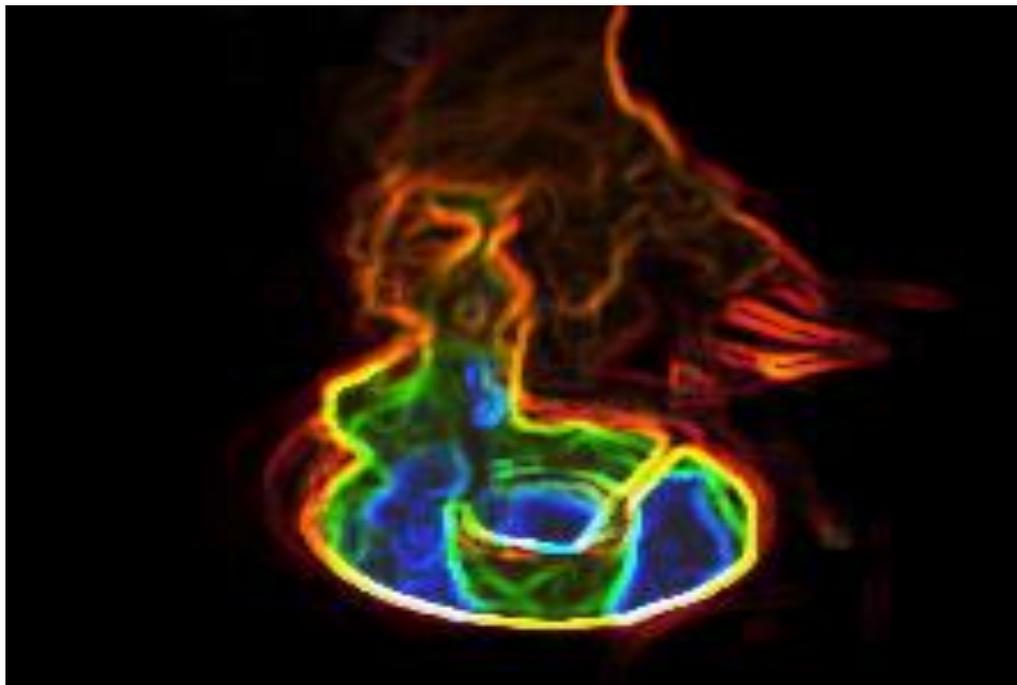


SERI PENGECORAN LOGAM

TEKNIK DASAR PELEBURAN LOGAM



Disusun oleh:
Achmad Sambas
Casiman Sukardi
Reza Yadi Hidayat



2024

SERI PENGECORAN LOGAM
Teknik Dasar Peleburan Logam

Penulis :
Achmad Sambas, ST. MT
Casiman Sukardi, ST, MT
Reza Yadi Hidayat, ST. MT

Editor :
Reza Yadi Hidayat, ST., MT.

Perancang Sampul :
Casiman Sukardi ST, MT

Penata Letak :
Achmad Sambas, ST. MT

Cetakan Pertama :
Tahun 2024

Penerbit
POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANDUNG
Jalan Kanayakan Nomor 21 Dago, Bandung
Telepon : 022-2500241
surel : sekretariat@polman-bandung.ac.id

ISBN : xxxxxxxxxxxxxxxx
ukuran B5, 17x23 cm
110 halaman

Hak Cipta dilindungi undang-undang
All rights reserved

Dilarang memproduksi buku ini, baik sebagian atau seluruhnya, dalam bentuk dan tujuan apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar

Daftar Isi

BAB 1 PELEBURAN LOGAM

- 1.1 Proses Penuangan Logam
- 1.2 *Sejarah Penuangan Logam*
- 1.3 Klasifikasi Bahan Peleburan

BAB 2 ALAT PELEBUR

- 2.1 Tanur induksi
- 2.2 Tanur krusibel
- 2.3 Tanur Busur Api
- 2.4 Peralatan Penunjang Lainnya alat ukur

BAB 3 TEKNIK Peleburan ALUMINIUM dg KRUSIBEL

- 3.1 Bahan baku
- 3.2 Operasi dg tanur induksi
- 3.3 Metoda Perlakuan Cairan Aluminium
- 3.4 Kontrol Kualitas

BAB 4 teknik peleburan BESI dg KUPOLA

- 4.1 Bahan baku
- 4.2 Operasi dg tanur krusibel
- 4.3 Kontrol kualitas
- 4.4 *Trouble shooting*

BAB 5 teknik peleburan BAJA dg INDUKSI

- 5.1 Bahan baku
- 5.2 Operasi dg tanur Induksi
- 5.3 Kontrol kualitas
- 5.4 *Trouble shooting*

BAB 6 teknik penuangan

- 6.1 Ladel Penuang
- 6.2 Teknik Penuangan

BAB 7 Lining ang Sintering

- 7.1 Refraktori
- 7.2 Re-Lining Tanur Induksi
- 7.3 Sintering Tanur Induksi

BAB 8 AKTIFITAS PEMBELAJARAN dan LATIHAN

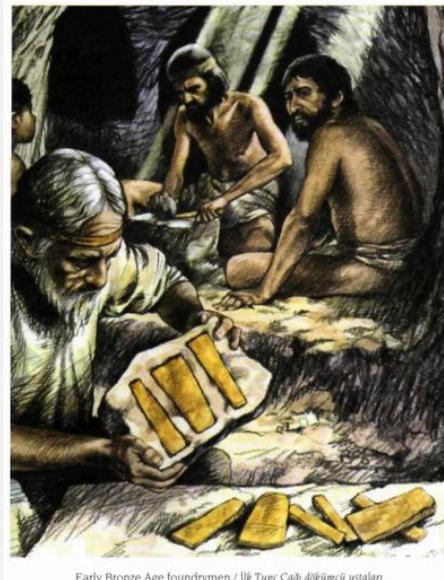
- 8.1 Aktifitas Pembelajaran
- 8.2 Lembar Kerja
- 8.3 Latihan 1. Klasifikasi Bahan
- 8.4 Latihan 2. Operasi Peleburan Tanur Krusibel
- 8.5 Latihan 3. Operasi Peleburan Tanur Induksi
- 8.6 Latihan 4. Teknik Pengambilan sampel
- 8.7 Latihan 5. Teknik Penuangan
- 8.8 Latihan 6. Teknik Relining Tanur Induksi
- 8.9 Latihan 7. Teknik Sintering Tanur Imduksi

Daftar Pustaka

BAB 1 PENGECORAN LOGAM

Proses Pengecoran (*casting*) adalah suatu proses manufaktur pembuatan produk, dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli produk, lalu dibiarkan hingga membeku, selanjutnya dikeluarkan dari cetakannya.

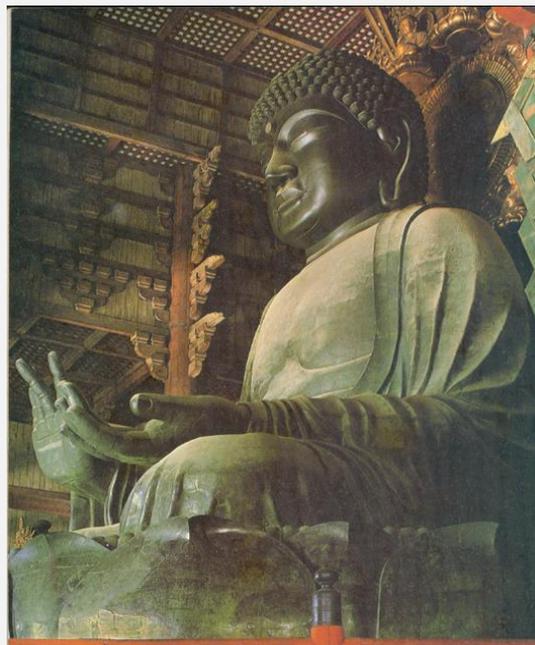
Proses pembuatan produk dengan cara tersebut merupakan proses yang sudah ada sejak jaman prasejarah.



Gambar 1.1. Cetakan di jaman Perunggu. [9]

Coran tertua berupa gadis penari (*dancing girl bronze*) yang terbuat dari bahan perunggu setinggi 11 cm yang ditemukan di *Mohen-jo-daro* (sekitar 3000 SM). Sisa-sisa peradaban Harappa berisi tempat pembakaran untuk peleburan batangan tembaga, alat pengecoran, cetakan batu, ornamen cor, arca dan barang-barang lain terbuat dari tembaga, emas, perak dan timah. Besi disebutkan dalam Weda sebagai ayas, dan besi pilar, panah, kait, paku, mangkuk, dan belati bertanggal 2000 SM atau sebelumnya telah ditemukan di Delhi, Roopar, Nashik dan tempat lainnya.

Di luar India, pengecoran tertua yang ditemukan adalah *katak tembaga* bertanggal 3200 SM di Mesopotamia. Salah satu benda besi cor pertama, *tripod* seberat 270 kg, yang telah dibuat oleh orang Cina 600 SM. Sebuah patung kolosal *Buddha Agung* dari perunggu timah diselesaikan pada tahun 1252 AD di Kamakura di Jepang. Teknologi pengecoran dipindahkan dari India dan Timur Tengah ke Eropa melalui penjelajah Portugis pada abad ke-14, dan kemudian berkembang sebagai benda seni.



Gambar 1.2. Dancing girl, frog, tripod, dan patung Budha. [6]

Saat ini, proses pengecoran semakin berkembang. Lebih jauh pengecoran logam tersebut tidak hanya membuat perkakas atau benda seni, namun sudah masuk ke produk rekayasa di hampir semua sektor, seperti otomotif, pertanian, pertambangan, perminyakan, energi, kesehatan dan sebagainya.

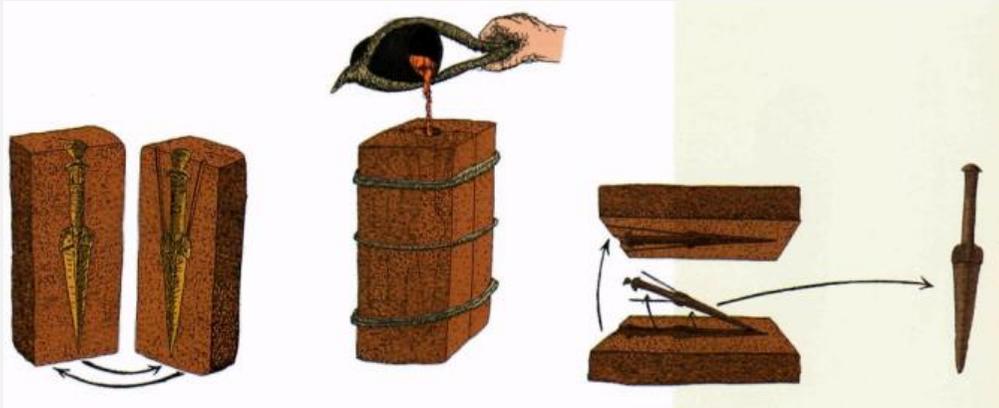


Gambar 1.5 Contoh produk coran . [21]

Salah satu metode cetakan yang termasuk dalam kelompok *expendable mold* ialah metode cetakan pasir atau dikenal dengan **Sand Casting**). Dalam metode tersebut, cetakan hanya bisa digunakan satu kali pengecoran saja. Setelah itu cetakan tersebut dihancurkan saat pengambilan benda coran.

1.1 Proses Penuangan Logam

Beberapa teknik kuno metode penuangan cetakan sudah banyak ditemukan di jaman dahulu.



Gambar 1.3. Cetakan untuk pisau belati. [9]

Gambar 1.3. menunjukkan ilustrasi kuno proses penuangan cetakan untuk membuat sebuah belati, dengan menggunakan sepasang cetakan permanen (permanen mold) terbuat dari batu. Cetakan dapat digunakan berulang kali.

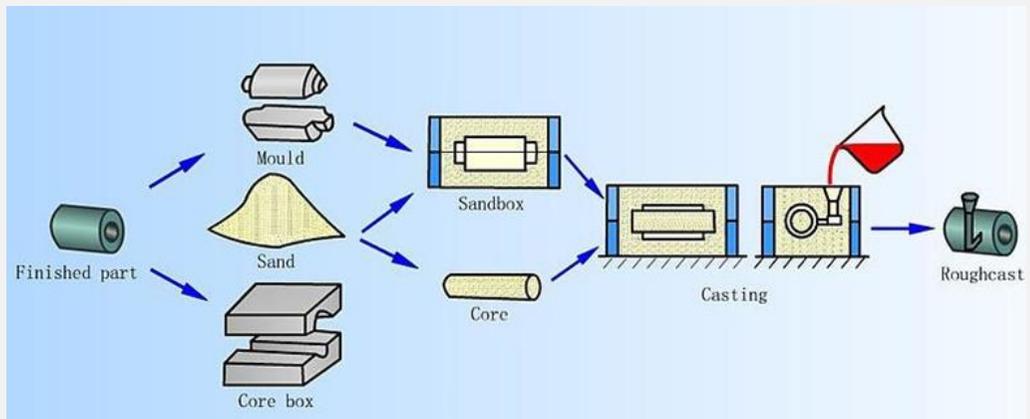


Gambar 1.4. Cetakan untuk patung/ benda seni. [9]

Gambar 1.4. menunjukkan ilustrasi kuno proses penuangan cetakan untuk membuat sebuah patung (benda seni) dengan menggunakan metode cetakan sekali pakai (*expendable mold*). Dalam proses tersebut, produk dikeluarkan dengan cara

cetakannya dipecahkan dan dibuang. Untuk membuat kembali produk yang sama, diperlukan cetakan baru.

Tahapan proses tersebut mulai dari persiapan pasir, pembuatan inti (jika diperlukan), pembuatan cetakan, peleburan bahan logam, penuangan, pembekuan/ pendinginan, pengeluaran produk dari cetakan, pembersihan dan inspeksi hingga menghasilkan produk jadi.



Gambar 1.8. Ilustrasi aliran Proses Pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir. [5]

Proses peleburan logam yang umumnya melibatkan langkah-langkah berikut secara singkat:

1. Menentukan rasio komposisi campuran logam
2. Mempersiapkan dan memuat logam
3. Mencairkan logam
4. Memurnikan dan mengolah logam cair
5. Mengangkut dan menuang logam cair

Menentukan material, dengan menentukan rasio komposisi Unsur.

