

Analisis dan Optimalisasi Desain Produk Aluminium A356 Berdasarkan Standar JIS H 5202 Menggunakan Altair Inspire Cast

Joni Arif^{*1}, Munzir Qadri²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Serang

^{*}Penulis Korespondensi, email: joniarif10105@unpam.ac.id

Received: 26/11/2025

Revised: 09/12/2025

Accepted: 13/12/2025

Abstract. This study analyzed and optimized the design of the A356 aluminum alloy casting according to the JIS H 5202 standard using Altair Inspire Cast software. The research background is based on the industry's need for lightweight components with high mechanical integrity and a high risk of defects such as porosity, shrinkage, and incompleteness of filling in the gravity casting process. This study presents a novelty by applying a simulation approach based on Altair Inspire Cast to compare two configurations of a design runner without fillet and a design runner using fillet in an A356 aluminum alloy casting according to the JIS H 5202 standard. The novelty lies in the integration of the quality evaluation of cast results with mechanical validation based on JIS standards, thus providing a comprehensive analysis in terms of flow, solidification, and mechanical performance. Where this research was carried out, it emerged that conventional methods have not been able to accurately predict flow patterns and solidification, so a simulation-based approach is needed. The research methods used include importing 3D models, making mesh, and determining limit conditions with a casting temperature of 720°C and a mold temperature of 25°C. Two channel system designs, namely the design runner without fillet and the runner design using fillet, were simulated to determine their effect on the quality of cast results. The results showed that the fillet design runner was able to produce a more stable flow of molten metals and reduced air traps and shrinkage by up to 17%. Validation of the JIS H 5202 standard shows improvement and surface quality. Overall, simulations using Altair Inspire Cast software proved to be effective in improving efficiency and minimizing defects in the A356 aluminum casting process.

Keywords: Aluminium A356, JIS H 5202, Altair Inspire Cast, Gravity Casting, Optimization

Abstrak. Penelitian ini menganalisis dan mengoptimalkan desain pengecoran paduan aluminium A356 sesuai standar JIS H 5202 menggunakan perangkat lunak Altair Inspire Cast. Latar belakang penelitian didasari kebutuhan industri akan komponen ringan dengan integritas mekanik tinggi serta tingginya risiko cacat seperti porositas, penyusutan, dan ketidaklengkapan pengisian pada proses pengecoran *gravity*. Penelitian ini menghadirkan kebaruan dengan menerapkan pendekatan simulasi berbasis Altair Inspire Cast untuk membandingkan dua konfigurasi *design runner* tanpa *fillet* dan *design runner* pakai *fillet* pada pengecoran paduan aluminium A356 sesuai standar JIS H 5202. Kebaruan terletak pada integrasi evaluasi kualitas hasil cor dengan validasi mekanik berbasis standar JIS, sehingga memberikan analisis komprehensif dari sisi aliran, solidifikasi, hingga performa mekanik. Dimana penelitian ini dilakukan muncul karena metode konvensional belum mampu memprediksi pola aliran dan solidifikasi secara akurat sehingga diperlukan pendekatan berbasis simulasi. Metode penelitian yang digunakan meliputi impor model 3D, pembuatan *mesh*, dan penetapan kondisi batas dengan temperatur tuang 720°C serta temperatur cetakan 25°C. Dua desain sistem saluran, yaitu *design runner* tanpa *fillet* dan *design runner* pakai *fillet*, disimulasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas hasil cor. Hasil menunjukkan bahwa *design runner* pakai *fillet* mampu menghasilkan aliran logam cair yang lebih stabil dan mengurangi jebakan udara serta penyusutan hingga 17%. Validasi terhadap standar JIS H 5202 menunjukkan peningkatan dan kualitas permukaan. Secara keseluruhan, simulasi menggunakan *software* Altair Inspire Cast terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi dan meminimalkan cacat pada proses pengecoran aluminium A356.

