

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Tungku Pengecoran Logam



Gambar 2.1 Tungku Pengecoran Logam (Fransisco dan Irma 2024).

Tungku pengecoran logam adalah alat industri yang berfungsi untuk memanaskan dan mencairkan bahan aluminium hingga mencapai titik leleh tertentu. Alat ini merupakan komponen sebagai peran utama dalam proses pengecoran (*casting*), di mana logam cair hasil peleburan dituangkan ke dalam cetakan untuk membentuk benda kerja (Darmawan, 2024). Adapun beberapa jenis pengecoran logam yaitu.

2.1.1 Pengecoran Pasir (*Sand Casting*)



Gambar 2.2 Pengecoran Pasir (Perwira, 2022)

Pengecoran pasir adalah teknik manufaktur logam yang memanfaatkan media pasir sebagai bahan utama pembuatan rongga cetakan. Mekanismenya yaitu dimulai dengan mencairkan logam, yang kemudian dialirkan ke dalam cetakan hingga memenuhi desain produk yang dituju. Setelah proses fase pendinginan dan pemadatan selesai, struktur pasir dipecah untuk mengeluarkan hasil pengecorannya. Keunggulan utama metode ini yaitu terletak pada efisiensi biaya dan fleksibilitasnya dalam menciptakan komponen masif yang rumit. Meski begitu, tantangan utamanya adalah rendahnya akurasi dimensi serta tekstur permukaan yang cenderung kasar jika disandingkan dengan teknik pengecoran modern yang lainnya (Perwira, 2022).

2.1.2 Pengecoran Cetakan Permanen (*Permanent Mold Casting*)

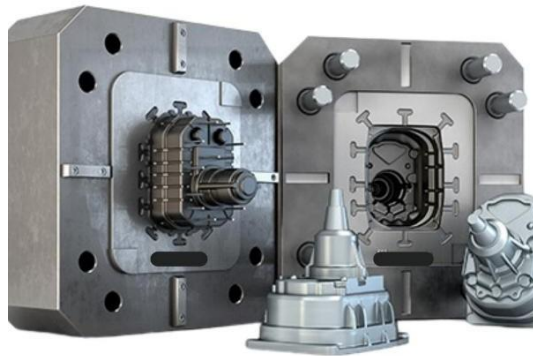


Gambar 2.3 Cetakan Permanen (Kevin, 2025)

Teknik pengecoran cetakan permanen memanfaatkan cetakan berbahan logam yang dirancang untuk penggunaan jangka panjang secara berulang. Dalam prosedurnya, logam cair dialirkan ke dalam cetakan yang telah dipanaskan sebelumnya, sehingga memicu laju pendinginan yang lebih cepat dibandingkan media pasir. Hasilnya, benda cor memiliki kepadatan struktur yang lebih baik, permukaan yang lebih halus, serta akurasi dimensi yang lebih tinggi. Karena

keunggulan sifat mekanisnya, metode ini menjadi pilihan utama dalam manufaktur komponen mesin, piston, dan roda dalam volume produksi menengah hingga besar (Alamsyah 2025).

2.1.3 Pengecoran Tekan (*Die Casting*)



Gambar 2.4 Pengecoran Tekan (Kdmfab, 2025)

Die casting atau pengecoran tekan merupakan teknik pengecoran yang mengandalkan tekanan tinggi untuk mendorong logam cair masuk ke dalam cetakan logam. Penggunaan tekanan ini untuk memastikan seluruh rongga cetakan terisi secara cepat dan juga secara presisi, sehingga produk yang dihasilkan memiliki akurasi dimensi serta kualitas permukaan yang baik. Karena kemampuannya menghasilkan barang secara cepat dengan kualitas yang stabil, metode ini menjadi standar dalam industri otomotif dan elektronik untuk pembuatan rangka mesin maupun alat rumah tangga. Meski investasi awal untuk cetakannya cukup besar, efisiensinya sangat optimal untuk kebutuhan produksi secara massal (Hanafi, 2021).

