

ANALISIS PERBANDINGAN KUALITAS PRODUK ANTARA SAND CASTING DAN DIE CASTING PADA INDUSTRI MANUFAKTUR

Ayu Melasari¹, Azizah Fitriani², Kharahmah³, Annas Tasya Dwi Putri Afifah Zahra⁴
Universitas Pelita Bangsa

Email: ayumelasari74@gmail.com¹, azizahf431@gmail.com², kharahmahdinda@gmail.com³,
annastasyafifahzahra@gmail.com⁴

Abstrak – Pengecoran logam merupakan salah satu metode produksi yang banyak dimanfaatkan dalam industri manufaktur untuk membuat berbagai jenis komponen dengan bentuk dan ukuran yang beragam. Dua metode pengecoran yang sering digunakan adalah sand casting dan die casting, yang masing-masing memiliki karakteristik berbeda dalam hal kualitas hasil, tingkat ketelitian, biaya produksi, serta efisiensi proses. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas produk yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan menelaah berbagai jurnal, buku, dan sumber ilmiah yang membahas proses serta karakteristik sand casting dan die casting. Hasil kajian menunjukkan bahwa metode die casting menghasilkan produk dengan ketepatan dimensi yang lebih baik, permukaan yang lebih halus, dan jumlah cacat yang lebih sedikit dibandingkan metode sand casting. Di sisi lain, sand casting memiliki keunggulan berupa biaya pembuatan cetakan yang lebih ekonomis, fleksibilitas dalam menghasilkan bentuk yang beragam, serta kemampuan untuk memproduksi komponen berukuran besar. Dengan demikian, pemilihan metode pengecoran harus mempertimbangkan kebutuhan kualitas produk, jumlah produksi, ukuran komponen, dan aspek biaya agar proses manufaktur dapat berjalan secara efektif dan efisien.

Kata Kunci: Sand Casting, Die Casting, Kualitas Produk, Industri Manufaktur, Pengecoran Logam.

Abstract – Metal casting is a production method widely used in the manufacturing industry to create various components in various shapes and sizes. Two frequently used casting methods are sand casting and die casting, each with distinct characteristics in terms of product quality, accuracy, production costs, and process efficiency. This study aims to compare the product quality produced by these two methods. The method used was a literature review, reviewing various journals, books, and scientific sources discussing the processes and characteristics of sand casting and die casting. The study results indicate that the die casting method produces products with better dimensional precision, smoother surfaces, and fewer defects than the sand casting method. Furthermore, sand casting offers advantages such as lower mold costs, reduced failure rates in producing diverse shapes, and the ability to produce large-sized components. Therefore, the selection of a casting method must consider product quality requirements, production quantities, component size, and cost aspects to ensure an effective and efficient manufacturing process.

Keywords: Sand Casting, Die Casting, Product Quality, Manufacturing Industry, Metal Casting.

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi dan perkembangan sektor manufaktur yang semakin cepat menuntut perusahaan untuk menghasilkan produk dengan mutu yang tinggi, biaya yang kompetitif, serta proses produksi yang lebih efektif dan efisien. Dalam menghadapi persaingan pasar yang semakin ketat, perusahaan dituntut untuk terus melakukan inovasi dan meningkatkan produktivitas agar mampu memenuhi kebutuhan konsumen. Salah satu faktor yang berperan penting dalam mencapai tujuan tersebut adalah pemilihan metode manufaktur yang sesuai dengan karakteristik produk yang akan dibuat.

Sand casting atau pengecoran pasir adalah metode pengecoran paling tua yang diketahui manusia, dengan sejarah lebih dari 5.000 tahun. Metode ini menggunakan cetakan dari pasir yang dicampur dengan bahan pengikat untuk membentuk rongga sesuai geometri produk yang diinginkan. Logam cair kemudian dituangkan ke dalam rongga tersebut dan dibiarkan mengeras. Setelah pembekuan sempurna, cetakan pasir dihancurkan untuk mengeluarkan produk cor (Kalpakjian & Schmid, 2014).

Die casting, di sisi lain, adalah metode pengecoran yang menggunakan tekanan tinggi untuk memaksa logam cair masuk ke dalam cetakan logam (die) yang presisi. Proses ini pertama kali dipatenkan pada tahun 1849 oleh Sturges untuk mesin cetak huruf, dan sejak itu berkembang pesat seiring kemajuan teknologi. Die casting mampu menghasilkan komponen dengan toleransi dimensi yang sangat ketat dan permukaan yang halus, menjadikannya pilihan utama dalam industri otomotif, elektronik, dan aerospace (Groover, 2016).