Kata Kunci: Aluminium A356, JIS H 5202, Altair Inspire Cast, Pengecoran *gravity*, Optimasi

I. PENDAHULUAN

Aluminium A356 merupakan paduan Al-Si-Mg yang banyak digunakan dalam industri manufaktur, khususnya pada sektor otomotif, dirgantara, dan komponen permesinan ringan. Material ini diminati karena menawarkan kombinasi sifat unggul berupa kekuatan spesifik yang tinggi, ketahanan korosi yang baik, serta kemampuan cor yang optimal. Karakteristik tersebut menjadikan A356 sebagai pilihan utama untuk komponen yang membutuhkan keseimbangan antara kekuatan, keuletan, dan kualitas hasil pengecoran [1]. Sehingga hubungan antara performa aliran, distribusi solidifikasi, dan kekuatan material hasil cor belum terverifikasi secara komprehensif. Kekosongan inilah yang menjadi dasar perlunya penelitian ini untuk mengisi celah sesuai dengan standar *JIS H5202*. Serta penggunaan kombinasi standar *JIS H5202* dan simulasi menggunakan *software* lunak Altair Inspire Cast dalam proses pengecoran menyebabkan membantu menunjukkan keseluruhan proses pada pengecoran. Dengan bantuan simulasi, komponen yang dihasilkan akan semakin berkualitas karena perubahan yang terjadi pada benda cor ditampilkan dengan jelas (cacat, profil *temperature*, kecepatan dan sebagainya) [2]. Tantangan utama dalam proses pengecoran aluminium adalah munculnya cacat seperti porositas dan *shrinkage cavity* yang dapat menurunkan kualitas hasil produk [3]. Proses pengecoran aluminium, khususnya paduan A356, memerlukan kontrol termal dan desain sistem pengaliran (*gating system*) yang tepat. Faktor seperti kecepatan pengisian, posisi *riser*, dan bentuk *runner* secara langsung memengaruhi distribusi suhu, arah aliran logam cair, serta kecenderungan terbentuknya cacat seperti *porositas*, *shrinkage cavity*, dan *incomplete filling* [4].

Altair Inspire Cast merupakan perangkat lunak berbasis *Finite Element Method* (FEM) yang dapat mensimulasikan perilaku aliran logam cair dan prediksi cacat pengecoran secara digital [5]. Simulasi numerik seperti ini menjadi bagian dari pendekatan *digital manufacturing* dan *green casting*, yang berupaya mengurangi limbah serta meningkatkan efisiensi energi [6]. Penggunaan

simulasi tidak hanya mengurangi percobaan fisik dan limbah produksi, tetapi juga mendukung penerapan *green manufacturing* karena menghemat energi dan material [7].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan variasi sistem saluran dapat memengaruhi homogenitas pengisian logam cair dan pendinginan [8], serta perubahan kecil pada *geometri runner* mampu mengubah pola solidifikasi dan meminimalkan porositas pada paduan aluminium. Desain sistem saluran dengan transisi halus (*fillet*) dapat meningkatkan efisiensi pengisian dan mengurangi turbulensi aliran hingga 20% [9]. Namun, belum banyak penelitian yang secara spesifik membandingkan pengaruh desain *runner* pada aluminium A356 dengan acuan *JIS H 5202* menggunakan perangkat lunak Altair Inspire Cast.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan desain sistem pengecoran aluminium A356 dengan variasi *geometri runner* untuk mendapatkan hasil cor yang sesuai standar *JIS H 5202*, dengan pendekatan simulasi numerik yang efisien dan ramah lingkungan.

II. METODOLOGI

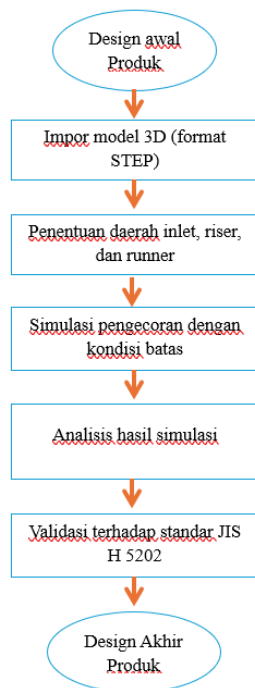
Metodologi penelitian menjelaskan secara sistematis langkah-langkah yang ditempuh dalam melakukan analisis dan optimasi sistem pengecoran aluminium A356. Tujuan utama dari bagian ini adalah untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai rancangan eksperimen dan simulasi, prosedur teknis, serta parameter yang digunakan dalam penelitian, sehingga hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan dapat direplikasi oleh peneliti lain.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-simulatif, di mana data diperoleh melalui proses pemodelan numerik dan analisis hasil simulasi termal fluida dengan perangkat lunak Altair Inspire Cast 2025.1. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan prediksi yang lebih akurat mengenai perilaku logam cair selama proses pengecoran. Melalui simulasi termal dan aliran fluida, metode tersebut dapat menggambarkan distribusi temperatur pada setiap tahapan pengisian cetakan, sekaligus memetakan laju aliran logam cair