2.1.4 Pengecoran Lilin Hilang (*Investment Casting*)



Gambar 2.5 Pengecoran Lilin Hilang (GaryAlvis, 2019)

Metode *investment casting*, yang juga populer dengan sebutan *lost wax casting*, memanfaatkan pola lilin sebagai prototipe dasar sebelum dilapisi dengan material keramik. Proses pembentukan rongga cetakan dilakukan dengan cara mencairkan lilin yang telah mengeras di dalam lapisan keramik, kemudian diisi dengan logam cair. Teknik ini sangat diunggulkan dalam industri dirgantara, medis, dan pembuatan perhiasan karena kemampuannya menghasilkan komponen dengan presisi dimensi yang luar biasa serta permukaan yang sangat halus. Selain itu, metode ini menjadi solusi utama untuk menciptakan geometri rumit yang hampir mustahil dikerjakan dengan teknik pengecoran konvensional lainnya (Yani, 2021).

2.1.5 Pengecoran Sentrifugal (*Centrifugal Casting*)



Gambar 2.6 Pengecoran Sentrifugal (Unesa, 2025)

Metode pengecoran sentrifugal merupakan pengecoran yang memanfaatkan putaran cepat pada cetakan untuk menciptakan gaya tekan radial terhadap logam cair. Saat dituangkan, logam akan terdorong secara merata ke arah dinding cetakan yang sedang berotasi, sehingga sangat ideal untuk memproduksi benda-benda silindris seperti pipa, *bushing*, dan tabung. Keunggulan teknis sistem ini adalah terciptanya struktur material yang rapat dan minim porositas (rongga udara). Hal ini dikarenakan proses pemadatan di bawah pengaruh gaya sentrifugal menghasilkan sifat mekanik yang jauh lebih tangguh dibandingkan pengecoran statis (Alamsyah 2025).

2.2 Pengertian Pengecoran Logam *Non-Ferrous*



Gambar 2.7 Pengecoran Logam *Non-Ferrous* (Zeller, 2021).

Pengecoran logam *non-ferrous* adalah proses pembentukan logam yang tidak mengandung unsur besi atau yang biasa disebut (Fe) dengan beberapa komponen utamanya yaitu seperti aluminium, tembaga, kuningan, perunggu, seng, dan magnesium, dengan cara mencairkannya lalu menuangkannya ke dalam cetakan. Logam ini unggul karena tahan karat, ringan, dan konduktif (Prasetya, 2025). Adapun jenis-jenis dari logam *non-ferrous*, yaitu sebagai berikut:

2.2.1 Aluminium



Gambar 2.8 Aluminium (DETECH, 2024)

Aluminium (Al) termasuk logam *non-ferrous* yang banyak dimanfaatkan dalam industri pengecoran karena tidak menjadikan besi (Fe) sebagai unsur dominan serta memiliki kombinasi sifat yang menguntungkan. Logam ini mempunyai massa jenis sekitar $2,7 \text{ g/cm}^3$, sehingga tergolong ringan jika dibandingkan dengan baja. Dari sisi struktur, aluminium memiliki susunan kristal *Face-Centered Cubic* (FCC) yang dapat menyebabkan sifatnya menjadi ulet dan mudah dibentuk. Selain itu, aluminium secara alami membentuk lapisan oksida tipis (Al_2O_3) pada permukaannya yang berperan sebagai pelindung, sehingga meningkatkan ketahanannya terhadap korosi (Bethony, 2022).

2.2.2 Tembaga (*Copper / Cu*)



Gambar 2.9 Tembaga (*Copper / Cu*) (Said, 2024)

Tembaga (*Copper/Cu*) merupakan salah satu logam *non-ferrous* yang banyak digunakan dalam berbagai bidang industri karena tidak mengandung besi sebagai unsur utama serta memiliki sifat fisik yang sangat baik. Logam ini dikenal memiliki konduktivitas listrik dan termal yang tinggi, sehingga sangat efektif untuk digunakan sebagai penghantar energi. Selain itu, tembaga bersifat ulet dan mudah dibentuk, baik melalui proses pengecoran maupun pengerjaan mekanis lainnya. Tembaga juga memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi, terutama di lingkungan atmosfer, karena mampu membentuk lapisan pelindung alami pada permukaannya. Kombinasi sifat tersebut menjadikan tembaga banyak dimanfaatkan dalam aplikasi seperti kabel listrik, komponen elektronik, serta peralatan penukar panas (Vika 2025).