Dalam industri manufaktur modern, kualitas produk merupakan salah satu faktor utama yang menentukan keberhasilan perusahaan dalam memenuhi kebutuhan pelanggan dan mempertahankan daya saing di pasar. Kualitas produk yang baik tidak hanya ditunjukkan oleh ketepatan dimensi dan kualitas permukaan yang sesuai standar, tetapi juga oleh rendahnya tingkat cacat yang terjadi selama proses produksi. Selain itu, kualitas yang tinggi dapat membantu perusahaan mengurangi biaya perbaikan, pengerjaan ulang, maupun produk gagal, sehingga meningkatkan efisiensi operasional. Oleh sebab itu, diperlukan kajian yang membandingkan kualitas produk hasil proses sand casting dan die casting. Melalui analisis tersebut, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik, keunggulan, dan keterbatasan masing-masing metode, sehingga dapat menjadi referensi bagi perusahaan dalam menentukan metode pengecoran yang paling tepat sesuai dengan kebutuhan dan target produksinya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur sistematis (systematic literature review) dengan pendekatan kualitatif-kuantitatif. Data dikumpulkan dari jurnal ilmiah internasional bereputasi, buku teks teknik manufaktur, dan laporan industri yang diterbitkan dalam rentang tahun 2000–2024. Sumber data mencakup database Scopus, Web of Science, Google Scholar, dan ASM International.

Analisis dilakukan dengan membandingkan data kuantitatif (toleransi dimensi, kekasaran permukaan, sifat mekanik) dan data kualitatif (cacat produk, fleksibilitas proses, pertimbangan ekonomis) dari kedua metode pengecoran. Data yang terkumpul kemudian disintesis dan disajikan dalam bentuk tabel perbandingan serta diagram untuk memudahkan interpretasi.

Kriteria inklusi penelitian meliputi: (1) artikel yang membahas perbandingan langsung antara sand casting dan die casting, (2) data yang mencakup setidaknya dua parameter kualitas, (3) penelitian yang menggunakan logam non-ferrous atau ferrous yang umum digunakan industri. Kriteria eksklusi meliputi penelitian yang hanya bersifat deskriptif tanpa data kuantitatif dan penelitian yang menggunakan varian proses yang sangat spesifik.

TINJAUAN PUSTAKA

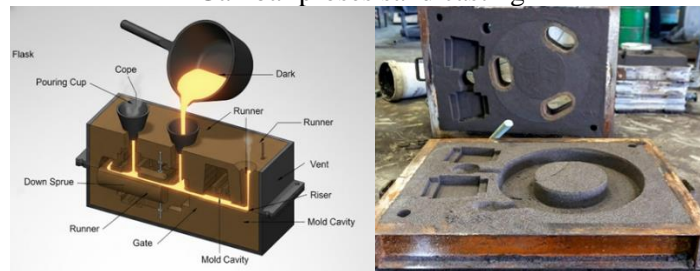
Sand Casting (Pengecoran Pasir)

Sand casting adalah proses pengecoran yang menggunakan cetakan sekali pakai (expendable mold) yang terbuat dari pasir. Pasir yang digunakan umumnya adalah pasir silika (SiO_2) yang dicampur dengan bahan pengikat seperti clay (tanah liat), resin furan, atau sodium silikat. Komponen utama dalam proses sand casting meliputi pola (pattern), kotak inti (core box), sistem saluran (gating system), dan cetakan pasir itu sendiri (Amstead et al., 2012).

Menurut Campbell (2015), proses sand casting melibatkan beberapa tahapan utama: pembuatan pola, pembuatan cetakan, persiapan logam cair, penuangan, pembekuan, pembongkaran cetakan, dan finishing. Keunggulan sand casting terletak pada fleksibilitasnya yang tinggi — hampir semua jenis logam dapat dicor dengan metode ini, termasuk besi tuang, baja, aluminium, tembaga, magnesium, dan nikel. Selain itu, sand casting dapat menghasilkan komponen dengan berat mulai dari beberapa gram hingga ratusan ton.

