

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengecoran Logam

Pengecoran logam merupakan salah satu proses manufaktur tertua yang digunakan untuk membentuk logam dengan cara mencairkan logam kemudian menuangkannya ke dalam cetakan sesuai bentuk yang diinginkan. Setelah logam membeku dan mendingin, hasil coran dapat dilakukan proses *finishing* sesuai kebutuhan. Proses pengecoran banyak digunakan karena mampu menghasilkan bentuk yang kompleks dengan biaya relatif ekonomis untuk produksi skala kecil hingga besar (ALAMSYAH, 2025).



Gambar 2.1 Pengecoran Logam
(Sagita, 2021).

Secara umum, tahapan proses pengecoran meliputi persiapan bahan baku, peleburan logam, penuangan ke dalam cetakan, pembekuan, dan pembongkaran hasil coran. Tahap peleburan merupakan tahapan yang sangat penting karena sangat menentukan kualitas logam cair yang akan dicor. Berikut ini adalah beberapa jenis metode pengecoran logam yang umum digunakan di industri (Mamminasa, 2023).

2.1.1 *Sand Casting* (Pengecoran Pasir)

Sand Casting (Pengecoran Pasir) adalah salah satu metode pengecoran logam yang paling umum digunakan dalam proses manufaktur. Teknik ini memanfaatkan pasir sebagai bahan utama untuk membuat cetakan, karena sifatnya yang mudah dibentuk, tahan terhadap suhu tinggi, dan relatif murah. Prosesnya dimulai dengan pembuatan pola (*pattern*) yang menyerupai bentuk produk yang diinginkan, kemudian pola tersebut ditekan ke dalam campuran pasir untuk membentuk rongga cetakan. Setelah pola dilepas, logam cair dituangkan ke dalam rongga tersebut dan dibiarkan hingga membeku. Setelah proses pendinginan selesai, cetakan pasir dipecah untuk mengambil hasil coran (Raharjo dkk., 2025).



Gambar 2.2 *Sand Casting* (Pengecoran Pasir) (Sagita, 2021).

Metode *sand casting* banyak digunakan karena fleksibilitasnya dalam menghasilkan berbagai bentuk dan ukuran komponen, mulai dari yang sederhana hingga kompleks, serta dapat digunakan untuk hampir semua jenis logam, baik *ferro* maupun *non-ferro*. Selain itu, biaya produksinya relatif rendah dibandingkan metode pengecoran lainnya, sehingga cocok untuk produksi skala kecil hingga menengah. Namun, kelemahan dari metode ini adalah hasil permukaan yang cenderung kasar dan toleransi dimensi yang kurang presisi, sehingga sering

memerlukan proses *finishing* tambahan seperti *machining* atau penghalusan permukaan (ALAMSYAH, 2025).

2.1.2 Die Casting

Die Casting (Pengecoran Cetakan Logam) adalah proses pengecoran logam yang menggunakan cetakan permanen (*dies*) yang terbuat dari baja berkekuatan tinggi. Dalam metode ini, logam cair umumnya logam *non-ferro* seperti aluminium, seng, atau magnesium disuntikkan ke dalam rongga cetakan dengan tekanan tinggi sehingga mampu mengisi detail bentuk yang kompleks secara cepat dan presisi. Setelah logam membeku, cetakan dibuka dan produk hasil coran dikeluarkan tanpa merusak cetakan, sehingga cetakan dapat digunakan berulang kali untuk produksi massal (Mamminasa, 2023).



Gambar 2.3 *Die Casting* (Sagita, 2021).

Keunggulan utama *die casting* terletak pada kemampuannya menghasilkan produk dengan permukaan halus, dimensi yang akurat, serta detail yang tinggi tanpa memerlukan banyak proses *finishing*. Selain itu, metode ini sangat efisien untuk produksi dalam jumlah besar karena waktu siklusnya cepat dan konsistensi produk terjaga. Namun, biaya awal pembuatan cetakan relatif tinggi dan kurang ekonomis untuk produksi skala kecil. Di samping itu, metode ini umumnya terbatas pada

logam dengan titik leleh rendah hingga menengah, sehingga tidak cocok untuk semua jenis material (Farhan & Anggono, 2025).