Setiap material logam pengecoran membutuhkan sifat mekanik logam yang berbeda yang dapat diubah dengan menyesuaikan rasio campuran logam. Produsen pengecoran memiliki formula untuk pencampuran logam sesuai dengan kelas material dan persyaratan tertentu. Misalnya, rasio pencampuran material untuk pengecoran komponen aluminium adalah 40% Aluminium Ingot + 50% Aluminium Scrap + 10% lainnya. Di mana 10% lainnya adalah beberapa bahan aditif seperti paduan Zn, Mn, Cu, Si, dll.

Mempersiapkan dan memuat bahan logam.

Batangan dan *scrap metal* merupakan komposisi material utama yang digunakan dalam proses peleburan yang mengambil hingga 80% dari rasio pencampuran.

Sebelum dimasukkan ke dalam tungku, batangan dan *scrap metal* (kaleng, suku cadang mesin bekas, wadah, atau pelapis) perlu dibersihkan dari kotoran serta dipanaskan terlebih dahulu dan dikeringkan. Langkah ini dilakukan untuk menghilangkan kelembapan, mencegah kemungkinan eksplorasi di tungku, membatasi pembentukan terak, dan meningkatkan kapasitas peleburan.

Khusus untuk *scrap metal*, diperlukan penghilangan cat, oli mesin, dan kontaminan lainnya, biasanya melalui proses termal.

Mencairkan logam

Tungku diisi dengan menambahkan sumber bahan bakar (arang, gas alam, listrik). Logam terus menerus dimuat ke dalam tungku dalam proses pemanasan, bukan secara batch, untuk menghemat konsumsi energi dan efektivitas kerja.

Tungku beroperasi di lingkungan yang sangat ekstrim di mana logam cair, lapisan tungku, gas atmosfer, dan produk dari pembakaran bahan bakar berada pada suhu yang sangat tinggi yang memerlukan peralatan perlindungan yang ketat bagi pekerja. Tungku hadir dalam berbagai ukuran, bentuk, prinsip kerja, dan energi sehingga kapasitas peleburan setiap tungku berbeda dari yang lain.

Pada titik leleh yang tetap, logam berubah dari padat menjadi cair. Titik leleh bervariasi dari logam ke logam, berkisar antara sekitar 350oC hingga 2000oC.

Memurnikan dan mengolah cairan

Proses ini bertujuan untuk menghilangkan gas dari lelehan, membuang padatan yang tidak diinginkan, dan menyesuaikan komposisi paduan seperti yang diharapkan. Bahan aditif terutama beberapa paduan untuk meningkatkan sifat mekanis logam cair (kekuatan, keuletan, kekakuan, elastisitas).

Langkah ini sangat penting karena dapat mempengaruhi kualitas pengecoran akhir.

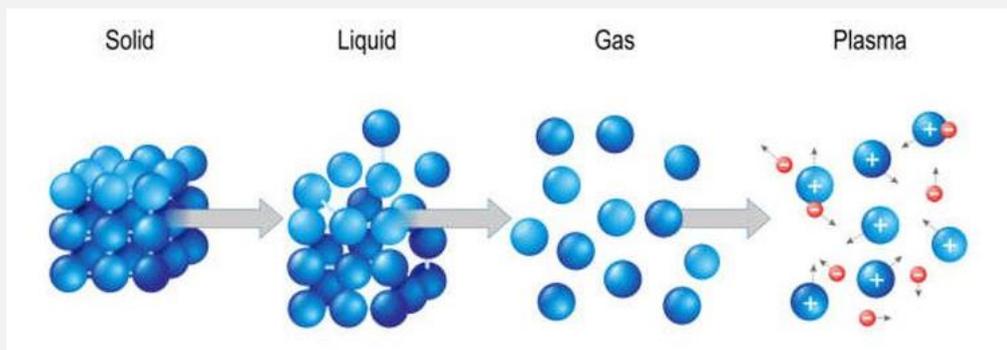
Mengangkut dan menuang logam cair

Setelah mencair, cairan cair dipindahkan dari tungku ke area pengecoran dengan ladai penuang.

1.2 Peleburan Logam

Peleburan logam adalah proses yang mengubah logam dari bentuk padat menjadi bentuk cair. Peleburan, juga disebut fusi, adalah proses transisi yang mengubah status material logam dari jenis padat menjadi jenis cair. Dalam proses tersebut diperlukan energi berupa panas/ kalor yang cukup.

Proses peleburan logam melonggarkan pengepakan molekul logam yang rapat. Hasilnya, peleburan menghasilkan cairan logam dari material padat. Molekul-molekul dalam zat padat tersusun rapat atau mereka mempunyai kepadatan yang tinggi, sehingga tidak banyak bergerak. Pada zat cair, partikel-partikelnya tersusun lebih longgar dan memiliki kemampuan untuk bergerak atau mengalir melewati satu sama lain. Bentuk zat cair tidak menentu sehingga dengan mudah menyesuaikan atau mengikuti bentuk wadah tempat ia ditampung.



Peleburan logam murni dan padat terjadi pada suhu tetap tertentu yang disebut **titik leleh** sedangkan material logam tidak murni, meleleh pada suhu berbeda yang bervariasi tergantung pada jenis dan persentase pengotor.

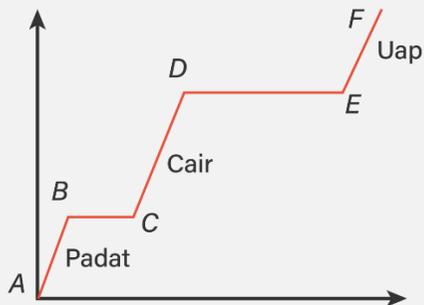
Sebagai jantung dari pengecoran, proses peleburan logam menyediakan cairan cair yang dapat digunakan untuk dituangkan ke dalam cetakan dan dipadatkan menjadi berbagai bentuk sesuai kebutuhan. Peleburan logam adalah pekerjaan yang

menghabiskan banyak energi yang mencakup 55% dari konsumsi energi industri pengerjaan logam.

Ini adalah langkah yang sangat penting karena peleburan logam tidak hanya menyediakan material untuk proses pengecoran tetapi juga sangat memengaruhi sifat fisik dan kimia produk pengecoran akhir.

Titik lebur logam

Sebagian besar logam yang ada di bumi memiliki wujud normalnya sebagai padatan. Namun, dalam industri pengerjaan logam, terutama pengecoran logam dan metalurgi, logam perlu dicairkan untuk menghasilkan produk baru. Untuk mencairkan logam, logam perlu dipanaskan hingga mencapai titik leburnya.



Oleh karena itu, sama pentingnya dengan cara melelehkan logam untuk mengetahui suhu leleh zat. Hal ini membuat proses pengecoran logam menjadi lebih sederhana. Para ahli dapat menghitung waktu pencetakan, peleburan, dan pembekuan produk pengecoran secara akurat. Hal ini membantu produksi yang tidak efisien, sekaligus memberikan solusi cadangan yang diperlukan untuk pekerjaan Anda guna menangani keadaan darurat.

Apa itu titik leleh?

Titik leleh, yang juga dikenal sebagai suhu pencairan, adalah suhu saat proses pencairan logam padat berlangsung. Ini adalah titik saat logam berubah dari fase padat menjadi fase cair. Titik leleh bervariasi dari satu logam ke logam lainnya.

Dalam praktiknya, titik leleh dianggap relatif. Titik leleh tidak sensitif terhadap tekanan. Beberapa zat amorf seperti kaca tidak memiliki titik leleh yang tetap.

Metal	melting point (° C)	melting point (°F)
Lead	327.5	621
Magnesium	650	1200
Aluminum	660.32	1220.58
Aluminum Alloy	463 – 671	865 – 1240
Iron, Gray Cast	1127 – 1204	2060 – 2200
Iron, Ductile	1149	2100
Carbon Steel	1425 – 1540	2600 – 2800
Iron, Wrought	1482 – 1593	2700 – 2900
Stainless Steel	1510	2750

Logam manakah yang memiliki titik leleh tertinggi?

Volfram (W), yang dikenal sebagai Tungsten, adalah logam dengan titik leleh tertinggi (3.422°C; 6.192°F), tekanan uap terendah (pada suhu di atas 1.650°C, 3.000°F) dan kekuatan tarik tertinggi.

Logam yang paling mudah dicairkan

Hingga saat ini, logam dengan titik leleh terendah adalah merkuri dengan titik leleh – 38,830C. Ini adalah satu-satunya logam di bumi dalam keadaan cair pada suhu dan tekanan kimia standar yang normal.

Saat ini, aplikasi utama merkuri adalah untuk digunakan sebagai termometer, tekanan, manometer, katup pelampung, sakelar merkuri, dll.

Titik lebur besi dan baja

Besi merupakan logam yang paling banyak digunakan di dunia saat ini, yang mencakup 95% dari total produksi logam tahunan.

Besi murni bersifat lunak dan fleksibel. Namun, jika ditambahkan komponen karbon sebesar 0,002% – 2,1%, akan terbentuk paduan baja dengan kekerasan, keuletan, dan daya dukung yang luar biasa.

Besi memiliki titik lebur 1538°C, sedangkan baja adalah 1370°C. Saat ini, besi dan baja merupakan dua logam yang banyak digunakan dalam bidang manufaktur mekanik, industri otomotif, pembuatan kapal, konstruksi, dan lain-lain.

Titik lebur aluminium

Aluminium memiliki titik lebur 933,47K (660,32 °C; 1220,58 °F). Titik lebur aluminium tidak tinggi dibandingkan dengan logam lainnya.

Dalam tabel periodik, aluminium dilambangkan dengan Al; Nomor atom 13, massa jenis 2,9 g/cm³. Aluminium ringan, lunak, dan memiliki ketahanan korosi yang sangat baik serta mudah dicor. Aluminium merupakan logam yang paling umum di kerak bumi. Pengecoran aluminium banyak digunakan dalam detail mesin, mesin, dan dekorasi eksterior perkotaan.

1.3 Klasifikasi Bahan Logam

Pasir cetak *green sand* dibuat melalui pencampuran beberapa bahan yaitu pasir kuarsa sebagai bahan utama, kemudian ditambah bentonit dan air sebagai bahan perekatnya, serbuk jelaga/ arang dan beberapa bahan khusus yang ditambahkan untuk memperbaiki sifat.

BAB 2 ALAT PELEBURAN

2.1 Teknologi Tungku pelebur

Inti dari proses peleburan logam bergantung pada tungku peleburan yang secara langsung melibatkan dan memengaruhi efektivitas proses peleburan. Ada berbagai teknologi peleburan yang mempengaruhi cara peleburan logam dan ditentukan oleh tungku mana yang digunakan.

Sejarah tungku pemanas sudah ada sejak ribuan tahun lalu, dan evolusi teknologi pemanas telah menjadi perjalanan inovasi dan kemajuan yang menarik. Berikut ini adalah ikhtisar singkat tentang sejarah tungku pemanas.

- 1) **Tungku Kuno:** Tungku yang paling awal dikenal adalah perapian terbuka sederhana atau perapian yang digunakan oleh peradaban kuno untuk pemanasan dan memasak. Tungku awal ini sering kali dibuat dengan batu, tanah liat, dan bahan lokal lainnya.
- 2) **Sistem Hipokaust Romawi:** Bangsa Romawi kuno mengembangkan sistem pemanas canggih yang dikenal sebagai hipokaust. Sistem ini menggunakan kombinasi udara panas dan uap untuk memanaskan lantai dan dinding bangunan, sehingga menyediakan bentuk pemanas sentral untuk rumah pemandian dan vila.
- 3) **Tungku Abad Pertengahan:** Pada Abad Pertengahan, pemanas batu bata dan cerobong asap menjadi lebih umum di rumah-rumah Eropa. Tungku ini dibuat dengan batu atau bata dan memiliki desain rumit yang membantu memancarkan panas ke ruang keluarga.
- 4) **Kemajuan Abad ke-18:** Abad ke-18 menyaksikan munculnya kompor besi cor dan solusi pemanas yang lebih efisien. Inovasi seperti Tungku Franklin, yang dirancang oleh Benjamin Franklin, meningkatkan pemanasan dalam ruangan

dengan mengarahkan lebih banyak panas ke dalam ruangan dan lebih sedikit ke cerobong asap.

- 5) **Revolusi Industri:** Revolusi Industri membawa kemajuan signifikan dalam teknologi pemanas. Pengembangan besi cor dan perbaikan teknik produksi menghasilkan tungku yang lebih efisien dan bertenaga.
- 6) **Tungku Abad ke-19:** Pada abad ke-19, sistem pemanas sentral mulai populer, terutama di gedung-gedung besar dan rumah-rumah mewah. Sistem pemanas berbasis uap dan radiator air panas diperkenalkan untuk mendistribusikan panas secara lebih efektif.
- 7) **Modernisasi Abad ke-20:** Abad ke-20 menandai munculnya sistem pemanas udara paksa. Tungku gas dan minyak dengan sistem distribusi udara paksa menjadi norma untuk pemanas rumah tangga dan komersial, yang menyediakan penyaluran panas yang lebih cepat dan lebih efisien.
- 8) **Fokus Efisiensi Energi:** Dimulai pada paruh kedua abad ke-20, terdapat penekanan yang semakin besar pada efisiensi energi dan masalah lingkungan. Hal ini mengarah pada pengembangan tungku efisiensi tinggi dengan insulasi yang lebih baik, sistem pembakaran tertutup, dan penukar panas yang canggih.
- 9) **Teknologi Digital dan Cerdas:** Pada abad ke-21, teknologi digital dan cerdas mulai terintegrasi ke dalam sistem tungku. Termostat yang dapat diprogram, termostat cerdas, dan sistem otomasi rumah memungkinkan pengguna untuk mengontrol dan mengoptimalkan pemanas dari jarak jauh.
- 10) **Integrasi Energi Terbarukan:** Seiring dengan meningkatnya kekhawatiran tentang perubahan iklim dan keberlanjutan energi, semakin banyak pula minat untuk mengintegrasikan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan pompa panas bumi ke dalam sistem pemanas.

Sepanjang sejarah, tungku pemanas telah berevolusi dari api terbuka biasa menjadi sistem pemanas yang kompleks dan efisien yang memberikan kenyamanan bagi rumah dan bangunan di seluruh dunia. Fokus pada efisiensi energi, dampak lingkungan, dan teknologi pintar terus membentuk pengembangan solusi pemanas di era modern.