Namun, sand casting memiliki keterbatasan dalam hal toleransi dimensi dan kualitas permukaan. Cetakan pasir yang bersifat permeable dan memiliki kekasaran permukaan tertentu menyebabkan produk cor memiliki toleransi yang longgar dan permukaan yang kasar, sehingga seringkali memerlukan proses machining lanjutan (Heine et al., 2013).

Gambar proses sand casting



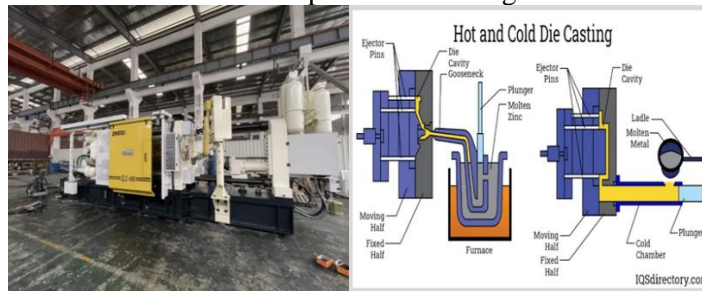
Die Casting (Pengecoran Bertekanan)

Die casting adalah proses pengecoran yang menggunakan cetakan logam permanen (permanent mold) dan tekanan tinggi untuk mengisi rongga cetakan dengan logam cair. Terdapat dua jenis utama die casting: hot chamber die casting dan cold chamber die casting. Hot chamber die casting digunakan untuk logam dengan titik lebur rendah seperti seng, timah, dan timbal, sedangkan cold chamber die casting digunakan untuk logam dengan titik lebur lebih tinggi seperti aluminium, magnesium, dan tembaga (Street, 2013).

Tekanan yang diterapkan dalam die casting berkisar antara 7 MPa hingga 700 MPa, tergantung pada jenis logam dan kompleksitas desain. Tekanan tinggi ini memastikan pengisian rongga cetakan yang cepat dan sempurna, menghasilkan produk dengan densitas tinggi, toleransi dimensi ketat, dan permukaan yang halus. Die casting sangat cocok untuk produksi massal karena satu cetakan logam dapat digunakan hingga ratusan ribu kali sebelum mengalami keausan signifikan (Brevick & Mobley, 2014).

Kelemahan utama die casting adalah biaya investasi awal yang sangat tinggi untuk cetakan logam, serta keterbatasan dalam jenis logam yang dapat diproses dan ukuran produk yang relatif terbatas. Selain itu, proses die casting rentan terhadap cacat porositas gas jika tidak dikendalikan dengan baik (Niu et al., 2000 dalam Zhang et al., 2019).

Gambar proses die casting



Parameter Kualitas Pengecoran

Kualitas produk cor ditentukan oleh beberapa parameter utama. Pertama, toleransi dimensi mengacu pada seberapa dekat dimensi aktual produk dengan dimensi yang diinginkan. Toleransi yang lebih ketat mengindikasikan proses yang lebih presisi dan konsisten. Kedua, kekasaran permukaan (surface roughness) diukur dengan parameter Ra (arithmetic mean roughness), yang menyatakan ketidakrataan permukaan secara numerik dalam satuan mikrometer (μm). Ketiga, cacat produk meliputi porositas, shrinkage, cold shut, misrun, dan hot tear yang dapat mengurangi integritas struktural produk (Kutz, 2015).

Keempat, sifat mekanik yang relevan antara lain kekuatan tarik (tensile strength), kekerasan (hardness), perpanjangan (elongation), dan ketahanan fatigue. Sifat-sifat ini sangat dipengaruhi oleh mikrostruktur produk cor, yang pada gilirannya bergantung pada laju pendinginan, komposisi logam, dan parameter proses pengecoran (ASM International, 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Toleransi Dimensi

Toleransi dimensi merupakan salah satu parameter kualitas paling kritis dalam produksi komponen presisi. Berdasarkan standar manufaktur internasional (ISO 8062), sand casting umumnya mencapai toleransi pada kelas CT8 hingga CT12, setara dengan deviasi $\pm 0,5$ mm hingga $\pm 1,0$ mm untuk komponen berukuran sedang. Sementara itu, die casting mampu mencapai toleransi kelas CT4 hingga CT7, setara dengan deviasi $\pm 0,05$ mm hingga $\pm 0,2$ mm (Groover, 2016).