secara detail. Informasi ini penting untuk memahami dinamika pembekuan, area yang berpotensi mengalami pendinginan tidak merata, serta pola aliran yang dapat memicu terperangkapnya gas. Selain itu, pendekatan ini juga memungkinkan identifikasi dini terhadap kemungkinan terbentuknya cacat, khususnya *porosity* dan *shrinkage cavity*, yang umumnya muncul akibat gradien temperatur yang ekstrem atau suplai logam yang tidak mencukupi selama solidifikasi. Dengan demikian, pendekatan ini mendukung optimasi desain cetakan dan parameter proses secara keseluruhan. Secara umum, metodologi penelitian ini mencakup beberapa tahap utama, yaitu:

A. Tahapan penelitian

Tahapan penelitian ditunjukkan pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian Proses Analisis dan Optimasi Aluminium A356.

(Sumber: Data pribadi,2023)

1. Desain awal produk

Tahap pertama adalah pembuatan desain awal produk yang akan dianalisis. Model 3D dibuat menggunakan perangkat SolidWorks. Desain ini mencakup dimensi produk, bentuk geometris, serta posisi sistem saluran (*gating system*). Tujuan tahap

ini adalah mendapatkan bentuk dasar komponen yang siap untuk dianalisis secara virtual dalam simulasi pengecoran.

2. Impor model 3D (format STEP)

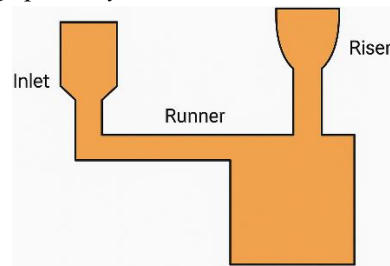
Model 3D yang telah dibuat disimpan dalam format .STEP agar kompatibel dengan Altair Inspire Cast. Setelah diimpor, dilakukan pengecekan integritas model. Tahap ini memastikan bahwa model siap untuk dilakukan simulasi numerik tanpa kesalahan geometris.

3. Penentuan daerah *Inlet*, *riser*, dan *runner* (lihat **gambar 2**).

Langkah selanjutnya menentukan elemen penting dalam sistem saluran pengecoran:

- Inlet*: Titik masuk logam cair ke sistem saluran.
- Runner*: Jalur utama aliran logam cair menuju rongga cetakan.
- Riser*: Penampung logam tambahan untuk mengimbangi penyusutan volume saat pendinginan.

Konfigurasi ini sangat menentukan arah aliran, distribusi panas, dan kemungkinan cacat seperti *shrinkage porosity*.



Gambar 2. Ilustrasi Penempatan Posisi dari *Inlet*, *Runner* dan *Riser*.

(Sumber: Data Pribadi,2023)

4. Simulasi pengecoran dengan kondisi batas

Pada tahap ini dilakukan simulasi numerik menggunakan Altair Inspire Cast dengan menetapkan kondisi batas (*boundary conditions*), antara lain:

- Temperatur tuang: 720°C
- Temperatur cetakan pasir: 25°C
- Konduktivitas termal: 151 W/mK
- Kapasitas panas: 960 J/kgK

Simulasi dilakukan untuk memprediksi perilaku logam cair selama pengisian rongga cetakan, waktu solidifikasi, dan lokasi potensial terjadinya cacat.

5. Analisis hasil simulasi

Hasil simulasi berupa visualisasi distribusi temperatur, kecepatan aliran, serta prediksi cacat seperti *porositas* dan *shrinkage cavity*.