2.1.3 *Investment Casting (Lost Wax Casting)*

Investment Casting (Lost Wax Casting) adalah metode pengecoran logam presisi tinggi yang menggunakan pola dari lilin (*wax*) yang dilapisi dengan material keramik untuk membentuk cetakan. Proses ini diawali dengan pembuatan pola lilin sesuai bentuk produk yang diinginkan, kemudian beberapa pola digabungkan menjadi satu rangkaian (*tree*) dan dilapisi berulang kali dengan *slurry* keramik hingga membentuk cangkang keras. Setelah itu, lilin dilelehkan (*lost wax*) sehingga meninggalkan rongga cetakan yang kemudian diisi dengan logam cair. Setelah logam membeku, cangkang keramik dipecah untuk mengambil hasil coran (Firdaus & Patna Partono, 2024).



Gambar 2.4 *Investment Casting (Lost Wax Casting)* (Sagita, 2021).

Metode ini dikenal karena kemampuannya menghasilkan produk dengan tingkat akurasi dimensi yang sangat tinggi, detail yang rumit, serta permukaan yang halus, sehingga sering digunakan untuk komponen kompleks seperti bagian mesin, turbin, dan perhiasan. Selain itu, proses ini memungkinkan pengecoran berbagai jenis logam, termasuk paduan dengan titik lebur tinggi. Namun, kelemahan

investment casting adalah prosesnya yang relatif lebih rumit, waktu produksi lebih lama, dan biaya yang lebih tinggi dibandingkan metode pengecoran sederhana seperti *sand casting*, sehingga biasanya digunakan untuk produk bernilai tinggi dan presisi tinggi (B. R. Darmawan, 2025).

2.1.4 *Permanent Mold Casting*

Permanent Mold Casting adalah metode pengecoran logam yang menggunakan cetakan logam permanen yang dapat digunakan berulang kali, biasanya terbuat dari baja atau besi cor. Pada proses ini, logam cair dituangkan ke dalam cetakan dengan bantuan gaya gravitasi (*gravity casting*), meskipun dalam beberapa variasi dapat menggunakan tekanan rendah. Sebelum penuangan, cetakan biasanya dipanaskan dan dilapisi bahan pelapis khusus untuk mencegah logam menempel serta memperpanjang cetakan. Setelah logam membeku, cetakan dibuka dan produk coran dikeluarkan tanpa merusak cetakan, sehingga memungkinkan produksi berulang dengan kualitas yang konsisten (ALAMSYAH, 2025).



Gambar 2.5 *Permanent Mold Casting* (Charlton, 2020).

Keunggulan utama *permanent mold casting* adalah kemampuan menghasilkan produk dengan kualitas permukaan yang lebih halus, sifat mekanik yang lebih baik, dan porositas yang lebih rendah dibandingkan pengecoran pasir.

Selain itu, proses ini memiliki produktivitas yang lebih tinggi karena cetakan dapat digunakan berkali-kali. Namun, biaya awal pembuatan cetakan cukup tinggi dan desain produk harus mempertimbangkan kemudahan pelepasan dari cetakan, sehingga kurang fleksibel untuk bentuk yang sangat kompleks. Metode ini umumnya digunakan untuk logam *non-ferro* seperti aluminium dan magnesium dalam produksi komponen otomotif, peralatan rumah tangga, dan industri lainnya (Tsamroh dkk., 2024).

2.1.5 *Centrifugal Casting*

Centrifugal Casting adalah metode pengecoran logam yang memanfaatkan gaya *sentrifugal* akibat putaran cetakan untuk mendistribusikan logam cair ke seluruh dinding cetakan. Pada proses ini, cetakan berbentuk silinder diputar dengan kecepatan tinggi, kemudian logam cair dituangkan ke dalamnya sehingga terdorong ke arah luar dan membentuk lapisan padat mengikuti bentuk cetakan. Proses ini tidak memerlukan inti (*core*) untuk membentuk rongga bagian dalam, karena gaya *sentrifugal* secara alami menghasilkan bagian tengah yang kosong. Setelah logam membeku, hasil coran diambil dengan struktur yang lebih padat dan homogen (ALAMSYAH, 2025).



Gambar 2.6 *Centrifugal Casting* (Siim Sild, 2025).

Keunggulan utama *centrifugal casting* adalah kemampuannya menghasilkan produk dengan kualitas tinggi, densitas yang baik, serta minim cacat seperti porositas dan inklusi, karena kotoran terdorong ke bagian dalam yang kemudian dapat dibuang. Metode ini sangat cocok untuk pembuatan komponen berbentuk silinder seperti pipa, tabung, ring, dan silinder mesin. Namun, keterbatasannya terletak pada bentuk produk yang umumnya hanya simetris terhadap sumbu putar, serta memerlukan peralatan khusus dengan kontrol putaran yang presisi (Slamet dkk., 2025).