2.2.3 Magnesium (Mg)

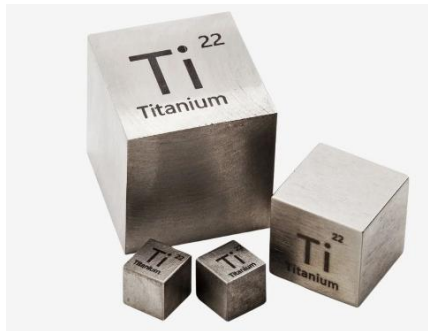


Gambar 2.10 Magnesium (Mg) (Jaya, 2021)

Magnesium (Mg) merupakan salah satu logam *non-ferrous* yang dikenal sebagai logam struktural paling ringan dan banyak dimanfaatkan dalam industri modern. Logam ini memiliki massa jenis yang rendah, yaitu sekitar 1,74 g/cm³, sehingga sangat cocok digunakan pada aplikasi yang membutuhkan pengurangan berat tanpa mengorbankan kekuatan. Magnesium juga memiliki rasio kekuatan

terhadap berat yang cukup tinggi serta kemampuan menyerap getaran yang baik. Dari segi proses manufaktur, magnesium relatif mudah dicor dan dikerjakan, meskipun memerlukan penanganan khusus karena sifatnya yang reaktif terhadap oksigen pada suhu tinggi. Selain itu, magnesium sering digunakan dalam bentuk paduan untuk meningkatkan sifat mekaniknya, sehingga banyak diaplikasikan pada industri otomotif, dirgantara, dan komponen elektronik (Irza, 2023).

2.2.4 Titanium (Ti)



Gambar 2.11 Titanium (Ti) (Kdmfab, 2025)

Titanium (Ti) merupakan logam *non-ferrous* yang banyak dimanfaatkan dalam industri karena memiliki kombinasi sifat mekanik dan ketahanan yang sangat baik. Logam ini dikenal memiliki kekuatan tinggi yang mendekati baja, namun dengan massa jenis yang lebih rendah sehingga tetap tergolong ringan. Selain itu, titanium memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, bahkan pada lingkungan ekstrem seperti air laut dan suhu tinggi, karena mampu membentuk lapisan oksida pelindung pada permukaannya. Secara struktur, titanium juga memiliki stabilitas yang baik pada temperatur tinggi, sehingga cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan panas. Dalam praktiknya, titanium sering digunakan dalam bentuk paduan untuk meningkatkan performa mekanik, sehingga banyak

diaplikasikan pada industri dirgantara, medis, serta komponen mesin berteknologi tinggi (Wahyudi, 2025).

2.2.5 Seng (*Zinc / Zn*)



Gambar 2.12 Seng (*Zinc / Zn*) (Dwi 2017).

Seng (*Zinc/Zn*) merupakan salah satu logam *non-ferrous* yang banyak dimanfaatkan dalam industri karena tidak mengandung unsur besi sebagai komponen utama serta memiliki sifat yang mendukung proses manufaktur. Logam ini memiliki titik leleh relatif rendah, sekitar 419 °C, sehingga mudah dilebur dan sangat cocok untuk proses pengecoran, khususnya metode *die casting*. Selain itu, seng memiliki ketahanan korosi yang baik karena mampu membentuk lapisan pelindung pada permukaannya, sehingga sering digunakan sebagai bahan pelapis (galvanisasi) untuk melindungi baja dari karat. Seng juga memiliki sifat mudah dibentuk dan stabil secara dimensi, sehingga banyak digunakan dalam pembuatan komponen otomotif, perlengkapan rumah tangga, serta produk industri lainnya (Implan 2021).