Perbedaan ini disebabkan oleh sifat cetakan yang digunakan. Cetakan pasir memiliki kekuatan tekan yang lebih rendah sehingga dapat mengalami deformasi saat logam cair dituangkan, menyebabkan ketidakakuratan dimensi. Sebaliknya, cetakan logam pada die casting memiliki kekakuan dan presisi yang jauh lebih tinggi, memungkinkan reproduksi geometri yang sangat konsisten dari satu produk ke produk lainnya.

Tabel 1. Perbandingan Toleransi Dimensi Sand Casting vs Die Casting

Parameter	Sand Casting	Die Casting
Kelas Toleransi ISO	CT8 – CT12	CT4 – CT7
Deviasi Toleransi	$\pm 0,5 - 1,0$ mm	$\pm 0,05 - 0,2$ mm
Konsistensi Antar Produk	Rendah – Sedang	Tinggi
Shrinkage Allowance	1,5 – 2,5%	0,3 – 0,8%
Kebutuhan Machining Lanjutan	Sering diperlukan	Jarang diperlukan

Sumber: Groover (2016); Kalpakjian & Schmid (2014); ASM International (2008)

Perbandingan Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan secara langsung mempengaruhi fungsi, estetika, dan kemampuan perakitan komponen. Berdasarkan nilai Ra (Roughness Average), sand casting menghasilkan permukaan dengan Ra antara 6,3 μm hingga 25 μm , tergantung pada jenis pasir, ukuran butir pasir, dan kondisi cetakan. Nilai Ra ini tergolong kasar dan seringkali tidak memadai untuk aplikasi yang memerlukan kesesuaian permukaan yang baik atau estetika tinggi (Rao, 2013).

Die casting menghasilkan kekasaran permukaan yang jauh lebih rendah, dengan nilai Ra antara 0,8 μm hingga 3,2 μm . Kualitas permukaan ini hampir setara dengan hasil proses finishing seperti turning atau milling kasar, sehingga komponen die casting seringkali tidak memerlukan proses machining tambahan untuk kualitas permukaan. Hal ini merupakan keunggulan kompetitif yang signifikan dalam hal efisiensi produksi (Brevick & Mobley, 2014).

Tabel 2. Perbandingan Kekasaran Permukaan

Aspek	Sand Casting	Die Casting
Nilai Ra (μm)	6,3 – 25	0,8 – 3,2
Klasifikasi Kekasaran	N9 – N12 (Kasar)	N5 – N8 (Halus)
Kebutuhan Finishing	Tinggi	Rendah – Tidak perlu
Pengaruh Jenis Pasir/Cetakan	Sangat signifikan	Minimal

Sumber: Rao (2013); Brevick & Mobley (2014); Kalpakjian & Schmid (2014)

Analisis Cacat Produk

Cacat produk (casting defects) merupakan permasalahan yang tidak dapat dihindari sepenuhnya dalam proses pengecoran, namun dapat diminimalkan melalui pengendalian proses yang ketat. Sand casting dan die casting memiliki jenis cacat yang berbeda-beda sesuai karakteristik prosesnya.

Pada sand casting, cacat yang paling umum terjadi adalah: (1) Porositas gas, disebabkan oleh gas yang terperangkap saat penuangan; (2) Shrinkage cavity, akibat kontraksi volume logam saat pembekuan; (3) Sand inclusion, berupa partikel pasir yang terbawa masuk ke dalam logam cor; (4) Misrun, yaitu logam cair yang mengeras sebelum mengisi seluruh rongga cetakan; dan (5) Cold shut, berupa garis pertemuan dua aliran logam yang tidak menyatu sempurna (Campbell, 2015).

Pada die casting, cacat yang paling dominan adalah: (1) Gas porosity, akibat udara yang terperangkap saat pengisian cetakan dengan tekanan tinggi yang mencapai 5–20% volume produk jika tidak dikendalikan; (2) Shrinkage porosity di bagian-bagian tebal produk; (3) Die soldering, yaitu penempelan logam cor pada permukaan cetakan; (4) Flash, berupa sirip tipis logam di garis pertemuan cetakan; dan (5) Cold shut di area aliran logam yang panjang (Zhang et al., 2019).