2.1.6 Continuous Casting

Continuous Casting adalah metode pengecoran logam yang dilakukan secara terus-menerus untuk menghasilkan produk dengan bentuk penampang tertentu seperti *billet*, *bloom*, atau *slab*. Dalam proses ini, logam cair dituangkan ke dalam cetakan berpendingin air (*water-cooled mold*) yang terbuka di bagian bawah, sehingga logam mulai membeku saat bergerak turun secara kontinu. Produk yang setengah padat kemudian ditarik keluar sambil didinginkan lebih lanjut hingga benar-benar mengeras, lalu dipotong sesuai panjang yang diinginkan. Proses ini memungkinkan produksi dalam jumlah besar dengan efisiensi tinggi dan kualitas yang konsisten (A. Darmawan, 2024).



Gambar 2.7 *Continuous Casting* (Chen, 2025).

Keunggulan utama *continuous casting* adalah kemampuannya menghasilkan produk dengan struktur yang lebih homogen, minim cacat seperti porositas, serta mengurangi kebutuhan proses lanjutan seperti *rolling* awal. Selain itu, proses ini lebih hemat energi dan material dibandingkan metode pengecoran konvensional karena mengurangi pemborosan logam. Namun, investasi awal untuk peralatan sangat besar dan pengoperasiannya memerlukan kontrol yang ketat terhadap suhu, kecepatan penarikan, dan pendinginan. Metode ini banyak digunakan dalam industri baja dan logam *non-ferro* untuk produksi skala besar secara kontinu (ALAMSYAH, 2025).

2.1.7 *Shell Mold Casting*

Shell Mold Casting (Pengecoran Cetakan Cangkang) adalah metode pengecoran logam yang menggunakan cetakan tipis berbentuk cangkang yang dibuat dari pasir halus yang dilapisi *resin* (*resin-coated sand*). Proses ini diawali dengan memanaskan pola logam, kemudian pasir berlapis *resin* dituangkan ke atasnya sehingga membentuk lapisan tipis yang mengeras akibat panas. Setelah itu, cangkang cetakan dilepas dari pola, disusun menjadi satu cetakan utuh, dan

kemudian digunakan untuk menuangkan logam cair. Setelah logam membeku, cetakan cangkang dipecah untuk mengambil hasil coran (Suhardi, 2023).



Gambar 2.8 *Shell Mold Casting* (PINGHENG, 2026).

Metode ini memiliki keunggulan dalam menghasilkan permukaan yang lebih halus dan dimensi yang lebih presisi dibandingkan pengecoran pasir konvensional. Selain itu, prosesnya relatif lebih otomatis dan cocok untuk produksi dalam jumlah menengah hingga besar. *Shell mold casting* juga mampu menghasilkan bentuk yang cukup kompleks dengan toleransi yang baik. Namun, biaya bahan cetakan lebih tinggi karena penggunaan *resin*, serta peralatan dan prosesnya lebih kompleks dibandingkan *sand casting*, sehingga kurang ekonomis untuk produksi skala kecil atau bentuk yang sangat sederhana (DIAN, 2026).

2.1.8 Lost Foam Casting

Lost Foam Casting (Evaporative Pattern Casting) adalah metode pengecoran logam yang menggunakan pola dari busa (*foam*), biasanya *polistirena*, yang akan menguap saat terkena logam cair. Proses ini dimulai dengan pembuatan pola *foam* sesuai bentuk produk, kemudian pola tersebut dilapisi dengan material refraktori tipis dan ditanam dalam pasir kering tanpa pengikat. Ketika logam cair dituangkan ke dalam cetakan, pola *foam* langsung menguap dan digantikan oleh logam cair

yang mengisi rongga dengan bentuk yang sama. Setelah pembekuan, pasir dibongkar untuk mengambil hasil coran tanpa perlu proses pelepasan pola seperti pada metode konvensional (Suhardi, 2023).



Gambar 2.9 *Lost Foam Casting* (Zhycasting, 2022).