Cara memilih tungku peleburan

Tungku peleburan sangat memengaruhi tidak hanya efektivitas operasional pabrik pengecoran tetapi juga hasil pengecoran akhir, oleh karena itu sangat penting untuk mempertimbangkan teknologi tungku mana yang harus diterapkan.

Seperti yang Anda ketahui bahwa tungku peleburan logam bervariasi dalam bentuk, geometri, bahan bakar, dan kapasitas.

Faktor-faktor di bawah ini secara ketat menentukan tungku peleburan mana yang sesuai dengan operasi pabrik pengecoran Anda.

- Ketersediaan ruang:
- Jenis paduan yang akan dilebur dan titik leburnya
- Kapasitas peleburan dan jumlah logam
- Efisiensi energi
- Investasi modal
- Biaya Operasional
- Persyaratan perawatan
- Masalah emisi dan lingkungan

Tentu saja, tidak ada satu pilihan yang cocok untuk semua, tetapi produsen pengecoran harus mempertimbangkan kriteria mana yang lebih penting daripada yang lain. Setiap pengecoran logam akan memiliki kriteria prioritas mereka sendiri untuk memilih tungku peleburan yang sesuai dengan permintaan dan skala produksi mereka.

Setelah mengklarifikasi pertimbangan ini, langkah kedua adalah memilih tungku yang sesuai dengan pengecoran Anda. Di sini kami memilah tungku peleburan paling populer di pengecoran logam saat ini. Mari kita periksa



Tungku Kupola



Tungku Busur Api (EAF)



Tungku Induksi

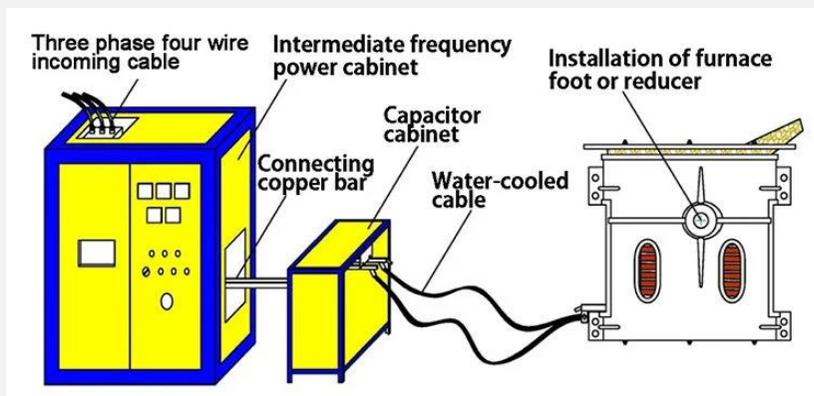


Tungku Krusibel

2.1 Tungku/ Tanur Induksi

Perkembangan tungku induksi diawali dengan ditemukannya prinsip induksi elektromagnetik. Proses ini pertama kali ditemukan pada tahun 1831 oleh **Michael Faraday**. Selama induksi, arus listrik dialirkan melalui kumparan logam yang menciptakan medan magnet. Ketika logam dimasukkan ke dalam medan magnet, arus listrik mengalir melalui logam dan menyebabkannya memanaskan.

Akan tetapi, baru pada akhir tahun 1870-an, *De Ferranti* di Eropa mulai melakukan percobaan pada tungku induksi. Tungku induksi pertama untuk melelehkan logam dipatenkan oleh *Edward Allen Colby* sekitar tahun 1900. Penggunaan praktis pertama Tungku induksi dilakukan oleh *Kjellin* di Gysinng, Swedia pada tahun 1900. Baja pertama dibuat dalam Tungku Induksi di Amerika Serikat pada tahun 1907 di tungku Colby dekat Philadelphia. Tungku induksi pertama untuk aplikasi 3 fase dibuat di Jerman pada tahun 1906 oleh *Rochling-Rodenhauser*.



Prinsip dasar pemanasan induksi telah dipahami dan diterapkan pada manufaktur sejak tahun 1920-an. Selama Perang Dunia II, teknologi ini berkembang pesat untuk memenuhi kebutuhan mendesak di masa perang akan proses yang cepat dan andal untuk membuat komponen logam pada mesin. Baru-baru ini, fokus pada teknik manufaktur yang efisien dan

penekanan pada peningkatan kontrol kualitas menyebabkan penemuan kembali teknologi induksi, seiring dengan pengembangan catu daya induksi solid state yang dikontrol secara presisi.

Bagaimana cara kerja tungku induksi?

Prinsip pemanasan induksi terutama didasarkan pada dua fenomena fisika yang terkenal, yaitu induksi elektromagnetik dan efek joule:

1. Induksi elektromagnetik

Transfer energi ke objek yang akan dipanaskan terjadi melalui induksi elektromagnetik. Setiap bahan konduktif listrik yang ditempatkan dalam medan magnet variabel adalah lokasi arus listrik induksi, yang disebut arus eddy, yang pada akhirnya akan menyebabkan pemanasan joule.

2. Efek Joule

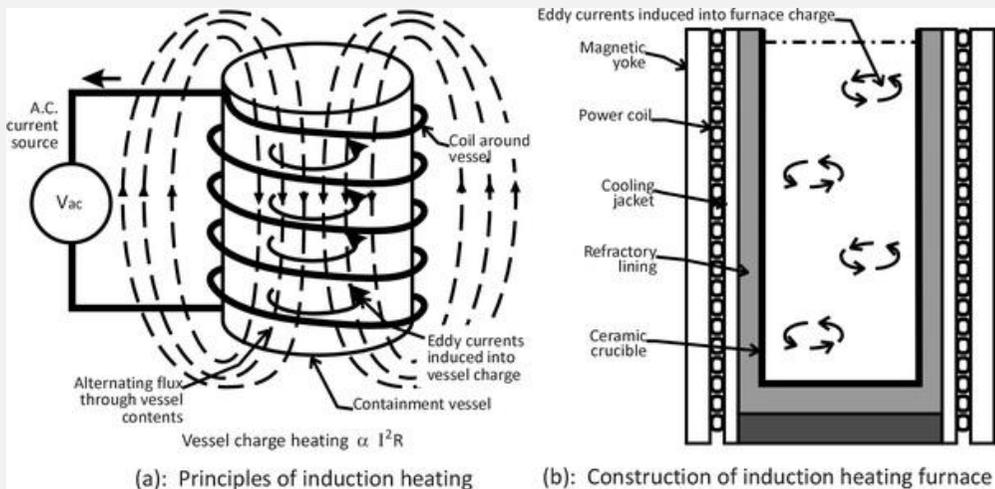
Pemanasan Joule adalah efek fisik yang dihasilkan oleh aliran arus listrik melalui konduktor listrik dengan menghasilkan energi termal. Energi termal ini kemudian dibuktikan melalui peningkatan suhu bahan konduktor, sehingga muncul istilah "pemanasan". Pemanasan Joule dapat dilihat sebagai transformasi antara "tenaga listrik" dan "energi termal", mengikuti prinsip kekekalan energi.

Prinsip kerja tungku induksi didasarkan pada prinsip induksi elektromagnetik. Material dipanaskan oleh medan magnet bolak-balik yang dihasilkan oleh arus bolak-balik pada kumparan induksi.

Pertama, ketika arus bolak-balik melewati kumparan induksi, medan magnet bolak-balik dihasilkan di sekitar kumparan. Medan magnet bolak-balik ini akan menembus material di badan tungku dan menghasilkan potensial listrik induksi

di dalam material. Karena material bersifat konduktif, potensial induksi akan membentuk arus induksi di dalam material, yaitu **arus eddy**.

Ketika arus eddy mengalir di dalam material, arus tersebut akan terhalang oleh resistansi, sehingga menghasilkan panas. Panas ini merupakan sumber panas yang memanaskan atau melelehkan material. Kecepatan pemanasan dan suhu dapat dikontrol dengan mengatur frekuensi, tegangan, dan intensitas arus.



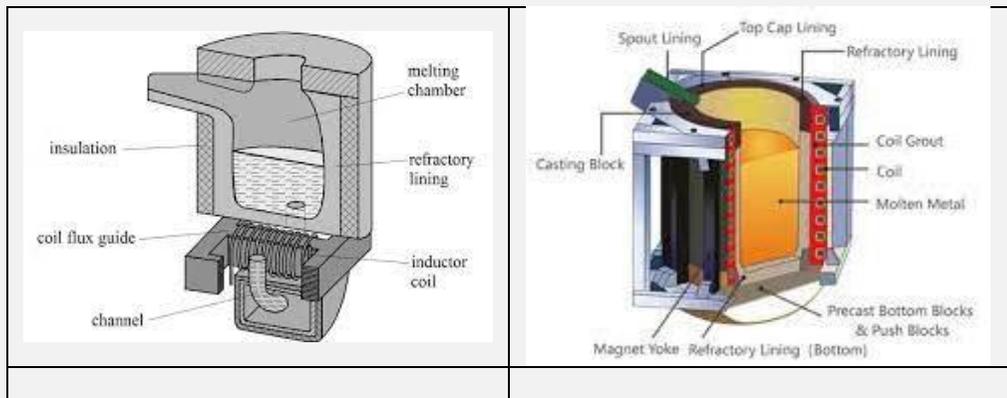
Perlu dicatat bahwa tungku induksi hanya dapat memanaskan material konduktif, seperti logam. Untuk material non-konduktif, seperti kaca, keramik, dan lain-lain, tungku induksi tidak dapat memanaskannya.

Logam dimasukkan ke dalam wadah peleburan yang dikelilingi oleh kumparan kawat tembaga yang membawa arus listrik bolak-balik. Begitu tungku induksi dinyalakan, kumparan tersebut menciptakan medan magnet yang berbalik arah dengan cepat yang menembus logam. Medan magnet tersebut menciptakan arus eddy, arus listrik melingkar yang mengalir di dalam logam. Akibatnya, sirkulasi arus ini menciptakan suhu yang sangat tinggi yang melelehkan logam.

Jenis tungku induksi

Secara umum tanur induksi terdiri dari 2 jenis yaitu:

- Tanur induksi jenis saluran, yang digunakan sebagai holding furnace (hanya berfungsi untuk menahan temperatur cairan agar tidak turun).
- Tanur induksi jenis krus, yang digunakan sebagai tanur peleburan.



Gb 2. Potongan melintang tanur induksi jenis saluran¹ & jenis krus²

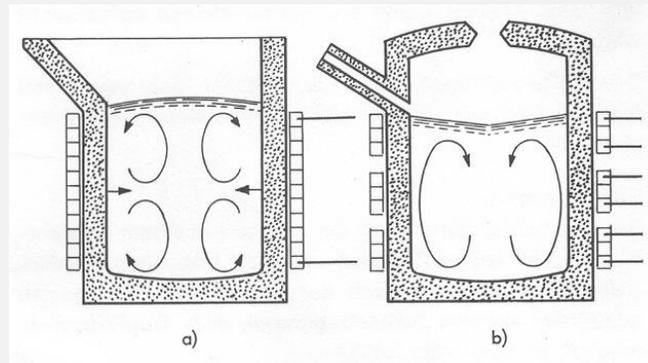
Prinsip pemanasan tanur induksi jenis saluran adalah pemanasan hanya dilakukan pada bagian saluran cairan. Bahan cair yang panas akan bergerak keatas, sedangkan bahan cair yang dingin bergerak kebawah mengisi saluran. Dengan demikian cairan didalam tanur akan mengalami sirkulasi.

Dengan demikian cairan didalam tanur akan mengalami sirkulasi.

Pada tanur induksi frekuensi jala-jala (50 Hz), mengingat dimensi bahan baku minimumnya sedemikian besar, maka peleburan pertama selalu dimulai dengan bahan berukuran besar sebagai starting-block serta selalu disisakan sekurang-kurangnya 1/3 cairan didalam tanur untuk membantu proses peleburan berikutnya.

Akibat dari adanya arus induksi yang terus menerus mengalir didalam cairan maka akan terjadi pergerakan cairan yang disebut sebagai **stirring**. Kualitas dan kuantitas

stirring ditentukan oleh tinggi atau rendahnya frekuensi kerja dan jumlah fasa listrik yang digunakan.

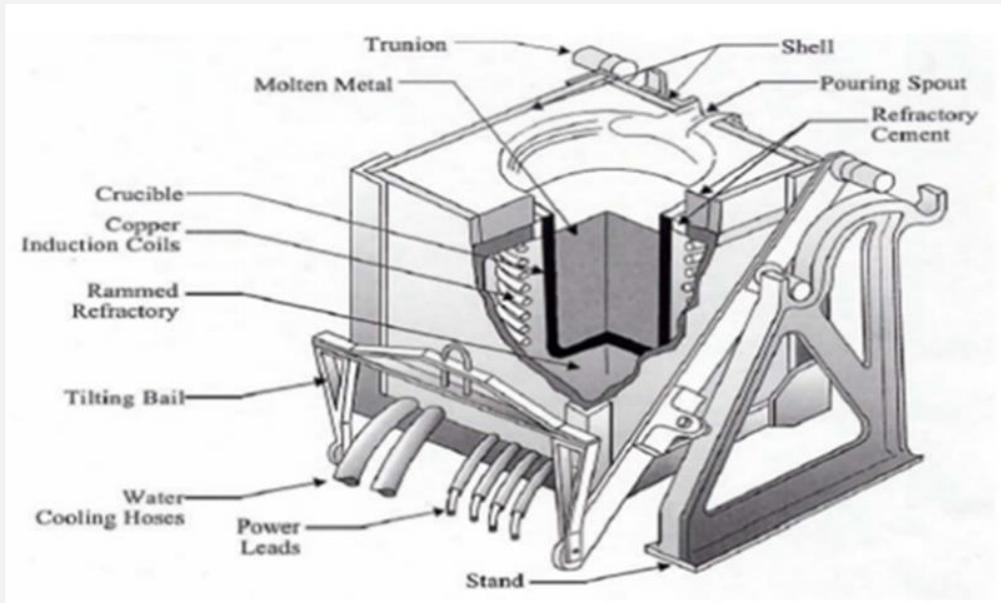


Stirring pada 1 fasa (a) dan 3 fasa (b).

Sedangkan frekuensi kerja yang semakin rendah akan mengakibatkan stirring secara kualitatif menjadi semakin besar namun kuantitatif sedikit sehingga akan muncul sebagai gejala cairan. Frekuensi kerja yang semakin tinggi akan mengakibatkan stirring yang terjadi kecil namun merata disetiap bagian dari cairan, sehingga cairan akan tampak lebih tenang.