Tahap ini mencakup analisis:

- a) Efisiensi pengisian cetakan
- b) Distribusi suhu dan pendinginan
- c) Persentase porositas
- d) Efisiensi *yield* (% hasil produk jadi terhadap logam cair yang digunakan)

6. Validasi terhadap standar JIS H 5202

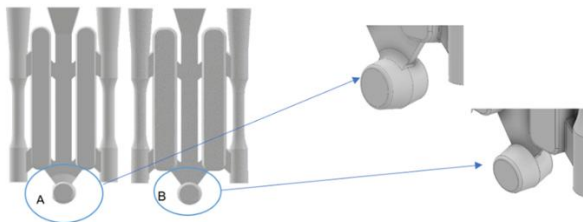
Langkah terakhir adalah validasi hasil simulasi dengan standar JIS H 5202, yang meliputi:

- a) Kekuatan tarik minimum (≥ 240 MPa)
- b) Densitas dan homogenitas struktur
- c) Persentase porositas maksimum yang diizinkan

Jika hasil simulasi memenuhi kriteria standar ini, maka desain dianggap teroptimasi dan layak diterapkan untuk produksi aktual.

B. Kondisi batas simulasi

Kondisi batas ditetapkan dengan temperatur tuang 720°C dan cetakan pasir 25°C . Konduktivitas termal aluminium A356 sebesar 151 W/mK dan kapasitas panas 960 J/kgK [10].



Gambar 3. Design A dan Design B.

(sumber: Data Altair Inspire Cast, 2025)

Dua variasi sistem saluran digunakan:

- a. Variasi A: *Design runner* tanpa *fillet*
- b. Variasi B: *Design runner* pakai *fillet*

C. Model simulasi

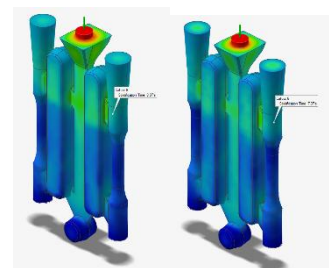
Simulasi dilakukan menggunakan Altair Inspire Cast 2025.1. Parameter simulasi diatur dengan kecepatan aliran 0.3 m/s , dan waktu pengisian 2.8 detik. Dimana pemilihan kecepatan aliran $0,3 \text{ m/s}$ mengacu pada rekomendasi literatur yang menekankan bahwa pengecoran aluminium membutuhkan kecepatan aliran untuk mencegah turbulensi dan *entrainment* udara [3]. Menjelaskan bahwa Kecepatan logam dalam sistem gerbang

harus dijaga serendah mungkin untuk menghindari turbulensi dan pembentukan bifilm oksida. Selain itu, peningkatan turbulensi pada A356 sangat berhubungan dengan kenaikan porositas. Berdasarkan aturan empiris desain sistem saluran, kecepatan aliran aluminium cair umumnya dijaga pada rentang $0,2 - 0,5 \text{ m/s}$ untuk menjaga aliran tetap laminar dan stabil [11].

Waktu pengisian $2,8$ detik didasarkan pada prinsip empiris bahwa pengisian harus selesai sebelum terjadi penurunan fluiditas akibat pembekuan awal. Sedangkan waktu pengisian harus tetap cukup singkat sehingga *front* yang maju tidak membeku sebelum waktunya. Sehingga hasil *trial* simulasi awal pada penelitian ini juga menunjukkan bahwa waktu $2 - 3$ detik menghasilkan distribusi suhu paling merata dan meminimalkan risiko *misrun* [12]. Oleh karena itu, nilai $0,3 \text{ m/s}$ dan $2,8$ detik dipilih sebagai kombinasi parameter yang memenuhi standar literatur, sesuai aturan empiris industri pengecoran aluminium, dan terbukti stabil dalam *trial* simulasi. Analisis hasil mencakup distribusi suhu, kecepatan aliran, dan prediksi cacat porositas.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa geometri *runner* sangat berpengaruh terhadap hasil akhir pengecoran. Variasi B dengan *Design runner* pakai *fillet* menghasilkan aliran logam cair yang lebih stabil dan merata dibandingkan *Design runner* tanpa *fillet*.



Gambar 4. Distribusi Suhu Selama Pengisian Logam Cair

(Sumber: Hasil simulasi Altair Inspire Cast, 2025)

Gambar 4 memperlihatkan peta temperatur (*thermal field*) pada suatu tata letak pengecoran bersegmen (*riser vertikal*). Terutama yang tampak:

Titik tertinggi (zona merah/kuning) berada di bagian atas salah satu kolom/*riser*: ini adalah sumber logam cair yang masih sangat panas (temperatur tuang, 720 °C). Zona hijau-biru menyebar ke tubuh cetakan dan *runner*: menunjukkan pendinginan dan penurunan temperatur menuju suhu cetakan pasir (25 °C). Gradien suhu yang halus hingga tajam pada beberapa daerah: menandakan laju pendinginan yang berbeda-beda (area tebal akan mempertahankan panas lebih lama). Temperatur tuang 720 °C; temperatur cetakan pasir 25 °C; properti termal A356: konduktivitas 151 W/m·K, kapasitas panas 960 J/kg·K.