Keunggulan *lost foam casting* adalah kemampuannya menghasilkan bentuk yang sangat kompleks tanpa memerlukan inti (*core*) atau sistem saluran yang rumit, sehingga mengurangi jumlah komponen tambahan dalam cetakan. Selain itu, hasil coran memiliki akurasi dimensi yang baik dan permukaan yang relatif halus. Proses ini juga efisien karena mengurangi tahapan produksi dan limbah material. Namun, kelemahannya meliputi biaya pembuatan pola *foam* yang hanya sekali pakai, serta perlunya kontrol yang baik terhadap proses penguapan untuk menghindari cacat seperti porositas atau cacat permukaan. Metode ini banyak digunakan dalam industri otomotif untuk pembuatan komponen kompleks seperti blok mesin (ALAMSYAH, 2025).

2.2 Logam Non-Ferro

Logam *non-ferro* adalah logam yang tidak mengandung unsur besi (*Fe*) sebagai komponen utama. Beberapa contoh logam *non-ferro* yang umum

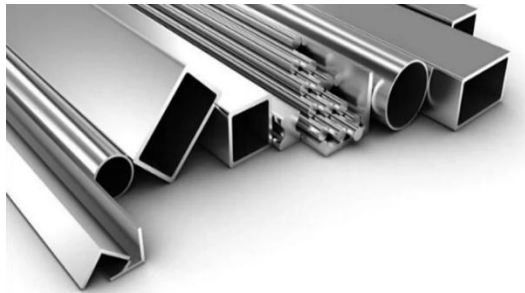
digunakan dalam industri pengecoran antara lain aluminium, tembaga, kuningan, dan perunggu (Wati dkk., 2025).



Gambar 2.10 Logam *Non Ferro* (Jaya, 2021).

2.2.1 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan dengan massa jenis sekitar $2,7 \text{ g/cm}^3$ dan memiliki titik lebur $\pm 660^\circ\text{C}$. Aluminium banyak digunakan dalam industry otomotif, konstruksi, dan peralatan rumah tangga karena sifatnya yang ringan, tahan korosi, serta memiliki konduktivitas termal yang baik (Mahayuda, 2026).



Gambar 2.11 Aluminium (Wilson, 2025).

1. Aluminium *Copper Alloy* (seri 2xxx)

Di sisi lain, aluminium seri yang mengandung tembaga berkisar antara 2-10% dapat diberi perlakuan panas, terutama yang mengandung 2,5-5% Cu. Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai baja lunak, tetapi ketahanan korosinya lebih rendah dibandingkan dengan jenis paduan lainnya. Jenis paduan ini sering digunakan dalam konstruksi paku keling dan banyak diaplikasikan dalam

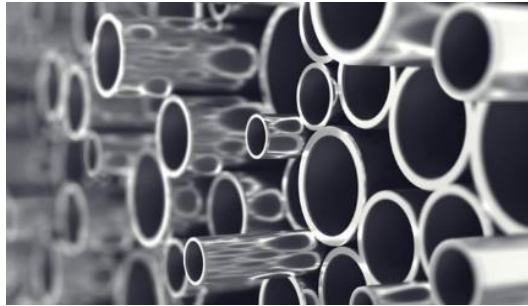
industri penerbangan, seperti pada super duralumin. Karena kandungan tembaga yang rendah pada ketahanan korosinya, paduan ini biasanya dilapisi dengan aluminium murni atau paduan aluminium yang lebih tahan korosi untuk meningkatkan daya tahannya (Tribudi Prakoso, 2024).



Gambar 2.12 Aluminium *Copper Alloy* (Wilson, 2025).

2. Aluminium *Manganese Alloy* (seri 3xxx)

Salah satu elemen yang dapat memperkuat aluminium adalah mangan (*Mn*) tanpa mengurangi ketahanan terhadap korosi. Paduan aluminium yang mengandung mangan biasanya memiliki kandungan mulai dari 0,05-1,5%. Jika dibandingkan dengan aluminium murni, paduan ini memiliki sifat yang sama dalam hal ketahanan korosi, tetapi dalam hal kekuatan, mereka lebih unggul hingga 620% dibandingkan dengan aluminium murni. Penggunaan paduan aluminium dengan mangan ini meliputi kaleng makanan, peralatan memasak, penukar panas, tangki penyimpanan, furnitur, dan rambu-rambu lalu lintas (ABDUL, 2025).



Gambar 2.13 Aluminium *Manganese Alloy* (Wilson, 2025).