Struktur tungku induksi

Kapasitas peleburan tungku induksi berkisar antara kurang dari 1 kg hingga 100 ton, umumnya digunakan untuk melelehkan besi, baja, tembaga, aluminium, dan logam mulia.



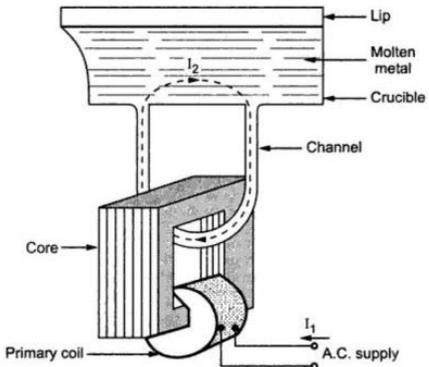
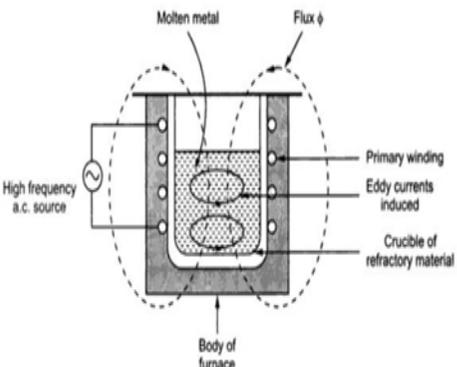
Dibandingkan dengan teknologi peleburan logam lainnya, keunggulan tungku induksi adalah bersih, hemat energi, dan mudah mengontrol proses peleburan dan komposisi unsur.

Namun, batasan tungku induksi pada jenis scrap logam dan beberapa elemen paduan mungkin hilang karena oksidasi. Untuk mengatasi hal tersebut, umumnya dilengkapi dengan sistem vacuum.

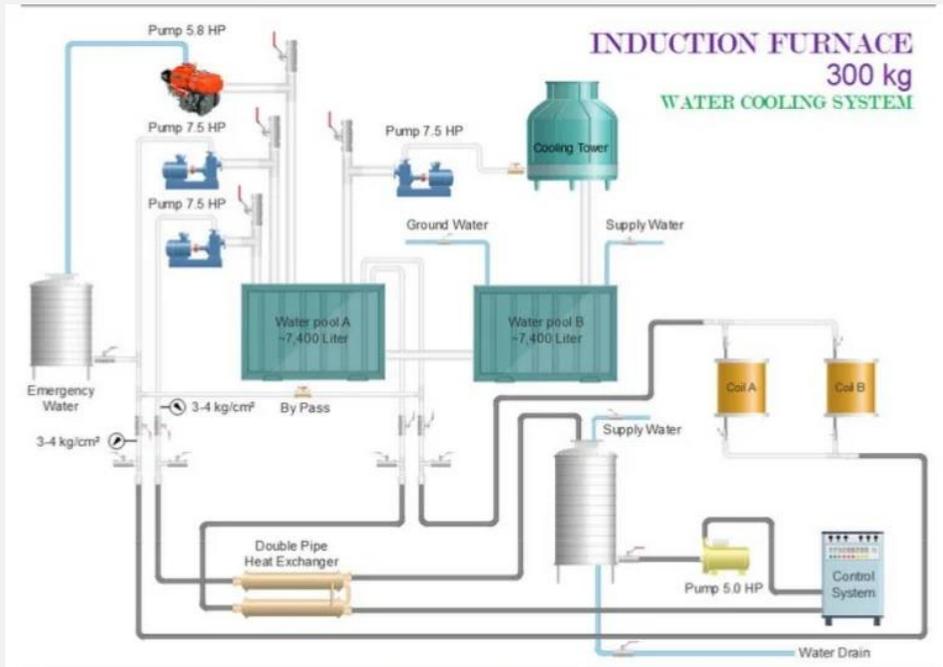
Tanur induksi bekerja dengan prinsip transformator dengan kumparan primer dialiri arus AC dari sumber tenaga dan kumparan sekunder. Kumparan sekunder yang diletakkan didalam medan magnet kumparan primer akan menghasilkan arus induksi. Berbeda dengan transformator, kumparan sekunder digantikan oleh bahan baku peleburan serta dirancang sedemikian rupa agar arus induksi tersebut berubah menjadi panas yang sanggup mencairkannya.

Sesuai dengan frekuensi kerja yang digunakan, tanur induksi dikategorikan sebagai tanur induksi frekuensi jala-jala (50 Hz - 60 Hz) dengan kapasitas lebur diatas 1 ton/jam dan tanur induksi frekuensi menengah (150 Hz - 10000 Hz) untuk tanur dengan kapasitas lebur rendah.

Frekuensi jala-jala pada tanur induksi frekuensi menengah diubah terlebih dahulu dengan menggunakan **thyristor** menjadi frekuensi yang lebih tinggi sebelum dialirkan ke kumparan primer.

	
<p>Tungku induksi saluran terdiri dari cangkang baja berlapis tahan api yang berisi logam cair. Terpasang pada cangkang baja dan dihubungkan oleh tenggorokan adalah unit induksi yang membentuk komponen peleburan tungku. Unit induksi terdiri dari inti besi dalam bentuk cincin yang dililitkan dengan kumparan induksi primer. Rakitan ini membentuk transformator sederhana yang di dalamnya terdapat loop logam cair yang membentuk komponen sekunder. Panas yang dihasilkan di dalam loop menyebabkan logam bersirkulasi ke dalam sumur utama tungku. Sirkulasi logam cair menyebabkan aksi pengadukan yang berguna dalam lelehan. Tungku induksi saluran biasanya digunakan untuk melelehkan paduan dengan titik leleh rendah, atau sebagai unit penahan dan pemanasan berlebih untuk paduan dengan titik leleh lebih tinggi seperti besi tuang.</p>	<p>Tungku induksi tanpa inti memiliki konstruksi yang cukup sederhana. Pada dasarnya tungku ini terdiri dari bejana tahan api dan kumparan di sekelilingnya yang ditopang oleh rangka baja. Ketika arus bolak-balik (AC) mengalir melalui kumparan, maka akan tercipta medan elektromagnetik yang pada gilirannya akan menginduksi arus eddy pada material yang bermuatan. Material bermuatan ini akan dipanaskan sesuai dengan hukum Joule dan dengan panas lebih lanjut material bermuatan tersebut akan meleleh.</p>

Gg 1. Skema tanur induksi frekuensi menengah².



Evaporative Closed Loop Water System

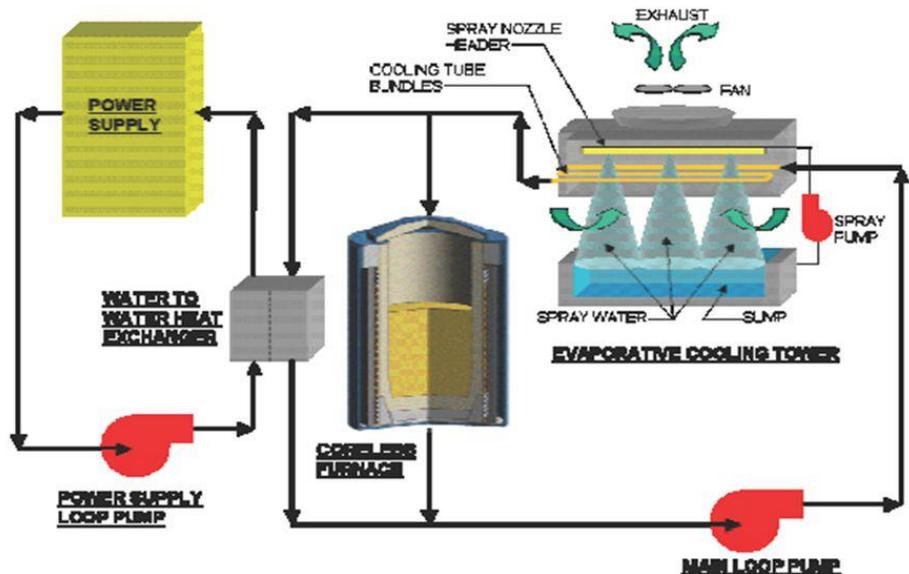
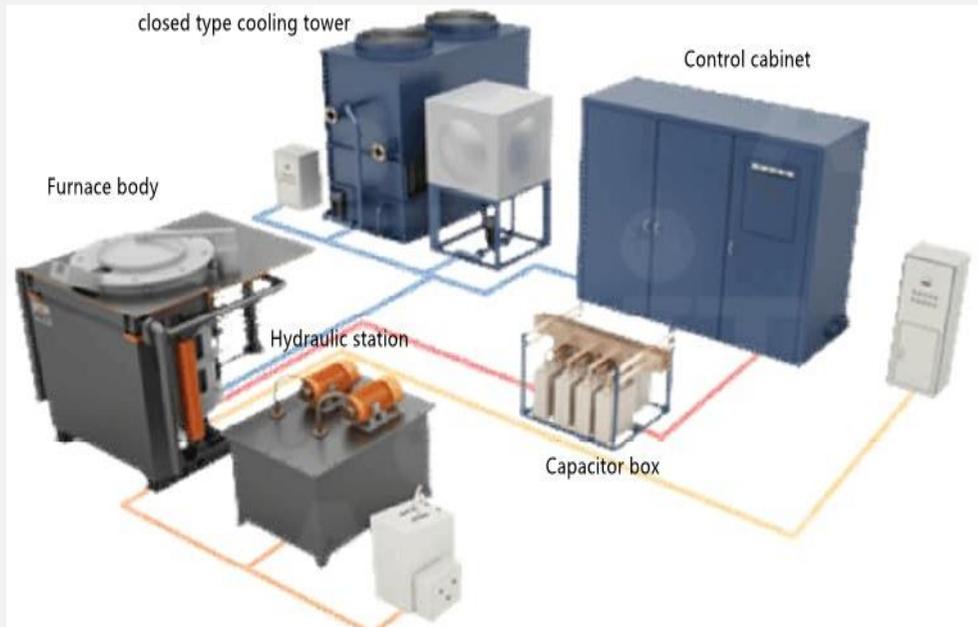
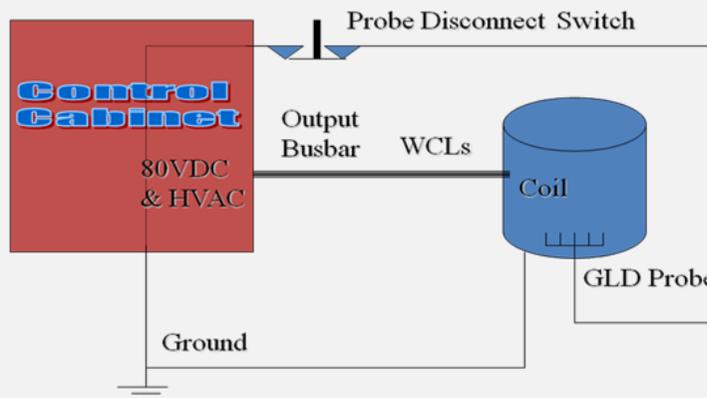
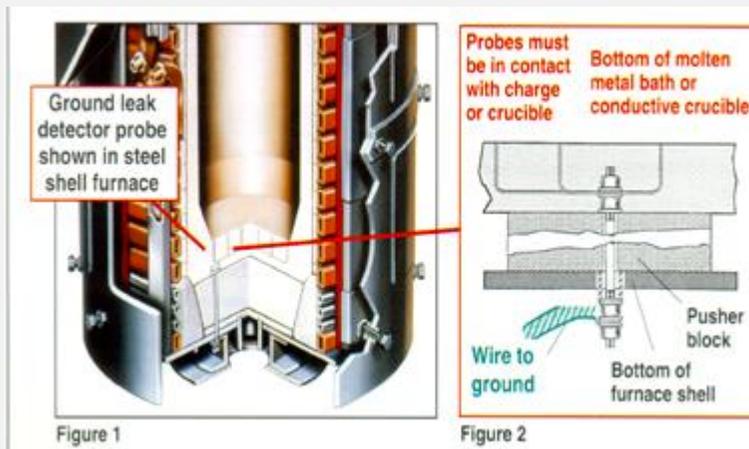


Fig - General Diagram of the closed evaporative water system

Komponen utama dari Tungku Induksi Tanpa Inti terdiri dari wadah peleburan, unit catu daya yang terdiri dari transformator, inverter dan bank kapasitor, pengaturan pengisian daya, sistem pendingin untuk catu daya dan kumparan tungku, sistem kontrol proses, dan peralatan ekstraksi asap.