2.2.6 Timah (*Tin / Sn*)



Gambar 2.13 Timah (*Tin / Sn*) (Mahmut, 2023)

Timah (*Tin/Sn*) merupakan salah satu logam *non-ferrous* yang banyak digunakan dalam industri karena tidak mengandung unsur besi dan memiliki sifat fisik yang khas. Logam ini memiliki titik leleh yang relatif rendah, sekitar 232 °C, sehingga mudah dilebur dan sangat sesuai untuk proses pengecoran maupun dalam proses penyolderan. Timah bersifat lunak, ulet, serta memiliki ketahanan korosi yang baik karena mampu membentuk lapisan pelindung pada permukaannya. Selain itu, timah sering digunakan sebagai unsur paduan untuk meningkatkan sifat logam lain, seperti pada pembuatan perunggu (*bronze*). Dengan karakteristik tersebut, timah banyak dimanfaatkan dalam industri elektronik, pelapisan logam, serta berbagai aplikasi teknik lainnya (Asmawan, 2021).

2.2.7 Timbal (*Lead / Pb*)



Gambar 2.14 Timbal (*Lead / Pb*) (Also, 2026)

Timbal (*Lead/Pb*) merupakan logam *non-ferrous* yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena tidak mengandung unsur besi dan memiliki karakteristik fisik yang khas. Logam ini memiliki massa jenis yang tinggi, sehingga tergolong berat, namun bersifat lunak dan mudah dibentuk. Timbal juga memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi serta mampu meredam getaran dan radiasi, sehingga sering dimanfaatkan sebagai bahan pelindung. Selain itu, titik leleh timbal relatif rendah, yaitu sekitar 327 °C, sehingga mudah diproses dalam pengecoran. Dalam praktiknya, timbal banyak digunakan pada baterai, pelindung radiasi, serta komponen industri lainnya yang membutuhkan sifat kedinginan dan stabil terhadap lingkungan (Natakusuma, 2025).

2.2.8 Nikel (Ni)



Gambar 2.15 Nikel (Ni) (Kargoku, 2025)

Nikel (Ni) merupakan salah satu logam *non-ferrous* yang banyak dimanfaatkan dalam industri karena tidak mengandung unsur besi sebagai komponen utama dan memiliki sifat yang unggul. Logam ini dikenal memiliki ketahanan korosi yang sangat baik serta mampu mempertahankan kekuatan pada suhu tinggi, sehingga cocok untuk aplikasi di lingkungan ekstrim. Nikel juga memiliki sifat mekanik yang baik dan dapat meningkatkan kekuatan serta

ketahanan aus ketika digunakan sebagai unsur paduan dengan logam lain. Selain itu, nikel memiliki karakteristik permukaan yang stabil sehingga sering digunakan untuk proses pelapisan untuk melindungi material dari kerusakan. Dengan sifat-sifat tersebut, nikel banyak diaplikasikan pada industri turbin, pelapisan logam, serta pembuatan paduan khusus (*superalloy*) (Arfah 2025).

2.2.9 Paduan *Non-Ferrous (Alloy)*



Gambar 2.16 Paduan *Non-Ferrous (Alloy)* (Mart, 2023)

Paduan *non-ferrous (alloy)* merupakan material yang terbentuk dari pencampuran dua atau lebih unsur logam non-besi, atau kombinasi logam *non-ferrous* dengan unsur lain, dengan tujuan memperoleh sifat yang lebih unggul dibandingkan logam murninya. Proses paduan ini dilakukan untuk meningkatkan karakteristik seperti kekuatan mekanik, ketahanan terhadap korosi, kekerasan, serta kemampuan cor dan *machinability*. Contoh paduan *non-ferrous* yang umum digunakan antara lain kuningan (tembaga dan seng), perunggu (tembaga dan timah), serta berbagai paduan aluminium yang dikombinasikan dengan silikon, magnesium, atau tembaga. Dengan rekayasa komposisi tersebut, paduan *non-ferrous* banyak dimanfaatkan dalam industri pengecoran, otomotif, hingga

dirgantara karena mampu memenuhi tuntutan performa material yang lebih spesifik dan optimal (Suprpto dkk., 2025).