3. Aluminium *Silikon Alloy* (seri 4xxx)

Aluminium *silikon* adalah paduan aluminium yang sangat baik dalam hal likuiditas, memiliki permukaan yang baik, tidak rapuh karena panas, dan cocok untuk pengecoran paduan. Aluminium jenis ini memiliki kandungan silikon berkisar antara 3,6-13,5%. Paduan aluminium silikon memiliki ketahanan panas dan listrik yang baik, ketahanan korosi yang baik, massa yang ringan, dan koefisien muai yang kecil. Karena sifat-sifatnya tersebut, paduan jenis Al-Si banyak digunakan sebagai logam pengisi pada pengelasan paduan aluminium, baik paduan cor maupun paduan tempa. Paduan ini, terutama seri 4032, memiliki koefisien muai panas yang rendah dan ketahanan aus yang tinggi, sehingga sering digunakan sebagai bahan pembuat piston (Setia, 2023).



Gambar 2.14 Aluminium *Silikon Alloy* (Wilson, 2025).

2.2.2 Tembaga

Tembaga adalah logam *non-ferro* berwarna merah kecokelatan yang memiliki simbol kimia Cu. Tembaga dikenal sebagai penghantar listrik dan panas yang sangat baik, sehingga banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan industri dan kehidupan sehari-hari. Logam ini juga tahan terhadap korosi serta mudah dibentuk menjadi kawat, pipa, maupun lembaran. Karena sifatnya tersebut, tembaga banyak dimanfaatkan untuk kabel listrik, komponen elektronik, pipa air, dan campuran logam seperti kuningan dan perunggu. Tembaga memiliki peranan penting dalam perkembangan teknologi modern karena hampir semua peralatan listrik dan elektronik menggunakan logam ini sebagai penghantar arus listrik (NENCHY ANUGRAH BR, 2023).



Gambar 2.15 Tembaga (McClure, 2024).

2.2.3 Seng

Seng adalah logam *non-ferro* berwarna putih kebiruan yang memiliki simbol kimia Zn. Seng dikenal karena sifatnya yang tahan terhadap korosi atau karat, sehingga sering digunakan sebagai pelapis besi dan baja agar lebih awet. Logam ini juga mudah dipadukan dengan logam lain untuk menghasilkan bahan yang lebih kuat dan tahan lama. Dalam kehidupan sehari-hari, seng banyak dimanfaatkan

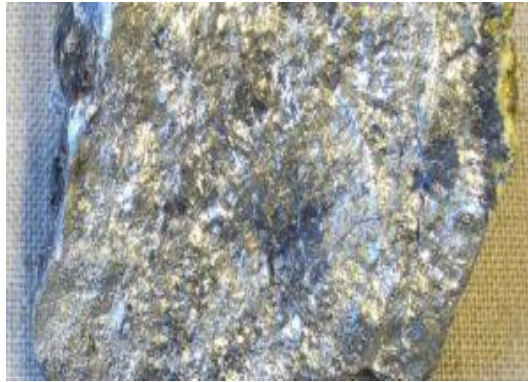
untuk atap bangunan, baterai, serta campuran logam seperti kuningan yang merupakan campuran seng dan tembaga. Selain digunakan di bidang industri, seng juga memiliki peranan penting bagi tubuh manusia sebagai mineral yang membantu pertumbuhan dan menjaga sistem kekebalan tubuh (Waruwu, 2025).



Gambar 2.16 Seng (Jaya, 2021).

2.2.4 Timah

Timah adalah logam *non-ferro* berwarna putih keperakan yang memiliki simbol kimia Sn, berasal dari bahasa Latin stannum. Timah memiliki sifat lunak, mudah dibentuk, tahan terhadap korosi, dan memiliki titik leleh yang relatif rendah. Karena sifat tersebut, timah banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan industri dan mudah diproses menjadi berbagai bentuk. Dalam kehidupan sehari-hari, timah sering dimanfaatkan sebagai bahan pelapis kaleng agar tidak berkarat, bahan solder pada rangkaian elektronik, serta campuran logam seperti perunggu yang merupakan campuran tembaga dan timah. Selain itu, timah juga digunakan dalam industri otomotif, konstruksi, dan peralatan rumah tangga karena mampu meningkatkan ketahanan suatu bahan terhadap kerusakan dan korosi (Immanuel dkk., 2025).



Gambar 2.17 Timah (Jaya, 2021).