Gb 3. Tombol – tombol Tanur Induksi 200 kW, 1000 Hz



Types of Induction Furnaces



Drop-Coil Furnace



Lift-Swing Furnace



Push-Pull Out Furnace



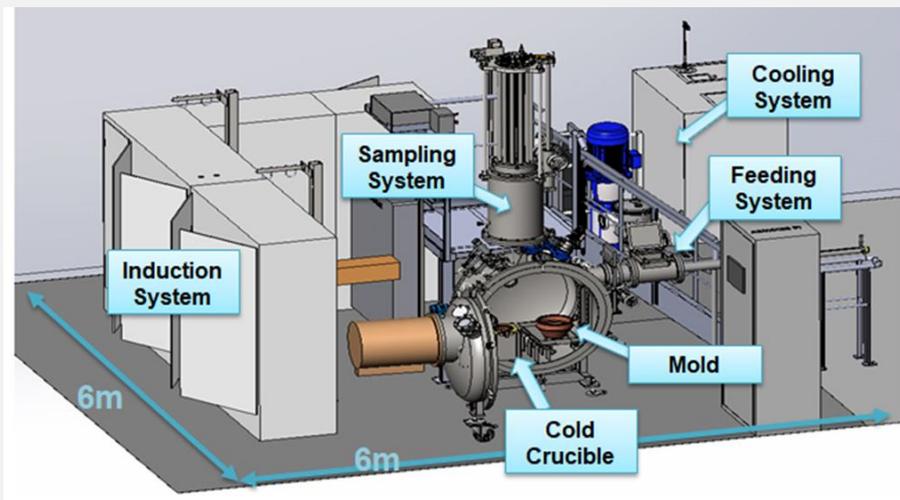
Tilting Furnace

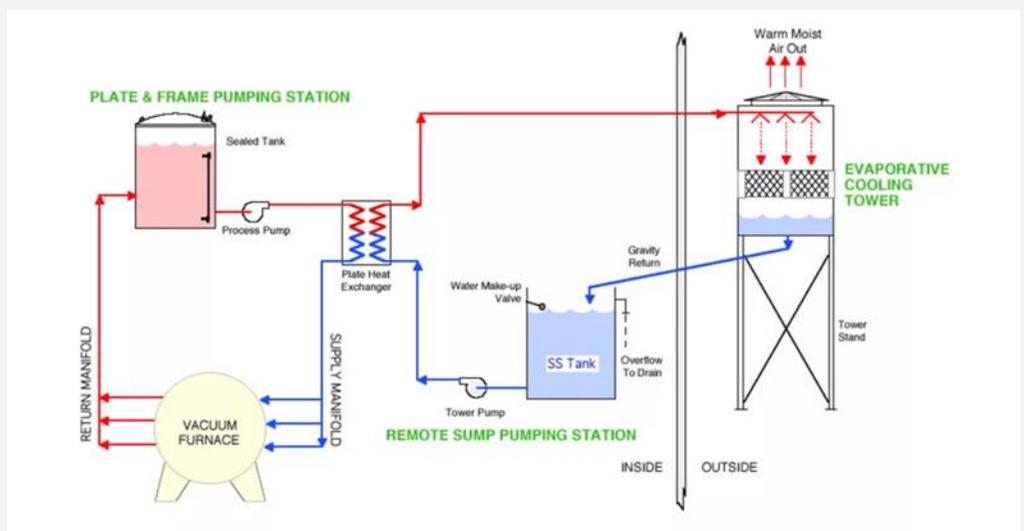
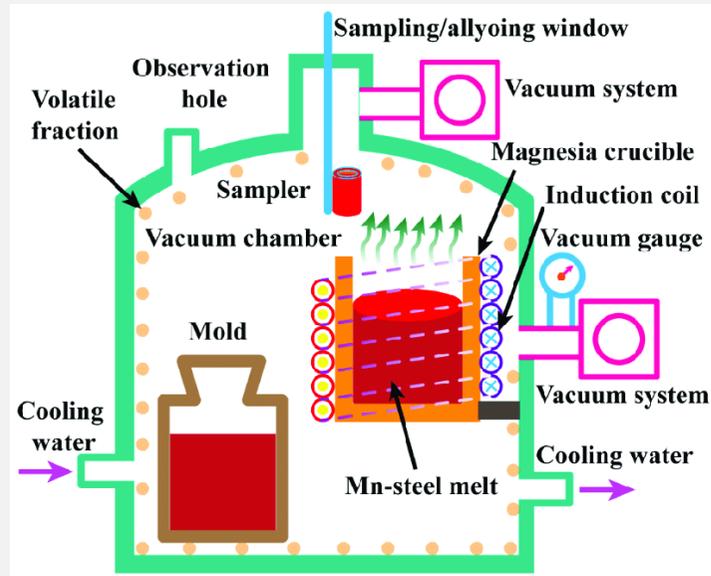
Aplikasi Tungku Induksi

1. **Investment casting** Pengecoran investasi. Peleburan induksi sering digunakan untuk pengecoran investasi karena tersedia dalam berbagai tungku udara dan vakum. Tungku ini bekerja sangat baik untuk hampir semua logam.
2. **Precious metals melting** Peleburan logam mulia. Baja berharga bagi banyak orang, tetapi tungku induksi juga dapat digunakan untuk melelehkan logam mulia seperti logam golongan platina. Hal ini memungkinkan baja dimurnikan dan digunakan untuk pembuatan perhiasan.
3. Peleburan tembaga. Tungku induksi dapat digunakan untuk melelehkan pengecoran khusus atau pengecoran struktur perunggu besar. Tungku ini dibuat untuk memberikan peleburan yang Anda butuhkan untuk sebagian besar aplikasi tembaga dengan kehilangan logam rendah dan kontrol suhu yang tepat.
4. Pembuatan paduan. Tungku induksi populer digunakan dalam pembuatan paduan untuk keseragaman dan fleksibilitas yang optimal. Mereka yang bekerja di perusahaan manufaktur paduan dapat mengandalkan tungku induksi untuk menyediakan jumlah pengadukan induksi yang tepat setiap saat sehingga setiap produk keluar dengan hasil yang sama persis.
5. Peleburan aluminium. Peleburan aluminium adalah aplikasi populer lainnya yang digunakan untuk peleburan induksi. Karena tungku induksi hemat energi, tungku ini dianggap optimal untuk mengubah alumina menjadi aluminium murni dan kemudian menjadi paduan aluminium. Hal ini karena proses ini menghabiskan banyak energi sehingga semakin banyak energi yang dapat dihemat, semakin baik.
6. **Shrink-fitting** Pemasangan susut. Pemasangan susut induksi digunakan untuk memasukkan satu bagian logam ke bagian logam kedua. Bagian logam kedua dipanaskan secukupnya sehingga logam sedikit mengembang, sehingga bagian pertama dapat dimasukkan dengan mudah. Setelah dingin, bagian-bagian tersebut tidak dapat dipisahkan tanpa gaya yang signifikan, atau dengan memanaskan ulang dan membalikkan proses.

7. **Pematrian (Brazing).** Pematrian adalah proses di mana dua atau lebih bahan disatukan oleh logam pengisi yang memiliki titik leleh lebih rendah daripada bahan dasar menggunakan pemanasan induksi.

8. **Annealing.** Anil adalah proses perlakuan panas yang sebagian besar digunakan untuk meningkatkan keuletan dan mengurangi kekerasan suatu bahan. Perubahan kekerasan dan keuletan ini merupakan hasil dari pengurangan dislokasi dalam struktur kristal bahan yang dianil.





2.2 Tungku/ Tanur Krusibel

Tungku peleburan merupakan bejana peleburan tertua, paling sederhana, dan paling orisinal yang digunakan dalam pengecoran logam. Alat peleburan dasar ini terbuat dari bahan tahan suhu tinggi yang sering kali berupa keramik atau bahan tahan api.

Tungku peleburan dapat berupa wadah yang sangat kecil yang biasanya digunakan untuk melelehkan perhiasan (emas, perak) hingga wadah yang lebih besar yang digunakan untuk pekerjaan batch kecil.

Bahan bakar pemanas peleburan biasanya berupa kokas, gas, minyak, atau listrik. Sementara peleburan listrik memiliki kapasitas maksimum 2,5 ton/jam, peleburan gas atau bahan bakar cair dapat melelehkan hingga 4 ton/jam.

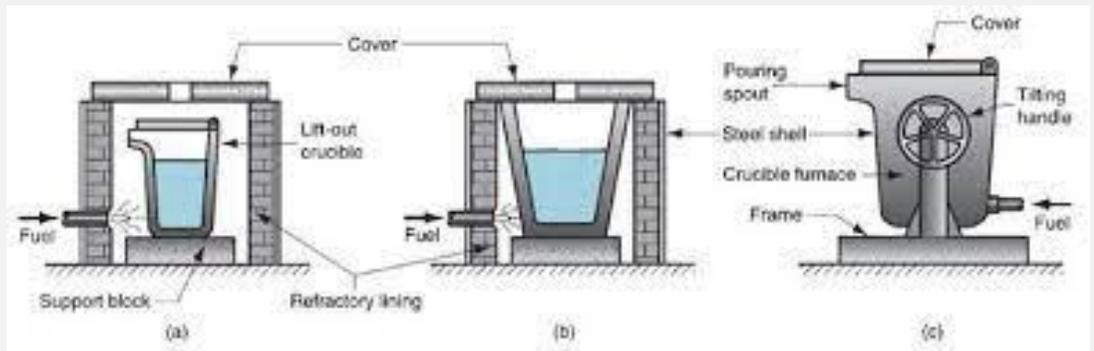
Tungku peleburan bukanlah alat hemat energi dengan kehilangan panas lebih dari 60% akibat radiasi.,

Gambar 2.11 Jenis-jenis rangka cetak



Tungku ini cocok untuk logam non-ferrous yang khususnya diaplikasikan untuk peleburan aluminium. Tungku ini bekerja dengan baik pada semua paduan aluminium. Salah satu keuntungannya adalah wadah ini sangat mudah dioperasikan

dan dirawat sehingga menghemat biaya. Ditambah lagi biaya modalnya yang rendah menarik para pengecoran kecil untuk menginvestasikan uang mereka.



Namun, tungku ini hanya cocok untuk volume produksi kecil dan logam dengan titik leleh rendah karena efisiensi energinya yang rendah.

▣ Penggunaan

- Logam ringan
- Logam berat

▣ Ciri

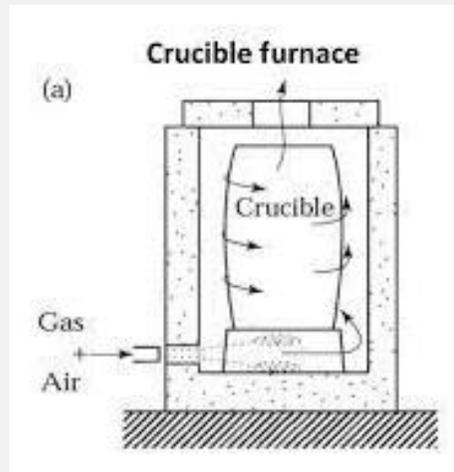
- Kapasitas lebur hingga 0,5 ton.
- Panas dari bahan bakar gas/ minyak
- Konstruksi menggunakan pot grafit, SilikonCarbit, besi cor.
- Temp bisa hingga 1300 °C.

Tungku Krusibel Tungku krusible merupakan salah satu jenis tungku dengan sistim pemanasan tidak langsung (*indirect fuel fired furnace*). Fungsi utamanya adalah untuk melebur logam Aluminium dan sejenisnya. Peleburan muatan dilakukan dengan menggunakan krusibel yang dipanaskan bagian luarnya secara konduksi melalui dinding krusibel dengan sumber panas dari pembakaran minyak, gas, kokas, arang atau pemanasan dari filamen listrik.

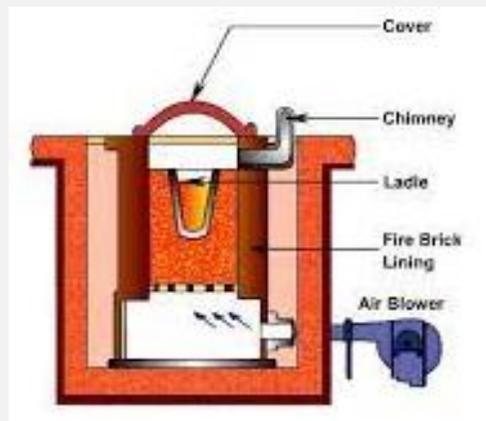
Prinsip Kerja

Prinsip kerja pencairan muatan pada tungku jenis krusibel dengan sumber panas dari bahan bakar minyak (cair) atau arang/kokas (padat) adalah dengan cara bahan bakar dimasukkan kedalam ruang reaksi (burner) sehingga akan menimbulkan panas

dialirkan secara radiasi ke dinding krusibel. Selanjutnya energi panas ini dipindahkan secara konduksi ke dalam muatan melalui dinding krusibel. Reaksi pembakaran antara bahan bakar dengan oksigen (O_2) dalam udara menghasilkan gas CO_2 dan H_2O serta energi panas. Energi panas tersebut yang diperlukan untuk mencairkan muatan dalam krusibel hingga mencair.



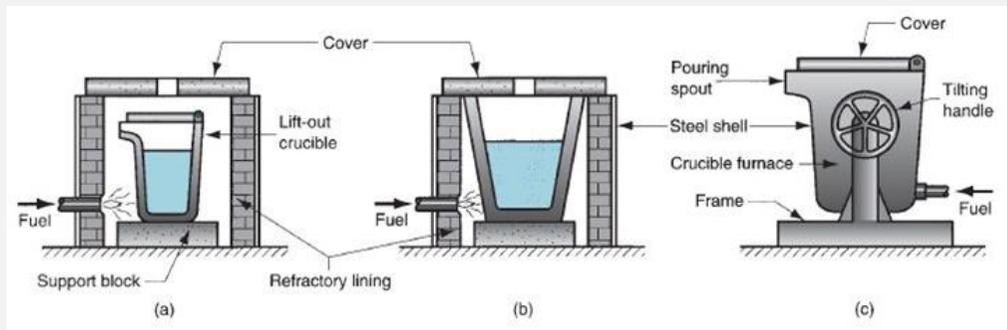
Konstruksi



Jenis

Berdasarkan cara pencairan logamnya, tungku krusibel diklasifikasikan dalam 3 jenis, yaitu:

1. Tungku jenis *lift-out*
2. Tungku jenis *stationary*
3. Tungku jenis *tilting*



Gambar 12. Jenis tungku krusibel [1]

Pada tungku jenis *lift-out*, seperti yang ditunjukkan pada gambar, krusibel ditempatkan didalam rangka tungku, setelah logam mencair maka krusibel dikeluarkan dari dalam tungku. Krusibel yang dipergunakan harus selalu menggunakan jenis refraktori dengan kapasitas maksimum 50 kg aluminium. Kerugian dari jenis tungku ini adalah keterbatasan dalam menghasilkan produktivitas dalam jumlah yg tinggi, memerlukan jumlah tenaga kerja yg banyak, dan buruknya kondisi kerja, tetapi keperluan biaya perlengkapannya paling murah.

Tungku jenis *stationary* adalah jenis tungku dengan krusibel yang ditempatkan secara permanen, kapasitas peleburannya berkisar antara 150 –450 kg aluminium dan jenis krusibel refraktori maupun besi cor dapat digunakan dalam tungku jenis ini, tetapi krusibel jenis besi cor perlu selalu dilapis ulang dengan bahan refraktori secara periodik. Keuntungan dari jenis tungku ini adalah terletak pada kecocokkannya untuk beralih dari peleburan satu jenis paduan ke jenis paduan lainnya dan tungku jenis stationari ini sangat baik untuk pemurnian aluminium serta biaya instalasi yang diperlukan relatif tinggi.

Tungku krusibel jenis tilting, digunakan untuk peleburan dalam jumlah yg besar berkisar sampai 450 kg aluminium, dan penuangan logam cairnya dengan cara dimiringkan, logam cair akan mengalir melalui saluran yang ada pada dinding tungku atau pada bagian atas bibir tungku. Keuntungan dari jenis tungku ini adalah dapat melebur dengan jumlah muatan yang besar, logam cair dapat dituangkan dengan mudah dan cepat, tetapi memerlukan biaya instalasi yang relatif cukup tinggi.

