------------	---------------------------	---------	---------	---------	----------------------

1	650	26	51,2	58,8	54,2	54,73
2	664	30	57,4	66,5	55,5	59,8

Kekerasan Vickers (HV) dihitung berdasarkan rumus:

$$HV = \frac{1.854 \times F}{d^2}$$

Di mana:

F = Gaya pembebanan (kgf), d = Rata-rata diagonal lekukan (mm), HV = Nilai kekerasan Vickers, Konstanta 1,854 merupakan hasil perhitungan berdasarkan geometri indenter berbentuk piramida.

Namun dalam penelitian ini nilai HV sudah diperoleh, sehingga analisis dilakukan secara komparatif.

2. Rumus Nilai Rata-rata Kekerasan Vickers

$$\text{Nilai Rata-rata (HV)} = \frac{HV1+HV2+HV3}{3}$$

a. Contoh Perhitungan 1 (650°C): HV rata-rata = $\frac{51,2 + 58,8 + 54,2}{3} = \frac{164,2}{3} = 54,73 \text{ HV}$

b. Contoh Perhitungan 2 (664°C): HV rata-rata = $\frac{57,4 + 66,5 + 55,5}{3} = \frac{179,4}{3} = 59,8 \text{ HV}$

Hasil ini menunjukkan adanya peningkatan kekerasan pada suhu penuangan yang lebih tinggi, yang berkaitan erat dengan perubahan struktur mikro akibat perbedaan laju pendinginan.

3. Perhitungan Kenaikan Kekerasan

$$(\%) = \left(\frac{HV_{664} - HV_{650}}{HV_{650}} \right) \times 100 = \left(\frac{59,8 - 54,73}{54,73} \right) \times 100 = \left(\frac{5,07}{54,73} \right) \times 100 = 9,26\%$$

Peningkatan kekerasan ini disebabkan oleh fluiditas logam yang lebih baik pada suhu lebih tinggi, sehingga menghasilkan struktur mikro yang lebih padat dan homogen.

Tabel 3 Data Yield Material

No.	Suhu Penuangan °C	Berat Logam Cair (kg)	Berat Produk Coran (gram)	Yield (%)
1	650	1,271	135	10,62
2	664	1,200	131	10,92

Yield dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Yield (\%)} = \left(\frac{\text{Berat Produk Coran (gram)}}{\text{Berat Logam Cair (kg)} \times 1000} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

- Berat logam cair dikonversi ke gram (1 kg = 1000 gram)
- Yield dihitung dalam persen (Vickers Hardness)

Perhitungan:

a. Contoh Percobaan 1 (650°C): Yield = $\left(\frac{135}{1,271 \times 1000} \right) \times 100 = \left(\frac{135}{1271} \right) \times 100 = 10,62\%$

b. Contoh Percobaan 2 (664°C): Yield = $\left(\frac{131}{1,200 \times 1000} \right) \times 100 = \left(\frac{131}{1200} \right) \times 100 = 10,92\%$

3.2 Analisis Hasil

3.2.1 Analisis Kekerasan

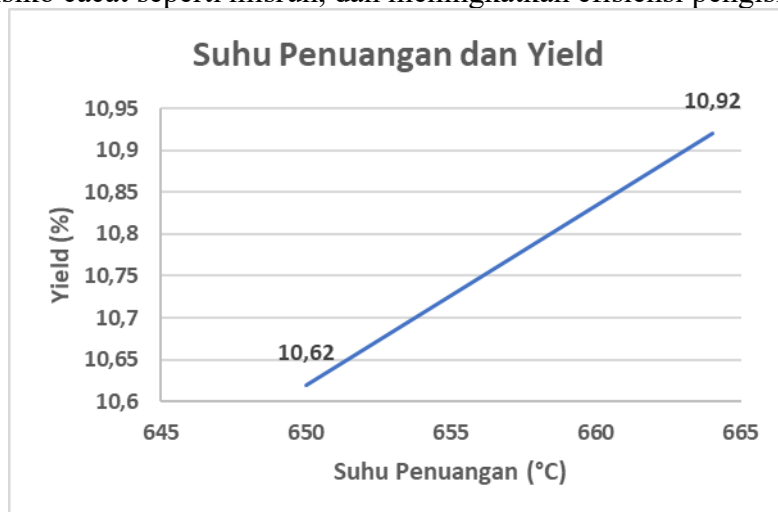
Peningkatan suhu penuangan dari 650°C menjadi 664°C menyebabkan kenaikan kekerasan Vickers dari 54,73 HV menjadi 59,8 HV (naik 9,26%). Data tersebut diambil dari Tabel 2 dan divisualisasikan dalam Gambar 1. Grafik menunjukkan tren linier positif antara suhu penuangan dan kekerasan, yang menandakan bahwa suhu merupakan parameter dominan dalam pengendalian sifat mekanik. Semakin tinggi suhu, fluiditas logam meningkat sehingga pengisian cetakan lebih sempurna dan struktur mikro menjadi lebih padat serta halus.