2.3 Karakteristik Logam Non-Ferrous



Gambar 2.17 *Non-Ferrous* (Jordan, 2023)

Logam *non-ferrous* merupakan kelompok logam yang tidak menggunakan besi (Fe) sebagai unsur utama dan memiliki ciri khas yang berbeda dari logam *ferrous*. Pada umumnya, logam ini memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi sehingga tidak mudah berkarat, serta massa jenis yang relatif rendah sehingga lebih ringan. Selain itu, logam *non-ferrous* dikenal memiliki daya hantar panas dan listrik yang tinggi, terutama pada jenis tertentu seperti tembaga dan aluminium. Sifat lainnya adalah tidak bersifat magnetik, serta mudah dibentuk dan dikerjakan baik melalui proses pengecoran maupun pembentukan mekanis. Dengan karakteristik tersebut, logam *non-ferrous* banyak digunakan dalam berbagai bidang industri seperti otomotif, elektronik, konstruksi, dan dirgantara (Putra dkk., 2025).

2.4 Fungsi Pengecoran Logam



Gambar 2.18 Fungsi Penghecoran logam (Sagita 2021).

Pengecoran logam berfungsi sebagai proses manufaktur untuk membentuk logam cair menjadi produk sesuai bentuk yang diinginkan dengan cara menuangkannya ke dalam cetakan, kemudian didinginkan hingga mengeras. Proses ini memungkinkan pembuatan komponen dengan bentuk yang kompleks, ukuran presisi, serta efisiensi material karena limbah dapat diminimalkan. Selain itu, pengecoran juga digunakan untuk memproduksi komponen dalam jumlah banyak, memperbaiki atau mendaur ulang logam, serta menghasilkan produk dengan sifat mekanik tertentu sesuai kebutuhan industri (Marshal, 2024).

2.5 Jenis-Jenis Tungku Pengecoran Logam

Tungku pengecoran logam memiliki berbagai jenis, yaitu sebagai berikut:

2.5.1 Tungku Krusibel (*Crucible Furnace*)



Gambar 2.19 Tungku Krusibel (Habiby, 2023)

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 (Habiby, 2023).

2.5.2 Tungku Kupola (*Cupola Furnace*)



Gambar 2.20 Tungku Kupola (Studi dkk., 2021)

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 (Maulidi 2023).

2.5.3 Tungku Induksi (*Induction Furnace*)



Gambar 2.21 Tungku Induksi (Syamudra, 2021)

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 (Fikri 2021).

2.5.4 Tungku Busur Listrik (*Electric Arc Furnace*)



Gambar 2.22 Tungku Busur Listrik (Studi dkk., 2021)

Tungku busur listrik adalah tungku yang menghasilkan panas dengan melalui loncatan busur listrik antara elektroda dengan material logam. Suhu yang dihasilkan sangat tinggi, bahkan dapat melebihi 3000°C , sehingga efektif untuk proses peleburan baja maupun logam dalam jumlah yang besar. Tungku ini banyak dimanfaatkan dalam industri baja, terutama untuk mengolah material *scrap* menjadi produk yang baru. Keunggulannya yaitu mampu mencapai suhu ekstrem dalam

waktu yang relatif singkat, namun di sisi lain membutuhkan konsumsi energi listrik yang besar serta sistem operasional yang cukup kompleks (Saputra, 2021).

2.5.5 Tungku *Reverberatory*



Gambar 2.23 Tungku *Reverberatory* (Futmetal, 2023)

Tungku *reverberatory* adalah jenis tungku dengan memanfaatkan pantulan panas dari bagian atap ruang bakar supaya dapat melelehkan logam tanpa kontak langsung antara bahan bakar dengan material yang sedang diproses. Dalam sistem ini, sumber panas dipisahkan dari logam sehingga dapat meminimalkan risiko kontaminasi. Tungku ini sering digunakan untuk peleburan aluminium maupun logam *non-ferrous* lainnya dalam jumlah yang cukup besar. Walaupun mampu menghasilkan kualitas logam cair yang baik, tungku ini memiliki efisiensi panas yang relatif rendah serta membutuhkan ruang instalasi yang cukup luas (Quiroz Cabascango dkk., 2021).