Effisiensi panas/peleburan dari tungku jenis krusibel adalah berkisar antara: 15-30 %, rendahnya efisiensi tersebut karena tingginya panas yang hilang melalui saluran gas buang. Struktur utama konstruksi tungku jenis krusibel terdiri atas ; krusibel, lapisan refraktori, sistim pembangkit panas dan alat pengukur temperatur.

2.3 Tungku/ Tanur Kupola

Tungku Kupola merupakan tungku yang memiliki bentuk silinder vertikal yang memiliki kapasitas besar. Tungku ini diisi dengan material pengisi antara lain besi, kokas, flux atau batu kapur, dan elemen paduan yang memungkinkan. Tungku ini memiliki sumber energi panas dari kokas dan gas yang diberikan untuk meningkatkan temperatur pembakaran. Hasil peleburan dari tungku ini akan ditapping secara periodik untuk mengeluarkan besi cor yang telah mencair [1].

Rumus dasar peleburan di tungku kupola [3,4] :

a. Kebutuhan Volume angin yang dibutuhkan :

Kebutuhan angin dengan memperhitungkan η_v untuk 1 kg karbon (C) :

$$V = 4,45 \frac{100 + \eta_v}{100} \left[\frac{Nm^3}{kg C} \right]$$

Dimana : V = Kebutuhan volume angin (Nm³/kgC)

η_v = Efisiensi pembakaran (%)

b. Kebutuhan Volume angin berdasarkan jumlah kokas yang digunakan :

Kebutuhan Volume angin berdasarkan jumlah kokas yang digunakan. Asumsikan jumlah besi yang akan dilebur sebanyak 100 kg , maka :

$$V = \frac{K k}{100} 4,45 \frac{100 + \eta_v}{100} \left[\frac{Nm^3}{100 kg Fe} \right]$$

Dimana :

V = Volume angin untuk melebur 100 kg besi (Nm³ / 100 kg Fe)

K = Jumlah kokas yang digunakan (%) atau (kg Kokas / 100 kg Fe)

k = Kandungan C pada kokas (%)

η_v = Efisiensi pembakaran (%)

c. Kebutuhan Debit angin untuk peleburan di Kupola :

Perhitungan debit angin didasari pada : Diameter dalam kupola, Jumlah kokas yang digunakan, dan Kandungan C pada kokas. Rumus empirik untuk perhitungan secara teoritik :

$$W = \frac{4,5 D^2 K}{60} \left[\frac{Nm^3}{menit} \right]$$

Dimana :

W = Debit angin (Nm³/menit)

D = Diameter dalam kupola (dm)

K = Jumlah kokas yang digunakan [%] (kg/100 kg Fe) dengan kandungan C > 85%

d. Kebutuhan kokas untuk peleburan secara teoritik :

Kebutuhan kokas secara teoritik dihitung dari energi yang dibutuhkan untuk melebur dan menaikkan temperatur besi hingga 1500°C. Berdasarkan azas Black :

Panas yang dilepaskan = Panas yang dibutuhkan.

$$\left\{ H_{n(c)} 10 \frac{K \times k}{100} + \Delta H_{angin} + \Delta H_{elemen} \right\} x \eta = \Delta H_{Fe} (\delta^{\circ}C)$$

Dimana :

$H_{n(c)}$ = Panas spesifik Karbon (C) = 33.200 (kJ/kg)

K = Jumlah kokas yang digunakan (%) atau (kg Kokas/100 kg Fe)

k = Kandungan C dari kokas (%)

ΔH_{angin} = Panas spesifik angin yang terbakar (kJ/t Fe)

η = Efisiensi (%)

$\Delta H_{Fe} (\delta^{\circ}C)$ = Panas spesifik untuk melebur dan menaikkan temperatur sampai 1500°C (kJ/ton Fe), yaitu sebesar $1398,391 \times 10^3$ (kJ/t Fe).

Untuk tapping temperatur yang berbeda-beda maka jumlah kokas pun akan berbeda, sebagaimana ditampilkan pada tabel berikut:

No.	Tapping Temperatur [°C]	Kokas yang dibutuhkan [kg/100 kg Fe]
1	1400	9.5
2	1426	11.0
3	1454	12.5
4	1482	14.0
5	1510	15.5
6	1538	17.0

Tabel 1. Kokas yang dibutuhkan tergantung tapping temperatur. Berlaku untuk kupola sistem angin dingin dan kandungan karbon dari kokas 90%

e. Kapasitas peleburan di tungku kupola secara teoritis :

Penentuan kapasitas peleburan secara teoritik menggunakan perbandingan antara Debit udara tiup sebenarnya dengan volume udara yang dibutuhkan untuk melebur 1 ton besi. Kapasitas peleburan dinyatakan dalam Ton/jam.

$$S = \frac{60 W \left[Nm^3 / jam \right]}{\frac{10xKxk}{100} x \frac{4,45(100 + \eta_v)}{100} x \left[Nm^3 / ton Fe \right]}$$

$$S = \frac{1,35x10^4 W}{Kxkx(100 + \eta_v)} \left[ton / jam \right]$$

Dimana :

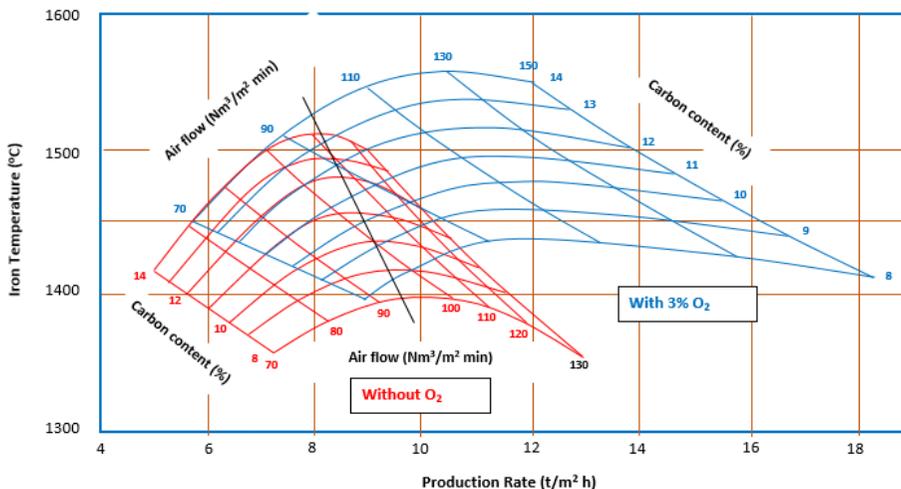
W = Debit angin (Nm³/menit)

K = Jumlah kokas yang digunakan (%) atau [kg kokas/100 kg Fe]

k = Kandungan C pada kokas (%)

η_v = Efisiensi Pembakaran (%)

Kurva karakteristik Tungku Kupola



Gambar 11. Kurva karakteristik tungku kupola [3]

Berdasarkan kurva net / kurva karakteristik kupola :

1. Jika Jumlah kokas tetap dan debit udara dinaikkan, maka kapasitas peleburan meningkat dan temperatur juga meningkat sampai batas tertentu.
2. Jika debit udara tetap dan kokas yang dimasukkan meningkat, maka temperatur meningkat dan kapasitas peleburan menurun.

Kesimpulan :
Untuk menaikkan temperatur dan kapasitas peleburan, maka perlu diatur debit udara dan jumlah kokas yang digunakan.

3.) Tungku Krusibel [1]

Untuk tungku Blast Furnace, tungku EAF dan tungku BOF akan dijelaskan secara langsung pada proses Ironmaking/pembuatan besi (Pig Iron dan DRI).

Daftar Pustaka :

[1] A., Abrianto. 2010. Modul Praktikum dan Pengecoran Logam Teknik Metalurgi UNJANI.

[2] R. Widodo. Peleburan dengan Tanur Induksi. HAPLI dan Polman Bandung.

[3] A., Pradoto. 2018. Materi Kuliah Peleburan dan Pemaduan Teknik Metalurgi UNJANI.

[4] R. Widodo. Perhitungan Dasar Peleburan dengan Tanur Kupola. HAPLI dan Polman Bandung.

Tungku kubah dianggap sebagai salah satu teknologi peleburan yang paling ekonomis. Saat ini, besi yang hampir berwarna abu-abu dilebur oleh tungku ini.

Dari segi konstruksi, kubah dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran, tetapi diameternya dapat berkisar antara 0,5 hingga 4m dan tingginya sekitar 6-11m. Kubah dibangun sebagai bejana vertikal dan silinder, kemungkinan besar cerobong asap besar.

Struktur tungku kubah

Dinding tungku kubah biasanya terbuat dari baja dan dilapisi dengan dinding bata tahan api. Bagian bawah tungku dilapisi dengan cara yang sama tetapi sering kali menggunakan campuran tanah liat dan pasir karena lapisan ini hanya bersifat sementara. Beberapa kubah dilengkapi dengan lapisan cangkang pendingin agar tetap dingin dan ditambahkan oksigen agar kokas terbakar lebih intens.

Bahan bakar pemanas tungku kubah adalah kokas dan beberapa aditif. Untuk memulai produksi, lapisan kokas ditambahkan ke dalam tungku dan dinyalakan dengan obor. Saat kokas menyala, udara dimasukkan ke dalam lapisan kokas melalui ventilasi. Kayu, batu bara, atau gas yang mudah terbakar juga dapat digunakan sebagai bahan bakar tungku.

Saat kokas cukup panas, logam padat dimasukkan ke dalam tungku melalui lubang di bagian atas. Selama proses peleburan, reaksi termodinamika terjadi antara bahan bakar dan udara masuk.

Kupola digunakan pada pabrik pengecoran sebagai alat pelebur besi cor. Bahan yang dilebur adalah *besi kasar*, *besi bekas* (baik berupa potongan coran maupun besi daur ulang), *batu kapur* sebagai pembentuk terak dan *kokas* sebagai sumber energi. Hembusan angin untuk pembakaran dihasilkan dari sebuah alat penghembus (*blower*) dan melalui lubang angin (*tuyser*) dihembuskan ke dalam Kupola. Berdasarkan hembusan ini dibedakan 2 macam kupola, yaitu: Kupola angin Dingin dan Kupola Angin Panas.

Karbon dalam kokas bergabung dengan oksigen di udara untuk menghasilkan karbon monoksida, yang terus terbakar menjadi karbon dioksida. Sejumlah karbon larut ke dalam tetesan logam cair yang jatuh dan karenanya, meningkatkan kandungan karbon dalam logam. Proses peleburan ini menghasilkan berbagai jenis besi dan baja. Tungku kubah dapat digunakan untuk melelehkan besi apa pun, sebagian besar digunakan untuk peleburan besi dengan volume besar. Secara statistik, 60% pengecoran besi dicairkan oleh kubah. Efisiensi energinya juga tinggi, sekitar 40-70%.

Kupola adalah alat pelebur yang paling banyak dipergunakan di pabrik pengecoran besi cor, karena memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Kapasitas lebur yang besar
2. Murah dalam investasi
3. Sederhana sehingga mudah dioperasikan.

Kupola Angin Dingin adalah Kupola yang paling sederhana dibanding jenis lainnya, oleh karena itu di Indonesia, Kupola jenis ini paling banyak di pergunakan.

Gambar 1.1 menunjukkan potongan dari sebuah Kupola Angin Dingin yang terpasang di atas kuda-kuda. Dinding Kupola terbuat dari plat baja dan

dilapisi bagian dalamnya dengan bahan tahan api, sehingga membentuk sebuah cerobong. Pemuatan bahan dilakukan dari *lantai pemuatan* pada tingkat atas. *Landasan tanur* dibuat miring ke arah *lubang pengeluaran* yang pada saat operasi lubang ini ditutup dengan sejenis lempung dan dibuka saat pengeluaran cairan. Diatas landasan ini adalah *daerah lebur* yang diisi dengan kokas sebagai alas. Di daerah ini berkumpul besi cair yang melebur diatas Tuyer (lubang hembus). Angin dingin disalurkan dari sebuah blower melalui ring angin yang melingkari tanur dan masuk kedalam tanur melalui *tuyer* yang umumnya berjumlah banyak. Gas buang (hasil pembakaran) naik dalam cerobong dan keluar melalui *lubang cerobong*. Untuk menjaga kesehatan lingkungan gas buang ini sebaiknya disaring sehingga bebas dari debu.

Untuk penyalaan Kupola, melalui pintu dibagian belakang Kupola pada *daerah lebur*. Penyalaan dilakukan dengan menggunakan alat pembakar dengan bahan bakar minyak (solar) ataupun gas. Pintu belakang ini harus ditutup bila kokas telah menyala dengan baik. Pengosongan Kupola setelah operasi berakhir dilakukan dengan membuka landasan berengsel.

Proses peleburan berlangsung sebagai berikut:

Setelah penyalaan tercapai dan pintu belakang telah ditutup. Kupola diisi dengan muatan sampai setinggi *lantai pemuatan*. Gas panas yang dihasilkan dari *daerah lebur* akan naik dan mengeringkan, sekaligus memanaskan awal dari muatan. Besi sebagai bagian dari muatan akan mencair bila mencapai daerah 300 mm - 400 mm *diatas tuyer* dan menetes diantara alas kokas. Pencairan tersebut terjadi akibat panas yang berlebihan (daerah terpanas dalam Kupola adalah disekitar ketinggian tuyer).

Jadi daerah yang terjadi dalam Kupola ketika operasi adalah:

- Daerah pemanasan awal
- Daerah pencairan (300 mm - 400 mm diatas tuyer)
- Daerah panas berlebih (sekitar tuyer)
- Daerah lebur (dibawah tuyer)

Selama operasi terjadi pula peristiwa:

- Reduksi didaerah pencairan keatas
- Oksidasi didaerah panas berlebih
- Netral didaerah lebur

Daerah dengan peristiwa oksidasi dapat diperluas dengan menambahkan hembusan angin kedalam Kupola selama jumlah kokas tidak ditambahkan.