Gambar 1. Grafik Suhu Penuangan dan Kekerasan Vickers

3.2.2 Analisis Yield Material

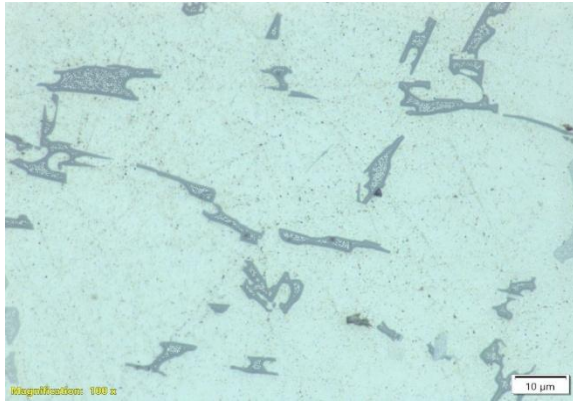
Yield material yang ditampilkan pada Gambar 2 merupakan hasil olahan data dari Tabel 3. Nilai yield meningkat dari 10,62% menjadi 10,92% ketika suhu penuangan dinaikkan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu memperbaiki aliran logam cair, menurunkan risiko cacat seperti misrun, dan meningkatkan efisiensi pengisian cetakan.



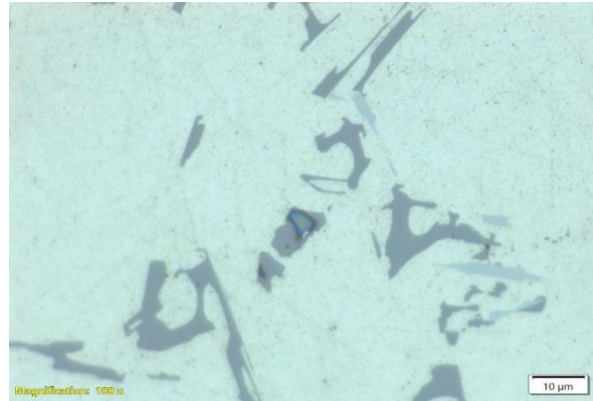
Gambar 2. Grafik Suhu Penuangan dan Yield

3.2.3 Analisis Mikrostruktur

Pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan mikroskop optik 100x setelah preparasi metalografi. Tujuan analisis ini adalah mengidentifikasi bentuk dan distribusi fasa pada paduan aluminium AC4A akibat perbedaan suhu penuangan.



Gambar 3. Mikrostruktur pada Suhu 650°



Gambar 4. Mikrostruktur pada Suhu 664°C

Pada suhu 650°C, struktur mikro menunjukkan dendrit α -Al yang kasar dan acak, dengan fasa eutektik Si tersebar tidak merata. Terlihat porositas mikro dan ketidakaturan butiran, mengindikasikan aliran logam yang tidak optimal dan pendinginan yang cepat. Sedangkan pada suhu 664°C, struktur mikro lebih halus dan rapat, dengan fasa eutektik Si terdistribusi merata. Ukuran butiran lebih kecil dan teratur, menunjukkan fluiditas logam yang baik dan proses pembekuan yang lebih terkendali.

Perbandingan Mikrostruktur Suhu 650°C dan 664°C

Peningkatan suhu penuangan dari 650°C ke 664°C memberikan struktur mikro yang lebih halus, seragam, dan bebas cacat, yang berpotensi meningkatkan sifat mekanik material.