2.5.6 Tungku *Rotary* (*Rotary Furnace*)



Gambar 2.24 Tungku *Rotary* (Melting dkk., 2025)

Tungku *rotary* merupakan tungku dengan berbentuk silinder yang beroperasi dengan sistem mekanisme putaran selama proses peleburan berlangsung. Gerakan rotasi ini bertujuan untuk mencampur bahan agar merata sehingga menghasilkan peleburan yang lebih homogen. Tungku ini banyak digunakan dalam proses daur ulang logam, terutama material *scrap* dengan komposisi yang beragam. Sumber energi yang digunakan umumnya yakni berupa gas ataupun minyak. Meskipun memiliki keunggulan dalam homogenisasi material, tungku ini cenderung membutuhkan konsumsi bahan bakar lebih besar serta perawatan yang lebih kompleks (HAQ dkk., 2021).

2.5.7 Tungku Gas (*Gas-Fired Furnace*)



Gambar 2.25 Tungku Gas (Fransisco dkk ., 2024)

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 (Muhammad, 2023).

2.6 Pengertian Material Refraktori



Gambar 2.26 Material Refraktori (Firebird, 2025)

Material *refraktori* merupakan komponen yang sangat penting dalam konstruksi tungku yang fungsinya sebagai isolator panas dan juga sebagai pelindung struktur luar tungku dari temperatur yang tinggi. Material ini harus mampu menahan suhu yang tinggi, memiliki konduktivitas termal yang rendah, serta tahan terhadap perubahan suhu secara tiba-tiba (Feriadi Sidik dan Arief, n.d.). Ada beberapa jenis material refraktori yang umum digunakan yaitu:

2.6.1 Castable refractory cement



Gambar 2.27 Castable refractory cement (Krefractory, 2025)

Castable refractory cement merupakan salah satu jenis bahan *refraktori* berbentuk campuran kering dan tersusun dari agregat tahan panas, semen khusus tahan temperatur tinggi, serta beberapa bahan tambahan. Material ini pada umumnya digunakan sebagai pelapis pelindung pada peralatan industri yang beroperasi pada suhu yang tinggi, seperti tungku peleburan logam, kiln, *boiler*, maupun *incinerator*. Dalam penggunaannya, campuran tersebut dicampurkan dengan air hingga membentuk adonan yang dapat dicor atau dapat dibentuk sesuai kebutuhan. Setelah mengalami proses pengerasan, material tersebut akan membentuk lapisan monolitik yang mampu menahan temperatur yang tinggi dan melindungi struktur peralatan dari pengaruh panas langsung (Djafar, 2023).

Secara umum, komposisi *castable refractory cement* terdiri atas agregat *refraktori* seperti bauksit, alumina, atau *mullite* yang berfungsi sebagai komponen utama penyusun material. Selain itu, terdapat bahan pengikat berupa *calcium aluminat cement* yang berperan dalam proses pengerasan setelah pencampuran dengan air. Dalam campuran tersebut juga ditambahkan bahan aditif tertentu untuk meningkatkan kemampuan aliran, kekuatan mekanik, serta stabilitas material pada

suhu yang tinggi. Biasanya, agregat *refraktori* menyusun sekitar 60–70% dari keseluruhan komposisinya, sementara semen tahan api berfungsi sebagai pengikat yang menjaga kekuatan dan integritas struktur setelah material mengeras (Hafid, 2024).

2.6.2 Batu tahan api (*fire brick*)



Gambar 2.28 Batu Tahan Api (MartBoiler 2024)

Batu tahan api (*fire brick*) merupakan material *refraktori* yang dirancang untuk mampu bertahan pada temperatur yang sangat tinggi tanpa mengalami kerusakan pada struktur maupun perubahan sifat fisik yang signifikan. Material ini biasanya banyak digunakan sebagai lapisan pelindung pada berbagai peralatan industri dengan bersuhu tinggi seperti tungku peleburan logam, *furnace*, *kiln*, dan *boiler*. Fungsi utama batu tahan api adalah menahan maupun mengarahkan panas di dalam ruang pembakaran, melindungi bagian luar tungku dari paparan temperatur yang ekstrem, dan membantu menjaga kestabilan temperatur selama proses pemanasan itu berlangsung. Dengan kemampuan tersebut, batu tahan api berperan penting dalam meningkatkan efisiensi proses pemanasan dan menjaga keamanan peralatan industri yang bekerja pada kondisi temperatur yang tinggi (Algifarie, 2024).