Hasil pembakaran adalah *gas asam arang* (CO_2) yang sebagian direduksi oleh Karbon dalam Kokas menjadi Gas Karbon monoksida (CO). Dengan terbentuknya gas CO ini, terjadi keseimbangan dalam Kupola yang sangat tergantung dari tekanan maupun Temperatur. Pada saat gas panas menjadi dingin ketika melalui cerobong atas keluar, kandungan CO kembali menurun. Gas yang keluar memiliki komposisi sebagai berikut:

- CO = 1,0 %
- O^2 = 0,3 %
- CO^2 = 18 %
- N^2 = 80 %

Kupola pada dasarnya adalah suatu alat pelebur yang mengandalkan bara api dari kokas untuk memanggang besi hingga cair. Selama ini Kupola sangatlah ekonomis selama Kupola tersebut hanya digunakan untuk melebur besi saja. Efisiensinya terletak sekitar 60% dan kira-kira setara dengan umumnya Tanur Induksi.

Namun demikian, ada beberapa kekurangan yang terdapat Kupola Angin Dingin, antara lain; terjadi pemborosan energi panas, sulit sekali mencapai temperatur yang tinggi, pengaturan kemampuan peleburan pun diatur dengan penambahan jumlah kokas dan hembusan angin yang tentu saja mempertinggi biaya. Disamping itu beram baja yang murah tidak tepat digunakan sebagai muatan dan untuk analisa komposisi cairan yang dihasilkan diperlukan toleransi yang besar.

Dalam usaha memperbaiki kekurangan-kekurangan Kupola Angin Dingin, dikembangkan suatu jenis Kupola yang lebih ekonomis, yaitu Kupola Angin Panas.

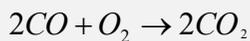
Keunggulan Kupola Angin Panas antara lain:

- Temperatur cairan tinggi
- Mampu melebur beram baja
- Cairan bersih

- Komposisi seragam

Daerah pencairan di sini terletak lebih dekat ke tuyer, karena angin yang dihembuskan melalui tuyer ini telah memiliki temperatur yang tinggi sekitar 400 °C – 600 °C. Untuk menghasilkan udara panas ini dikembangkan beberapa metode seperti, pemanfaatan kembali gas buang dan hembusan udara panas dari alat pemanas. Pemanfaatan kembali gas buang dilakukan dengan alat yang disebut **rekuperaton**. Gas buang ini memanaskan udara segar yang dihembuskan kedalam rekuperaton. Cara lain adalah dengan membersihkan gas buang dari gas CO dengan cara pemberian hembusan gas O₂. Gas O₂ dan gas CO akan bereaksi menghasilkan gas CO₂.

Reaksinya sebagai berikut:

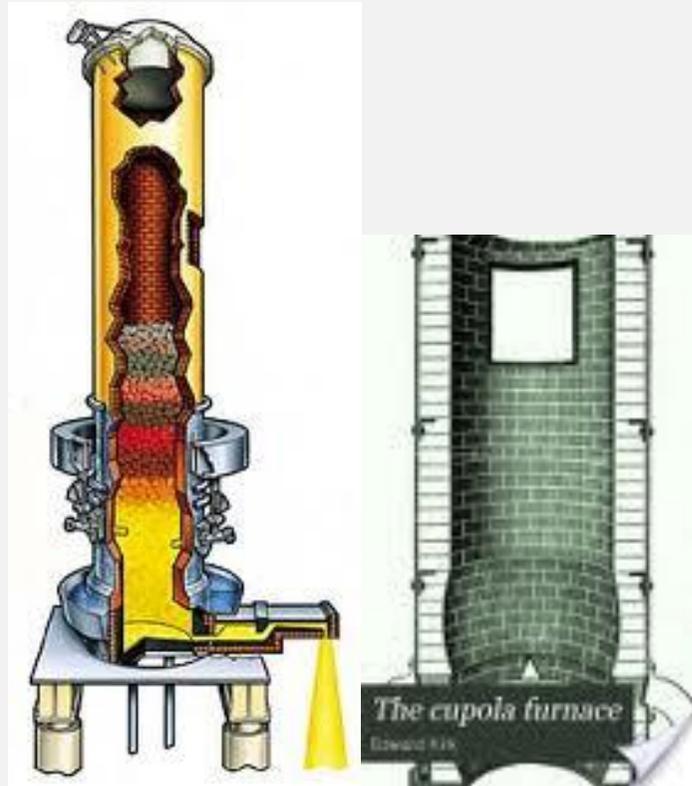


Gas yang bersih ini digunakan kembali sebagai angin penghembus kedalam Kupola.

Dengan hembusan angin panas, Kupola mendapatkan panas tambahan. Semakin panas hembusan angin, maka semakin panas pula gas yang terbangun yang kemudian digunakan kembali, menilik kondisi yang demikian maka tentu saja faktor ekonomis dari Kupola menjadi meningkat.

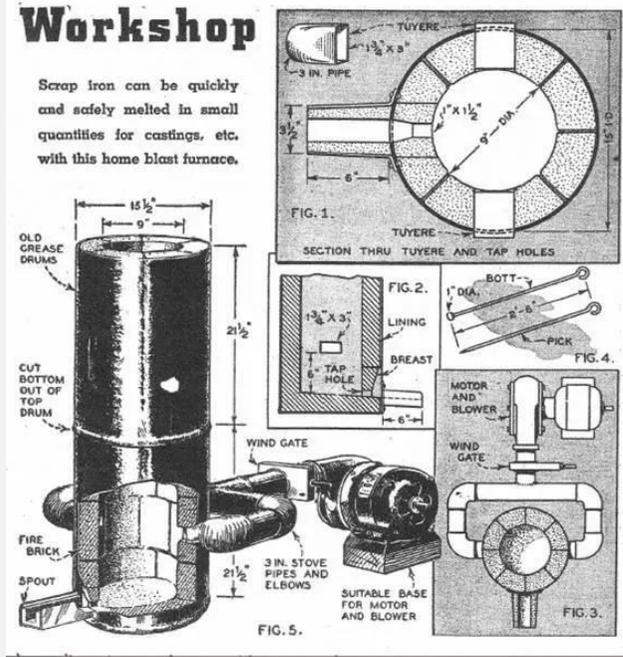
Gb. Kupola Angin Panas

Konstruksi Kupola diubah menyesuaikan dengan kondisi yang terjadi, seperti: daerah Oksidasi diperpendek, dengan demikian dapat menghemat alas kokas. Alas kokas dengan ketinggian yang memenuhi adalah penting, karena cairan yang nantinya menetes disela-selanya akan terpengaruh jumlah karbonnya, semakin sedikit alas kokas semakin sedikit pula penambahan karbon pada cairan, demikian pula sebaliknya. Dengan Kupola Angin Panas kebutuhan akan Kokas dapat diperkecil hingga 8% nya, sementara temperatur cairan yang tercapai bisa hingga 1540 °C dengan variasi komposisi cairan lebih luas.



Workshop

Scrap iron can be quickly and safely melted in small quantities for castings, etc. with this home blast furnace.

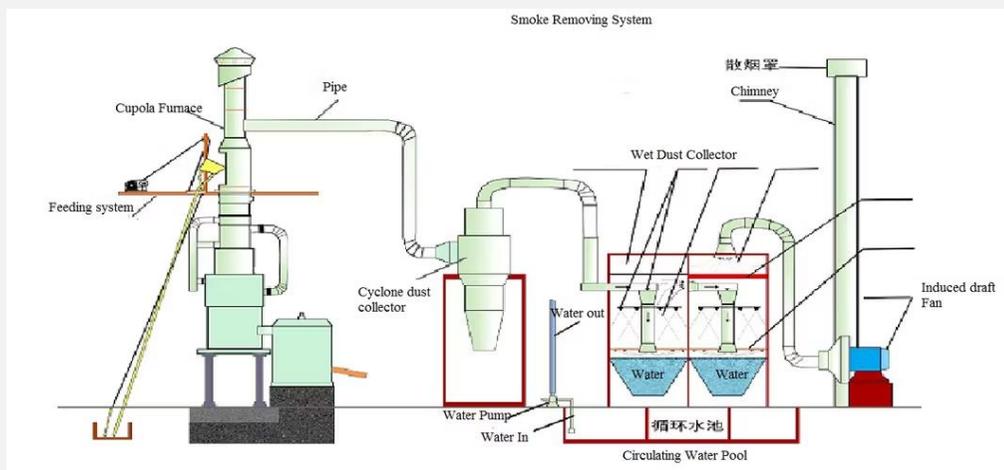


Kupola Generasi Baru

Kupola masih dikembangkan terus hingga kini, dua perkembangan penting dari Kupola adalah: Kupola tanpa Lapisan Dinding dan Kupola Tanpa Kokas.

Kupola Tanpa Lapisan Dinding

Pengembangan ini bertujuan untuk mempersingkat waktu persiapannya sebelum digunakan (seperti perbaikan lapisan tahan api) dan penghematan bahan lapisan. Kupola Angin Panas maupun Kupola Angin Dingin pun dewasa ini berkembang ke arah ini. Bagian yang dilapisi hanyalah *daerah lebur* dan *landasan Kupola*.



Dinding Kupola dalam hal ini sejak dari lubang pemuatan, didinginkan dari luar dengan air, demikian pula dengan tuyernya.

Application:

Pig iron melting

Lead zinc copper Melting

Battery Lead Recovery

-

Fuel:

Coke

-

Features:

Model: 1T 2T 3T 5T 7T 10 T

Hot air cupola furnace for melting and casting

Max Heating Temperature: 1550 °C

8~10 Hours working per day

Design metal melting with good quality & heat effect

Model	YTCF-1	YTCF-2	YTCF-3	YTCF-5	YTCF-7	YTCF-10
Melt Capacity	1 T/H	2 T/H	3 T/H	5 T/H	7 T/H	10 T/H
Air Capacity	20 m3/min	40 m3/min	60 m3/min	80 m3/min	120 m3/min	160 m3/min
Air pressure	16 Kpa	17 Kpa	18Kpa	35Kpa	35Kpa	35Kpa
Effect Height	4200 mm	4800 mm	5200mm	5800mm	6500mm	7200mm
Bottom coke height	1300 mm	1400 mm	1400 mm	1500 mm	1600 mm	1700 mm
Hot air temperature	> 350 °C					
Coke Consumption	1:8 ~ 1:10 1000 kg iron need 100~ 125 kg coke					

Kupola Tanpa Kokas

Sebagai perkembangan lanjut dari Kupola adalah Kupola tanpa Kokas dan dibakar dengan pembakar gas ataupun minyak.

Bagian-bagian Kupola Tanpa Kokas

1. Bola tahan api

2. Batang Penyangga

3. Pembakar

4. Perapian Depan

Gb. Kupola Tanpa Kokas

Pada gambar..., tampak prinsip kerja Kupola yang tidak jauh berbeda dari Kupola yang lainnya. Muatan hanyalah besi yang akan dicairkan dan batu kapur yang dimasukkan hingga batas batang-batang penyangga yang didinginkan dengan air. Penyangga ini masih dilindungi dengan bola-bola yang terbuat dari bahan tahan api maupun keramik. Dibawah penyangga ini terletak pembakar yang berfungsi sebagai tuyer pada Kupola biasa. Besi yang mencair menetes melalui penyangga dan ditampung di dasar Kupola, kemudian dialirkan ke perapian depan. Untuk menaikkan kandungan Karbon dari bahan yang dicairkan harus dilakukan secara terpisah (dengan injektor).

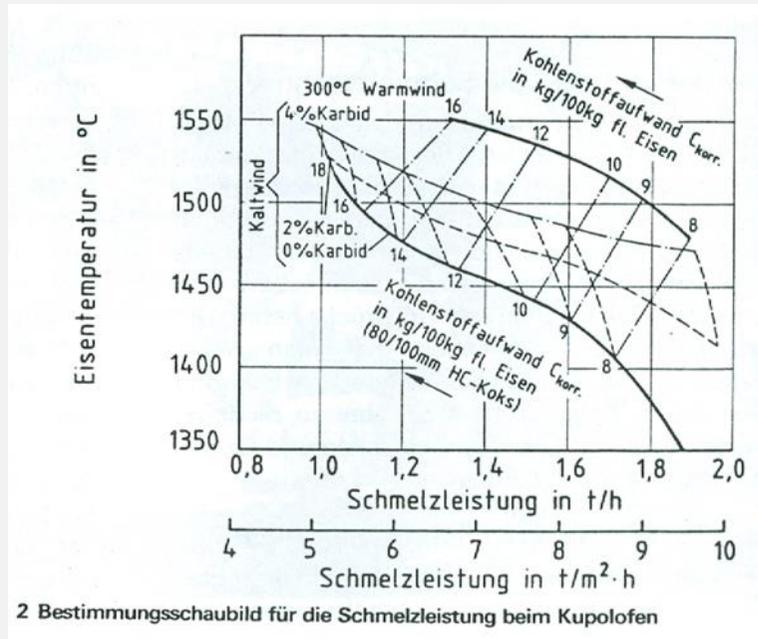
Bahan Tahan Api pada tanur kupola

Pada daerah pemuatan (cerobong) : dilapisi dengan batu tahan api schamotte atau dengan beton tahan api.

Pada daerah oksidasi (pencairan) dilapiskan bahan tahan api sejenis massa. Bahan tahan api ini harus tahan temperatur tinggi, tahan terhadap reaksi dari terak dan tahan erosi.

Untuk pelapisan syphon bahannya dengan jenis yang sama namun memiliki tambahan kandungan grafit.

Bahan dasar massa yang digunakan tergantung pada tingkat kebasahan terak. Bila perbandingan antara $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ masih terletak dibawah 0,8 maka massa yang dipilih dapat saja bersiat asam. Bila perbandingannya lebih tinggi maka digunakan massa dengan bahan dasar Schamotte.



Pada kupola konvensional, pelapisan biasanya menggunakan bata tahan api, bahkan terkadang besi cor pada daerah pemuatan, karena pada daerah ini abrasi muatan terhadap dinding kupola sangat kuat.

Jenis-jenis bahan pelapis kupola yang bersifat asam :

1. Bata silika (Silica Brikcs) dengan 90-96% SiO_2 dan 0,5 -1% Al_2O_3
2. High heat duty fireclay brick (52-60 % SiO_2 & 35 – 42% Al_2O_3)
3. Super duty fireclay brick (51-53 % SiO_2 & 43-44 % Al_2O_3)
4. High alumina brick (20-50 % SiO_2 & 50-80% Al_2O_3)

Jenis-jenis bahan pelapis kupola yang bersifat basa :

1. Magnesite (MgO 83 –93 % & Fe_2O_3 2 – 7 %)
2. Dolomite bricks (MgO 40,6% ; CaO 39,1% ; SiO_2 15,1% ; Al_2O_3 3,2 % ; Fe_2O_3 1-3%)
3. Forsterite (MgO 57,3% ; SiO_2 42,7%)

Magnesite adalah refraktori yang paling cocok untuk kupola asam, namun memiliki muai panas yang besar, konduktivitas panas yang tinggi, dan biayanya mahal.