Tabel 4 Perbandingan Karakteristik Mikrostruktur

Parameter	650°C	664°C
Bentuk α -Al	Dendrit kasar, acak	Dendrit halus, rapat
Distribusi Si eutektik	Tidak merata, bentuk panjang tajam	Merata, menyebar halus
Ukuran butiran	Besar, tidak seragam	Kecil, lebih seragam
Porositas	Ada porositas mikro	Hampir tidak ada porositas

Kualitas pengisian cetakan	Kurang sempurna	Sempurna, mengisi cetakan dengan baik
----------------------------	-----------------	---------------------------------------

3.3. Pembahasan

Variasi suhu penuangan terbukti memengaruhi kualitas pengecoran paduan aluminium AC4A. Penuangan pada suhu 664°C menghasilkan kekerasan Vickers yang lebih tinggi (59,8 HV) dibandingkan 650°C (54,73 HV), dengan peningkatan sebesar 9,26%. Hal ini disebabkan oleh fluiditas logam yang lebih baik pada suhu tinggi, yang memungkinkan pengisian cetakan lebih sempurna dan menghasilkan struktur mikro yang halus dan padat. Efisiensi material juga meningkat seiring naiknya suhu penuangan, ditunjukkan oleh yield yang naik dari 10,62% menjadi 10,92%. Penurunan viskositas logam pada suhu tinggi memperlancar aliran dan mengurangi cacat seperti misrun, sehingga logam cair lebih banyak membentuk produk cor. Pengamatan mikrostruktur mendukung temuan tersebut. Pada 664°C, terbentuk dendrit α -Al yang halus, distribusi eutektik Si yang merata, dan porositas minimal menunjukkan proses pembekuan yang lebih terkendali. Suhu 664°C dapat direkomendasikan sebagai parameter optimal karena memberikan kombinasi terbaik antara sifat mekanik dan efisiensi produksi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu penuangan dari 650°C menjadi 664°C memberikan pengaruh positif terhadap kualitas pengecoran aluminium ingot AC4A. Kekerasan Vickers meningkat sebesar 9,26%, dan yield naik dari 10,62% menjadi 10,92%. Hal ini disebabkan oleh struktur mikro yang lebih halus dan porositas yang lebih rendah pada suhu tinggi. Suhu 664°C direkomendasikan sebagai parameter optimal untuk meningkatkan mutu dan efisiensi produksi. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan variasi suhu lebih luas, desain saluran tuang berbeda, serta penambahan uji sifat mekanik lainnya seperti uji tarik atau impak.

5. REFERENSI

- [1] I. N. Jujur, "Peningkatan kualitas produk cor aluminium paduan untuk komponen otomotif," in *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) V*, Jakarta, Indonesia: Universitas Indonesia, 2006, pp. 21–23.
- [2] P. N. D. Massa, E. P. A. Kononis, R. A. Nathanael, A. Iwanto, L. P. Purba, and L. Nurhayati, "Penerapan pengecoran logam aluminium menggunakan cetakan alternatif campuran silika dan bentonite," *Industrial & System Engineering Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 242–252, 2024.
- [3] W. Suprpto, *Teknologi Pengecoran Logam*, Malang: Universitas Brawijaya Press, 2017.
- [4] A. Suwandi, A. Hermanto, D. L. Zariatini, B. Sulaksono, and E. Prayogi, "Proses manufaktur dan estimasi biaya produksi untuk produk kelos," *Jurnal Teknologi*, vol. 11, no. 2, pp. 127–138, 2019.
- [5] B. Tjiroso, K. Umar, S. Rais, S. Rajak, and Zulfikram, "Pengaruh suhu penuangan terhadap kualitas dan cacat coran aluminium bekas kaleng minuman dengan metode Lost Foam Casting," *Journal of Science and Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 113–117, 2024.
- [6] W. T. Utomo and H. Pranoto, "Mengoptimalkan efisiensi tungku peleburan aluminium: tinjauan jenis bahan bakar dan teknologi pembakaran," *TURBO: Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, vol. 13, no. 1, pp. 56–63, 2024.