Hasil simulasi termal menyeluruh menunjukkan adanya *hot-spot* pada *riser* utama (T = 720 °C) sementara bagian tubuh komponen menunjukkan gradien temperatur yang signifikan hingga mencapai suhu cetakan (25 °C). Distribusi suhu mengindikasikan pendinginan dari permukaan ke inti, sehingga inti bagian yang volumetrik besar berpotensi menjadi *last-to-solidify* dan berisiko mengalami *shrinkage porosity* jika tidak mendapat suplai metal cair yang memadai. Berdasarkan nilai difusivitas termal $\alpha = 5.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, skala waktu pendinginan untuk karakter panjang 50 mm berada pada kisaran puluhan detik, konsisten dengan waktu solidifikasi yang diamati pada simulasi. Oleh karena itu, direkomendasikan penyesuaian ukuran dan posisi *riser*, penerapan chill lokal, serta optimasi gating untuk meminimalkan risiko cacat dan memastikan *feeding* yang memadai.

Distribusi temperatur pada *Design runner* pakai *fillet* menunjukkan penurunan gradien suhu dari 720°C menjadi 640°C secara bertahap, yang menandakan pendinginan merata. Hal ini mengurangi pembentukan rongga udara dan porositas sebesar 17% dibandingkan *Design runner fillet* [13][14]. Tabel 1 menunjukkan hasil perbandingan nilai *shrinkage porosity* dan efisiensi *yield* antara kedua variasi desain.

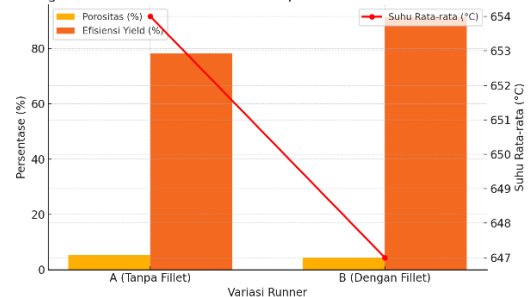
Tabel 1. Perbandingan hasil simulasi pengecoran aluminium A356

Variasi Runner	Porositas (%)	Efisiensi Yield (%)	Suhu Rata-rata (°C)
A (<i>Design runner</i> tanpa <i>fillet</i>)	5.3	78.2	654
B (<i>Design runner</i> pakai <i>fillet</i>)	4.4	91.4	647

A (<i>Design runner</i> tanpa <i>fillet</i>)	5.3	78.2	654
B (<i>Design runner</i> pakai <i>fillet</i>)	4.4	91.4	647

Analisa tabel 1 menunjukkan bahwa variasi B (*runner berfillet*) mampu memenuhi standar kualitas JIS H 5202 untuk aluminium casting A356, di mana batas maksimum cacat internal umumnya <5%. Selain itu, nilai suhu rata-rata 647°C masih berada dalam rentang optimal untuk fluidity dan solidifikasi terkendali [15]. Hasil ini mendukung literatur terkini seperti Hu et al. (2021) [16] dan Hassan et al. (2021) [17] yang menyatakan bahwa pengendalian geometri sistem saluran merupakan faktor kunci dalam peningkatan casting *yield* dan *structural integrity*.

Perbandingan Porositas dan Efisiensi Yield pada Variasi Runner Aluminium A356



Bagan 1. Perbandingan porositas dan efisiensi *yield* pada variasi *runner* aluminium A356.
(Sumber: Data analisa pribadi, 2023)

Sedangkan hasil validasi menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) dari sampel variasi B mencapai 245 MPa, sesuai dengan batas bawah standar JIS H 5202 ($\geq 240 \text{ MPa}$) [15]. Dengan demikian, optimasi desain *runner* berpengaruh langsung terhadap kualitas dan kepatuhan terhadap standar industri.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan Altair Inspire Cast efektif dalam menganalisis dan mengoptimalkan desain pengecoran aluminium A356 berdasarkan JIS H 5202. Variasi desain *runner* dengan tambahan *fillet* menghasilkan pola pengisian logam cair yang lebih homogen,

menurunkan porositas hingga 17%, serta meningkatkan efisiensi *yield* menjadi 91,4%.