2.2.5 Nikel

Nikel adalah logam *non-ferro* berwarna putih keperakan yang memiliki simbol kimia Ni. Nikel dikenal sebagai logam yang kuat, keras, tahan panas, dan tahan terhadap korosi atau karat. Karena sifatnya tersebut, nikel banyak digunakan dalam berbagai bidang industri, terutama sebagai bahan campuran untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan logam lain. Dalam kehidupan sehari-hari, nikel sering dimanfaatkan dalam pembuatan *stainless steel*, baterai, uang logam, serta pelapis logam agar lebih tahan karat dan terlihat mengkilap. Selain itu, nikel juga memiliki peranan penting dalam teknologi modern, terutama pada industri kendaraan listrik karena digunakan sebagai bahan utama pembuatan baterai (Waruwu, 2025).



Gambar 2.18 Nikel (Jaya, 2021).

2.2.6 Kuningan

Kuningan terbentuk dari campuran tembaga dan seng. Semakin tinggi kandungan seng maka warna kuningan akan semakin pucat dan tingkat kekerasannya meningkat. Sebaliknya, jika kandungan tembaga lebih besar, warna kuningan akan tampak lebih merah keemasan dan sifatnya lebih lunak serta mudah dibentuk. Dalam bidang industri, kuningan sering digunakan untuk membuat mur, baut, roda gigi, dan mekanik lainnya. Pada bidang kelistrikan, kuningan digunakan sebagai bahan terminal dan konektor karena mampu menghantarkan listrik dengan baik.



Gambar 2.19 Kuningan

2.3 Tungku Pengecoran

Tungku pengecoran adalah peralatan yang digunakan untuk meleburkan logam hingga mencapai temperatur cair. Berdasarkan sumber energinya, tungku dapat dibedakan menjadi tungku berbahan bakar padat, cair, gas, dan listrik. Pada penelitian ini digunakan tungku berbahan bakar gas, yang umumnya menggunakan LPG atau gas alam sebagai sumber energi panas (Hanna Luthfia, 2025).



Gambar 2.20 Tungku Pengecoran (Maria Jaya, 2021).

2.3.1 Tungku Krusibel (*Crucible Furnace*)

Tungku krusibel adalah jenis tungku yang memanfaatkan wadah tahan terhadap suhu yang tinggi (*crucible*) sebagai tempat untuk melebur logam. Energi panas yang digunakan berasal dari gas, minyak, ataupun listrik yang cara bekerjanya dengan memanaskan *crucible* secara tidak langsung sehingga logam di dalamnya dapat mencair. Tungku ini banyak digunakan pada peleburan logam *non-ferrous* seperti aluminium, tembaga, dan kuningan karena dapat menghasilkan logam cair dengan tingkat kemurnian yang cukup baik. Selain itu, konstruksinya yang sederhana serta biaya pembuatan yang relatif lebih terjangkau menjadikan tungku ini sesuai untuk penggunaan pada laboratorium, institusi pendidikan, maupun industri dengan skala kecil (Asmarani dkk., 2024).



Gambar 2.21 Tungku Krusibel (Maria Jaya, 2023).

2.3.2 Tungku Kupola (*Cupola Furnace*)

Tungku kupola merupakan tungku yang berbentuk vertikal secara khusus digunakan untuk melebur besi cor dengan memanfaatkan kokas sebagai bahan bakar utama. Proses pembakaran berlangsung secara kontinu dengan bantuan aliran udara dari blower secara bertekanan, sehingga memungkinkan operasi dalam kapasitas besar secara berkelanjutan. Tungku ini umumnya digunakan dalam industri pengecoran berskala besar karena dapat mendukung produksi massal dengan efisien. Namun, memiliki kelemahan yaitu berupa emisi gas buang yang tinggi serta pengendalian suhu yang kurang akurat dibandingkan teknologi tungku yang sudah modern (Prayoga, 2025).



Gambar 2.22 Tungku Kupola (Wings, 2023).

2.3.3 Tungku Induksi (*Induction Furnace*)

Tungku induksi bekerja dengan memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik, yang mana arus listrik bolak-balik yang menghasilkan medan magnet mampu memanaskan logam secara langsung tanpa adanya kontak fisik dengan sumber panas. Metode ini menghasilkan pemanasan yang cepat, merata, dan juga memiliki efisiensi tinggi. Dalam praktiknya, tungku induksi sering kali digunakan pada industri modern karena dapat menghasilkan logam cair dengan kualitas yang baik dan pengaturan suhu yang sangat amat presisi. Selain itu, lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi dari proses pembakaran, meskipun memerlukan biaya investasi awal dan konsumsi energi listrik yang cukup besar (M. F. Darmawan dkk., 2020).