Tabel 3. Perbandingan Jenis dan Frekuensi Cacat Produk

Jenis Cacat	Sand Casting	Die Casting	Penyebab Utama (SC)	Penyebab Utama (DC)
Gas Porosity	Tinggi	Sedang–Tinggi	Kelembaban pasir	Udara terperangkap
Shrinkage	Sedang	Rendah–Sedang	Desain riser kurang	Pendinginan tidak merata

Jenis Cacat	Sand Casting	Die Casting	Penyebab Utama (SC)	Penyebab Utama (DC)
Sand Inclusion	Tinggi	Tidak ada	Kualitas pasir buruk	-
Cold Shut	Sedang	Rendah	Suhu logam rendah	Tekanan kurang
Flash/Fins	Rendah	Tinggi	Cetakan rusak	Tekanan berlebih
Die Soldering	Tidak ada	Sedang	-	Suhu cetakan tinggi

Sumber: Campbell (2015); Zhang et al. (2019); Kutz (2015)

Perbandingan Sifat Mekanik

Sifat mekanik produk cor sangat dipengaruhi oleh mikrostruktur yang terbentuk selama proses pembekuan. Laju pendinginan yang lebih cepat pada die casting menghasilkan butir kristal yang lebih halus (fine grain structure), yang berkontribusi pada kekuatan mekanik yang lebih tinggi dibandingkan sand casting yang memiliki laju pendinginan lebih lambat menghasilkan butir yang lebih kasar (Flemings, 2010).

Untuk paduan aluminium A380 (material yang umum digunakan), die casting menghasilkan kekuatan tarik (UTS) sekitar 324 MPa dan kekerasan 80 HB, sementara sand casting menghasilkan UTS sekitar 159 MPa dan kekerasan 55 HB. Namun, produk sand casting umumnya memiliki elongasi yang sedikit lebih baik karena struktur butir yang lebih kasar cenderung lebih ulet (ASM International, 2008).

Tabel 4. Perbandingan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A380

Sifat Mekanik	Sand Casting	Die Casting
Kekuatan Tarik / UTS (MPa)	159 – 186	310 – 340
Yield Strength (MPa)	83 – 110	160 – 170
Elongasi (%)	2,0 – 3,5	1,5 – 3,0
Kekerasan (HB)	55 – 65	75 – 85
Modulus Elastisitas (GPa)	69 – 72	71 – 75
Kekuatan Fatigue (MPa)	55 – 70	138 – 145

Sumber: ASM International (2008); Flemings (2010); Brevick & Mobley (2014)

Perbandingan Biaya dan Efisiensi Produksi

Aspek ekonomi merupakan pertimbangan kritis dalam pemilihan metode pengecoran. Biaya total produksi terdiri dari biaya investasi awal (cetakan dan peralatan), biaya material, biaya tenaga kerja, biaya energi, biaya scrap/reject, dan biaya proses sekunder seperti machining dan finishing.

Sand casting memiliki keunggulan kompetitif dalam hal biaya investasi awal yang rendah. Cetakan pasir dapat dibuat dalam waktu singkat dengan biaya relatif murah, berkisar antara USD 100 hingga beberapa ribu dolar untuk cetakan sederhana. Hal ini membuat sand casting sangat ekonomis untuk produksi rendah-menengah (1 hingga beberapa ratus unit) dan prototipe (Totten & MacKenzie, 2003).

Sebaliknya, die casting membutuhkan investasi awal yang sangat besar untuk cetakan logam (die), yang dapat berkisar dari USD 10.000 hingga lebih dari USD 100.000 tergantung pada kompleksitas dan material cetakan. Namun, biaya per unit die casting jauh lebih rendah pada volume produksi tinggi karena proses yang sangat otomatis, waktu siklus yang pendek (5–60 detik per unit), dan kebutuhan machining yang minimal (Groover, 2016).

Tabel 5. Perbandingan Biaya dan Efisiensi Produksi

Faktor	Sand Casting	Die Casting
Investasi Cetakan	Rendah (USD 100–5.000)	Tinggi (USD 10K–100K+)
Biaya per Unit (High Volume)	Sedang–Tinggi	Rendah
Waktu Siklus	Menit–Jam	5–60 detik
Volume Produksi Optimal	1 – 10.000 unit	> 10.000 unit
Umur Cetakan	Sekali pakai	100K – 1 juta shot
Tingkat Otomasi	Rendah–Sedang	Tinggi
Kebutuhan Machining	Tinggi	Rendah
Scrap Rate (%)	2 – 8%	1 – 5%

Sumber: Totten & MacKenzie (2003); Groover (2016); Brevick & Mobley (2014)

Rekomendasi Pemilihan Metode

Berdasarkan analisis komprehensif di atas, pemilihan metode pengecoran harus didasarkan pada beberapa faktor kunci: (1) volume produksi yang direncanakan, (2) spesifikasi kualitas yang dipersyaratkan, (3) material yang akan digunakan, (4) ukuran dan kompleksitas komponen, serta (5) anggaran investasi yang tersedia.