Secara umum, batu tahan api dibuat dari mineral dengan titik lebur tinggi seperti alumina (Al_2O_3), silika (SiO_2), *magnesia*, maupun campuran tanah liat tahan api (*fire clay*). Kandungan material tersebut memberikan sifat ketahanan terhadap suhu yang tinggi, kekuatan mekanik yang baik, serta kemampuan menahan perubahan temperatur secara tiba-tiba yang dikenal sebagai *thermal shock resistance*. Selain itu, struktur pori yang dimiliki batu tahan api juga dapat meningkatkan kemampuan isolasi panas sehingga kehilangan energi dari dalam tungku dapat diminimalkan. Dalam aplikasi pengecoran logam, batu tahan api biasanya dipasang pada bagian dinding dalam tungku sebagai lapisan *refractori* (*refractory lining*) yang berfungsi menjaga panas hasil pembakaran, meningkatkan efisiensi termal, serta melindungi struktur baja tungku dari kerusakan akibat temperatur tinggi maupun reaksi kimia dengan logam cair (Pranaka, 2022).

2.6.3 Serat keramik (*ceramic fiber*)



Gambar 2.29 Serat Keramik (Weinstein, 2021)

Serat keramik (*ceramic fiber*) merupakan salah satu material *refractori* yang berbentuk serat halus memiliki kemampuan sangat baik dalam menahan temperatur yang tinggi. Material ini umumnya tersusun dari senyawa alumina (Al_2O_3) dan

silika (SiO_2) yang diproses melalui metode peleburan dan pembentukan serat hingga menghasilkan struktur yang ringan dan berpori. Karena memiliki konduktivitas panas yang rendah serta ketahanan terhadap suhu yang tinggi, serat keramik juga banyak dimanfaatkan sebagai bahan isolasi termal pada peralatan industri bersuhu tinggi, termasuk pada tungku yang digunakan dalam proses pengecoran logam. Dalam aplikasinya, serat keramik biasanya dipasang sebagai lapisan isolasi pada dinding atau penutup tungku untuk mengurangi kehilangan panas ke lingkungan sehingga efisiensi termal meningkat dan temperatur di dalam tungku dapat dipertahankan lebih stabil. Selain itu, material ini juga memiliki ketahanan yang baik terhadap kejutan termal serta stabilitas kimia pada lingkungan bersuhu yang tinggi, sehingga sering digunakan bersamaan dengan material *refraktori* lain seperti batu tahan api dan *castable refractory cement* guna meningkatkan kinerja isolasi panas dan memperpanjang umur pakai pada tungku (Hartawan 2022).

2.7 Kapasitas Tungku dan Temperatur Operasi



Gambar 2.30 Tungku Kapasitas 6KG (Fireassay, 2020)

Kapasitas tungku menggambarkan jumlah logam yang dapat dilebur dalam satu kali proses peleburan. Pada penelitian ini digunakan tungku dengan kapasitas 6 kg karena kapasitas tersebut dinilai sesuai untuk kegiatan pada skala laboratorium maupun industri pengecoran berskala kecil. Penggunaan kapasitas yang tidak terlalu besar memungkinkan penyebaran panas di dalam ruang tungku menjadi lebih merata serta memudahkan pengaturan dan pengendalian temperatur selama proses peleburan berlangsung. Selain itu, temperatur operasi maksimum sebesar 1100 °C diperlukan agar logam *non-ferrous* dapat meleleh dengan sempurna sekaligus untuk mengatasi kehilangan panas yang terjadi selama proses pemanasan. Temperatur yang lebih tinggi dari titik lebur logam juga berfungsi menjaga tingkat fluiditas logam cair sehingga proses penuangan ke dalam cetakan dapat dilakukan dengan lebih baik. Beberapa penelitian mengenai pengembangan tungku peleburan skala kecil menunjukkan bahwa tungku dengan kapasitas yang lebih kecil cenderung memiliki efisiensi energi yang lebih baik dan lebih sesuai digunakan untuk kebutuhan peleburan logam dalam jumlah terbatas pada kegiatan penelitian maupun industri kecil (Idris dkk., 2025).