Gambar 2.23 Tungku Induksi (Wings, 2023).

2.4 Tungku Berbahan Bakar Gas

Tungku gas merupakan tungku yang berbahan bakar gas seperti LPG atau LNG sebagai sumber panas utama dalam proses peleburan logam. Umumnya, tungku ini dikombinasikan dengan sistem *crucible* sehingga sering disebut sebagai tungku krusibel berbahan bakar gas. Proses pembakaran dengan menggunakan bahan bakar gas menghasilkan panas yang relatif lebih bersih dan memungkinkan pengendalian suhu yang lebih stabil. Oleh karena itu, tungku ini banyak digunakan pada skala kecil hingga menengah karena efisiensi yang cukup baik serta dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar padat. Namun, performa tungku ini dipengaruhi oleh desain burner serta ketersediaan pasokan pada gas (MAULIDI, 2023).

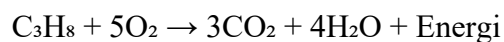


Gambar 2.24 Tungku Berbahan Bakar Gas (Maria Jaya, 2023).

2.5 Proses Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang menghasilkan panas. Pada pembakaran LPG, komponen utama seperti propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) bereaksi dengan oksigen menghasilkan karbon dioksida (CO_2), uap air (H_2O), dan energi panas (HARTANA, 2025).

Reaksi pembakaran sempurna propana secara umum:



Nilai kalor bahan bakar gas merupakan parameter penting dalam menentukan jumlah energi yang dihasilkan selama proses pembakaran.

2.6 Perpindahan Panas pada Tungku

Perpindahan panas dalam tungku terjadi melalui tiga mekanisme utama:

1. Konduksi

Konduksi merupakan mekanisme perpindahan panas yang terjadi di dalam suatu material tanpa disertai perpindahan massa secara makroskopis. Proses ini berlangsung karena adanya perbedaan temperatur, sehingga panas mengalir dari

daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah melalui interaksi antar partikel. Pada material padat, terutama logam, konduksi terjadi dengan sangat efektif karena adanya elektron bebas yang mampu membawa energi panas dengan cepat. Sementara itu, pada material non-logam, perpindahan panas lebih banyak terjadi melalui getaran atom atau molekul, sehingga laju konduksinya cenderung lebih rendah (Nurbilqis dkk., 2025).

Secara matematis, konduksi dijelaskan oleh hukum *Fourier* yang menyatakan bahwa laju perpindahan panas dipengaruhi oleh luas penampang, gradien suhu, dan konduktivitas termal material. Konduktivitas termal menunjukkan kemampuan bahan dalam menghantarkan panas, di mana logam seperti tembaga dan aluminium memiliki nilai tinggi, sedangkan bahan seperti kayu dan plastik memiliki nilai rendah sehingga bersifat isolator. Selain itu, laju konduksi juga dipengaruhi oleh perbedaan suhu, ukuran penampang, serta ketebalan material (Nurbilqis dkk., 2025).

Dalam kehidupan sehari-hari, konduksi dapat dilihat pada sendok logam yang menjadi panas saat digunakan dalam air panas atau pada proses menyetrika pakaian. Dalam bidang teknik, konduksi berperan penting pada proses pengecoran logam, sistem tungku peleburan, alat penukar panas, serta sistem pendinginan mesin. Pemahaman tentang konduksi sangat penting untuk merancang sistem yang efisien dalam pengelolaan energi panas (Nurbilqis dkk., 2025).

2. Konveksi

Konveksi merupakan mekanisme perpindahan panas yang terjadi melalui pergerakan fluida, baik cair maupun gas, sehingga panas berpindah bersama perpindahan massa. Proses ini disebabkan oleh perbedaan temperatur yang menimbulkan perbedaan massa jenis, di mana fluida panas yang lebih ringan akan naik dan fluida dingin akan turun, membentuk sirkulasi aliran panas (Hijriani dkk., 2026).