Sand casting direkomendasikan untuk: produksi prototipe dan volume rendah (< 1.000 unit), komponen berukuran besar (> 50 kg), produk dari berbagai jenis logam termasuk ferrous, komponen dengan desain yang sering berubah, dan situasi di mana investasi awal harus diminimalkan. Die casting direkomendasikan untuk: produksi massal (> 10.000 unit), komponen kecil-menengah (< 25 kg) dengan presisi tinggi, komponen dari paduan non-ferrous (aluminium, seng, magnesium), produk yang membutuhkan kekasaran permukaan rendah dan toleransi ketat, serta situasi di mana biaya per unit yang rendah menjadi prioritas utama jangka panjang.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah menganalisis secara komprehensif perbandingan kualitas produk antara sand casting dan die casting pada industri manufaktur modern. Dari hasil analisis, dapat disimpulkan beberapa poin penting sebagai berikut:

Pertama, dari aspek toleransi dimensi, die casting secara signifikan lebih unggul dengan toleransi $\pm 0,05$ – $0,2$ mm dibandingkan sand casting yang hanya mencapai $\pm 0,5$ – $1,0$ mm. Hal ini menjadikan die casting pilihan utama untuk komponen yang memerlukan presisi tinggi.

Kedua, kekasaran permukaan die casting (Ra 0,8–3,2 μm) jauh lebih baik dibandingkan sand casting (Ra 6,3–25 μm), sehingga produk die casting seringkali tidak memerlukan proses finishing tambahan, menghemat waktu dan biaya produksi secara signifikan.

Ketiga, dari aspek cacat produk, sand casting lebih rentan terhadap sand inclusion dan porositas gas, sementara die casting lebih rentan terhadap gas porosity akibat udara terperangkap dan flash. Masing-masing memerlukan pengendalian proses yang spesifik.

Keempat, sifat mekanik produk die casting umumnya lebih baik berkat struktur butir yang lebih halus akibat pendinginan cepat, khususnya kekuatan tarik, kekerasan, dan kekuatan fatigue.

Kelima, dari aspek ekonomi, sand casting lebih ekonomis untuk volume produksi rendah karena investasi cetakan yang murah, sementara die casting lebih efisien untuk produksi massal dengan biaya per unit yang jauh lebih rendah.

Dengan demikian, tidak ada satu metode yang mutlak lebih baik dari yang lain. Pemilihan metode yang tepat harus mempertimbangkan secara holistik seluruh parameter teknis dan ekonomis sesuai kebutuhan spesifik setiap kasus produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B. H., Ostwald, P. F., & Begeman, M. L. (2012). *Manufacturing Processes* (8th ed.). John Wiley & Sons.
- ASM International. (2008). *ASM Handbook Volume 15: Casting*. ASM International.
- Brevick, J., & Mobley, C. (2014). *Die Casting: Science and Technology*. NADCA (North American Die Casting Association).
- Campbell, J. (2015). *Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Flemings, M. C. (2010). *Solidification Processing*. McGraw-Hill.
- Groover, M. P. (2016). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- Heine, R. W., Loper, C. R., & Rosenthal, P. C. (2013). *Principles of Metal Casting* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology* (7th ed.). Pearson Education.
- Kutz, M. (Ed.). (2015). *Mechanical Engineers' Handbook: Manufacturing and Management* (4th ed., Vol. 3). John Wiley & Sons.
- Rao, P. N. (2013). *Manufacturing Technology: Foundry, Forming and Welding* (4th ed.). Tata McGraw-Hill.
- Street, A. C. (2013). *The Die Casting Book* (3rd ed.). Portcullis Press.
- Totten, G. E., & MacKenzie, D. S. (Eds.). (2003). *Handbook of Aluminum: Vol. 2, Alloy Production and Materials Manufacturing*. CRC Press.
- Zhang, L., Cao, J., & Liu, B. (2019). Defect analysis and quality control in high pressure die casting of aluminum alloys. *Journal of Manufacturing Processes*, 45, 280–295. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.07.019>.