Namun, penelitian ini masih terbatas pada optimasi geometri *runner* dan belum mengevaluasi faktor lain seperti desain gating, kondisi termal cetakan, maupun variasi kecepatan aliran secara komprehensif. Ruang lingkup ini membuka peluang penelitian lanjutan untuk menghasilkan analisis sistem pengecoran yang lebih menyeluruh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan terima kasih kepada Universitas Pamulang Kampus Serang beserta seluruh dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, fasilitas laboratorium, serta dukungan akademik selama proses penelitian ini berlangsung. Apresiasi juga diberikan kepada rekan-rekan yang turut membantu dalam pelaksanaan simulasi dan analisis data. Peneliti berharap hasil penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan proses pengecoran aluminium, khususnya pada optimalisasi desain sistem saluran, serta menjadi rujukan bagi penelitian selanjutnya di bidang manufaktur material.

REFERENSI

- [1] F. H. S. A.M. Samuel, S.A. Alkahtani, Kh. Abuhasel, "Metallurgical Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science," vol. 25, no. 12, pp. 2549–2844, 1994.
- [2] Japanese Standards Association, "JIS H 5202," 2010.
- [3] J. Campbell, *Complete Casting Handbook*. 2015. doi: 10.1016/c2014-0-01548-1.
- [4] N. K. Kund and P. Dutta, "Numerical simulation of solidification of liquid aluminum alloy flowing on cooling slope," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 20, pp. s898–s905, 2010, doi: 10.1016/S1003-6326(10)60603-6.
- [5] S. Das, *Learn Casting and Solidification with Altair Inspire Cast*. 2019.
- [6] M. Papanikolaou and P. Saxena, "Sustainable casting processes through simulation-driven optimization," 2021, pp. 165–198. doi: 10.1016/B978-0-12-818115-7.00003-1.
- [7] M. Folta, "Green Innovations in Foundry Production Processes of Automobile Castings Green Innovations in Foundry Production Processes of Automobile Castings," no. January 2025, 2024, doi: 10.54740/ros.2024.050.
- [8] S. Sikorski and G. W. Dieckhues, "Systematic optimization of aluminum sand casting gating systems," 2012.
- [9] L. Zhao, L. Yang, and T. Zhou, "Influence of Different Pouring Temperature to Properties and Organization of A356 Aluminum Alloy under Specified Conditions," vol. 749, pp. 119–124, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.749.119.
- [10] J. Cox, D. D. Luong, V. C. Shunmugasamy, N. Gupta, O. M. S. Iii, and K. Cho, "Dynamic and Thermal Properties of Aluminum Alloy A356/Silicon Carbide Hollow Particle Syntactic Foams," pp. 530–548, 2014, doi: 10.3390/met4040530.
- [11] A. M. Samuel, E. Samuel, and V. Songmene, "A Review on Porosity Formation in Aluminum-Based Alloys," 2023.
- [12] T. Materials and I. Company, "The Materials Information Company".
- [13] Z. T. M. Gatzen, "CFD-based model for melt flow in laser beam welding of aluminium with coaxial magnetic field," vol. 5, pp. 317–326, 2010, doi: 10.1016/j.phpro.2010.08.058.
- [14] T. Sobottka, F. Kamhuber, and B. Heinzl, "Simulation-Based Multi-Criteria Optimization of Parallel Heat Treatment Furnaces at a Casting Manufacturer," pp. 1–21, 2020.
- [15] N. E. Elzayady, R. M. Rashad, A. Elenany, and A. Elhabak, "Mechanical and Microstructure Characterization of A356 (Al / SiC) MMC," vol. 877, pp. 135–144, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.875-877.135.
- [16] P. Fan, S. L. Cockcroft, D. M. Maijer, L. Yao, C. Reilly, and A. B. Phillion, "POROSITY PREDICTION IN A356 WHEEL CASTING," pp. 1–26.
- [17] A. K. Khan, M. A. A. & Sheikh, "A Comparative Study of Simulation Software for Modelling Metal Casting Processes," vol. 17, pp. 197–209, 2018.