Konveksi dapat berlangsung secara alami maupun paksa. Konveksi alami terjadi tanpa bantuan alat, seperti pada air mendidih atau sirkulasi udara dalam ruangan. Sebaliknya, konveksi paksa terjadi dengan bantuan alat seperti kipas atau pompa untuk mempercepat aliran fluida, sehingga perpindahan panas menjadi lebih cepat. Dalam teori, laju perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh koefisien perpindahan panas, luas permukaan, dan perbedaan suhu, di mana nilai koefisien sangat dipengaruhi oleh sifat fluida dan kecepatan alirannya (Hijriani dkk., 2026).

Dalam kehidupan sehari-hari, konveksi terlihat pada peristiwa seperti pergerakan udara panas ke atas, proses mendidihkan air, serta terjadinya angin darat dan angin laut. Dalam bidang teknik, konveksi berperan penting pada sistem pendinginan mesin, alat penukar panas, ventilasi, serta proses peleburan logam di dalam tungku, karena membantu distribusi panas secara merata. Pemahaman konveksi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi sistem termal (Hijriani dkk., 2026).

3. Radiasi

Radiasi merupakan mekanisme perpindahan panas yang tidak memerlukan medium, sehingga energi dapat berpindah melalui ruang hampa dalam bentuk gelombang elektromagnetik, terutama inframerah. Setiap benda bersuhu di atas nol mutlak memancarkan radiasi, dan semakin tinggi temperaturnya, semakin besar energi yang dipancarkan. Hal ini berbeda dengan konduksi dan konveksi yang membutuhkan media penghantar (Sarumaha & Harefa, 2025).

Secara teori, radiasi dijelaskan oleh hukum *Stefan-Boltzmann* yang menyatakan bahwa energi yang dipancarkan berbanding dengan pangkat empat temperatur absolut. Kemampuan suatu permukaan dalam memancarkan atau menyerap radiasi dinyatakan dengan emisivitas, di mana permukaan gelap dan kasar memiliki emisivitas tinggi, sedangkan permukaan terang dan halus cenderung memantulkan panas (Sarumaha & Harefa, 2025).

Dalam kehidupan sehari-hari, radiasi terlihat pada panas matahari yang mencapai bumi, rasa hangat dari api, serta penggunaan pemanas inframerah. Dalam bidang teknik, radiasi berperan penting pada tungku, sistem pembakaran, dan peralatan suhu tinggi karena menjadi mekanisme perpindahan panas yang dominan. Pemahaman radiasi diperlukan untuk meningkatkan efisiensi energi dan pengendalian temperatur (Sarumaha & Harefa, 2025).

2.7 Waktu Peleburan

Waktu peleburan adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengubah logam dari kondisi padat hingga seluruhnya menjadi cair pada temperatur tertentu. Waktu ini dipengaruhi oleh beberapa faktor:

1. Massa logam yang dilebur
2. Temperatur awal logam
3. Titik lebur logam
4. Kapasitas panas jenis logam
5. Efisiensi perpindahan panas
6. Daya panas tungku

Secara teoritis, energi total yang dibutuhkan untuk melebur logam dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = m c \Delta T + m L$$

Dimana:

Q = energi panas (J)

m = massa logam (kg)

c = kalor jenis (J/kg°C)

ΔT = kenaikan temperatur (°C)

L = kalor laten peleburan (J/kg)

Semakin besar energi yang tersedia per satuan waktu, maka waktu peleburan akan semakin singkat.

2.8 Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar gas yang digunakan selama proses peleburan berlangsung. Konsumsi bahan bakar biasanya dinyatakan dalam satuan kg atau liter per proses peleburan.

Hubungan antara energi bahan bakar dan energi yang diserap logam dapat dinyatakan dalam efisiensi termal tungku:

$$\eta = (\text{Energi yang diserap logam} / \text{Energi dari bahan bakar}) \times 100\%$$

Semakin kecil konsumsi bahan bakar untuk waktu peleburan tertentu, maka semakin baik efisiensi operasional tungku.

2.9 Kinerja Operasional Tungku

Kinerja operasional tungku dapat ditinjau dari beberapa parameter utama:

1. Waktu peleburan
2. Konsumsi bahan bakar
3. Efisiensi termal
4. Stabilitas temperatur
5. Kapasitas produksi

Dalam penelitian ini, kinerja operasional difokuskan pada hubungan antara waktu peleburan dan konsumsi bahan bakar sebagai indikator efisiensi dan produktivitas tungku.