Dolomite dapat menyerap kelembaban dari atmosfer, karena itu bahan ini hanya dipergunakan pada jenis kupola kontinyu.

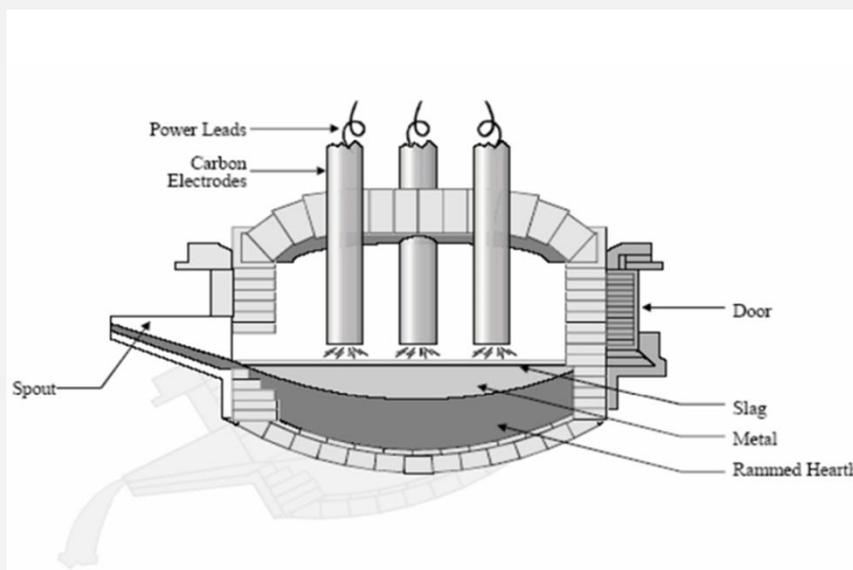


2.4 Tungku/ Tanur Kupola

Tungku kubah dianggap sebagai salah satu teknologi peleburan yang paling

Tanur busur listrik (EAF) adalah tanur yang menggunakan energi busur listrik untuk memanaskan dan melelehkan material.

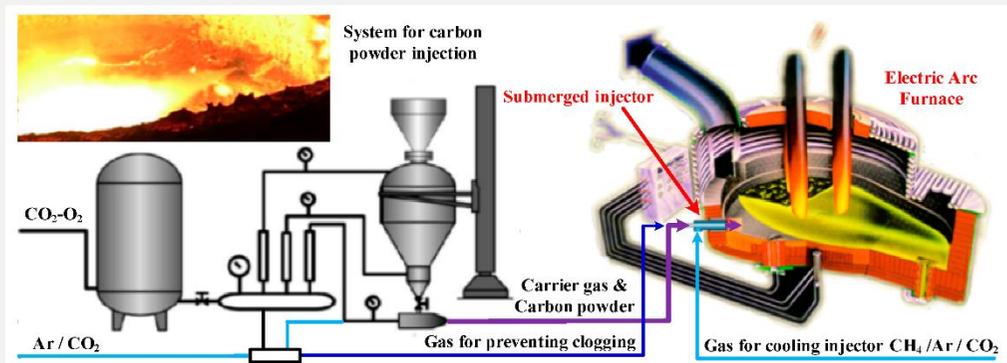
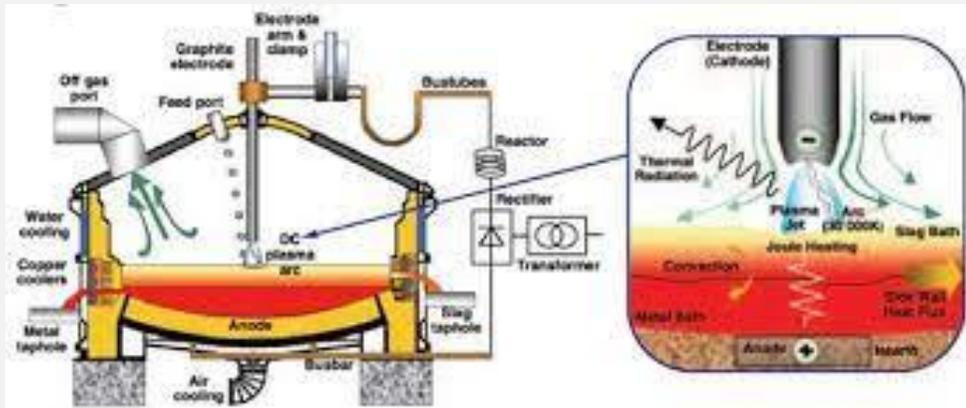
Tanur ini memiliki kapasitas mulai dari 1 ton (biasanya untuk memproduksi besi kasar) hingga 400 ton (untuk baja sekunder). Tanur busur listrik industri dapat mencapai suhu 1.800°C (3.272°F) sementara bejana laboratorium dapat mencapai lebih dari 3.000°C (5.432°F).

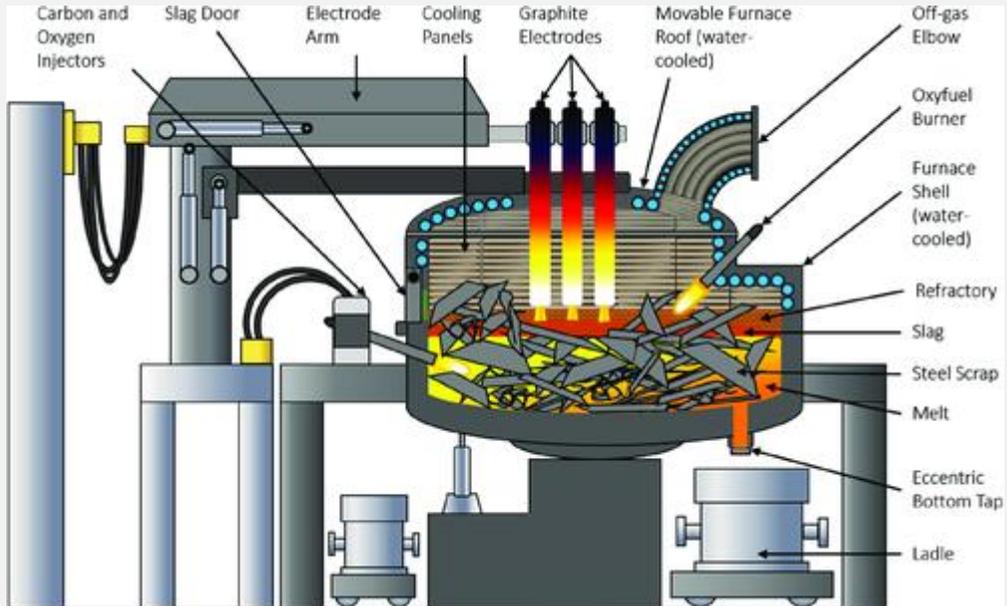


Bagaimana cara melelehkan logam dengan tanur busur listrik?

Dalam tanur busur listrik, material bersentuhan langsung dengan busur listrik dan arus listrik mengalir melalui material. Oleh karena itu, peleburan lebih efektif daripada teknologi lain yang menggunakan panas eksternal.

Tanur busur listrik sering digunakan untuk melelehkan baja (mencakup 87%) sedangkan 13% untuk melelehkan besi. Mereka dapat memproses baja, potongan mobil, skrap, termasuk elemen residu tinggi dengan baik yang tidak akan efektif dengan peleburan kubah.





Tanur listrik yang menggunakan busur listrik sebagai pemanasnya. Busur listrik diperoleh langsung dari reaksi electrode dengan elektrod atau dengan cairan besi. Elektrode menghasilkan busur listrik dengan suhu peleburan sekitar 3.000 C. Elektrode yang digunakan terbuat dari karbon murni dan diambil dari pipa-pipa pembangkit gas karbon monoksida pada tekanan 250–300 atmosfer. Pada penggunaan tanur busur listrik tidak terjadi pencampuran karbon ke dalam cairan baja sehingga menghasilkan baja dengan kualitas tinggi.

2.4 Peralatan Penunjang

2.4.1. Alat penunjang K3

Pentingnya K3 Dalam Industri Pengecoran Logam

K3 (Kesehatan, dan Keselamatan Kerja) merupakan aspek yang sangat penting dalam usaha meningkatkan kesejahteraan karyawan serta produktivitas karyawan. Apabila tingkat keselamatan kerja tinggi, maka kecelakaan saat bekerja yang menyebabkan sakit, cacat, bahkan hingga kematian dapat ditekan sekecil mungkin. Dalam industri pengecoran logam K3 harus diperhatikan karena banyak hazard atau sumber bahaya yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja dan PAK (Penyakit Akibat Kerja)

K3 perlu diterapkan dalam industri pengecoran logam karena sangat berhubungan dengan proses produksi. Dengan diterapkannya K3 dalam industri pengecoran logam tentu akan membuat proses produksi berjalan lancar. Apabila K3 tidak diterapkan dalam suatu perusahaan maka akan banyak menyebabkan terjadinya kecelakaan kerja. Kecelakaan tersebut akan berdampak juga terhadap proses produksi yang menjadi lambat, dan pada akhirnya perusahaan mengalami kerugian

□ **Perlengkapan K3 dalam Industri Pengecoran Logam**

Dalam proses bekerja di industri pengecoran K3 sangat penting untuk dilakukan bagi tenaga kerja, karena dalam setiap pekerjaan pasti ada resikonya. Oleh karena itu, untuk mengurangi kecelakaan dalam bekerja diwajibkan untuk menggunakan perlengkapan atau alat pelindung diri/ K3. Berikut beberapa peralatan pelindung diri dalam bekerja :

No.	Alat K3	Ilustrasi
1.	<p>Pakaian pelindung Dengan menggunakan pakaian pelindung yang disesuaikan dengan pekerjaan kita, tentu akan membuat pakaian biasa terhindar dari percikan api terutama pada waktu mengelas dan menempa. Selain itu, memakai pakaian ini akan melindungi badan kita dari luka seperti terserang radiasi panas dan percikan beram atau luka yang lainnya. Lengan baju jangan dilipat/ digulung, sebab lengan baju akan melindungi tangan dari sinar api.</p>	
2.	<p>Alat pelindung kepala Helm merupakan alat pelindung kepala secara umum jika kita bekerja pada mesin-mesin yang berputar. Helm melindungi terpuntirnya rambut</p>	

	oleh putaran mesin bor atau rambut terkena percikan api pada saat mengelas	
3.	<p>Pelindung mata Mata harus terlindung dari panas, sinar yang menyilaukan, dan debu. Setiap kacamata memiliki kegunaan masing-masing, kacamata debu berguna melindungi mata dari bahaya debu dan kacamata las berguna melindungi mata dari sinar yang menyilaukan</p>	
4.	<p>Pelindung hidung dan mulut Pada saat bekerja di industri pengecoran logam hidung dan mulut harus dilindungi dari berbagai bahaya yang ada. Debu dari pasir cetak, gerinda dan asap peleburan akan membahayakan paru-paru. Maka dari itu, penggunaan masker harus dilakukan agar terhindar dari bahaya yang tidak diinginkan</p>	
5.	<p>Pelindung tangan Alat pelindung tangan yaitu sarung tangan, alat yang satu ini terbuat dari bermacam-macam bahan yang disesuaikan dengan kebutuhan. Tujuan dari penggunaan sarung tangan adalah untuk melindungi tangan dari bahaya</p>	
6.	<p>Alat pelindung kaki Sepatu adalah alat yang digunakan agar kaki terhindar dari bahaya. Sepatu tersebut menghindarkan kerusakan pada kaki dari tusukan benda tajam, tertimpa benda yang berat, terkena benda panas, terbakar oleh zat kimia dan lain sebagainya</p>	

- **Apa Akibat Jika K3 Tidak Diterapkan?**

K3 di industri pengecoran logam harus diperhatikan dan dilakukan, sebab apabila tidak dilakukan maka bisa mengakibatkan timbulnya penyakit. Penyakit tersebut diantaranya yaitu :

- **Penyakit saluran pernapasan**

Penyakit saluran pernapasan yang paling umum disebabkan karena tidak diperhatikannya K3 di industri pengecoran logam adalah bronchitis, pneumoconiosis, dan kanker paru-paru. Penyakit-penyakit ini dikaitkan dengan paparan pada debu silika dan debu metal/ non metal lain yang

terhirup sepanjang bekerja. Debu-debu ini apabila dalam jangka waktu yang lama maka akan terakumulasi dalam paru-paru dan merangsang sistem inflamasi.

- **Penyakit diluar saluran pernapasan**

Selain penyakit saluran pernapasan, K3 yang tidak diperhatikan juga dapat menyebabkan penyakit intoksikasi Timbal (Pb), karbon monoksida, dan Beryllium (Berylliosis).

- **Thermal stress**

Stress badan akibat suhu tinggi yang dibuat sistem pengecoran logam. \

- **Masalah pendengaran**

Masalah pendengaran ini dapat terjadi karena nada bising pada mesin bisa menyebabkan rusaknya pendengaran pekerja.

- **Sindrom akibat getaran**

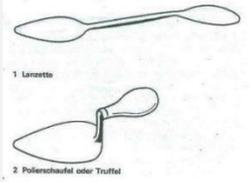
Dikenal juga dengan Raynaud's Phenomenon of Occupational Origin.

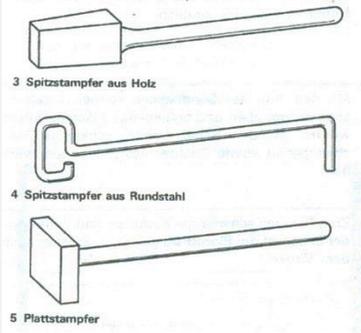
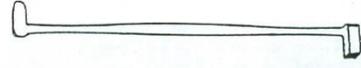
Penyakit ini muncul akibat pemakaian alat-alat yang bergetar pada periode waktu yang lama.

Demikian pembahasan mengenai pentingnya K3 dalam industri pengecoran logam. Tidak hanya di pengecoran logam, K3 harus diperhatikan dimanapun Anda bekerja., hal tersebut berguna agar Anda terhindar dari hal yang tidak diinginkan. Maka dari itu, tetap jaga keselamatan pada saat bekerja ya.

2.4.2 Peralatan Penunjang

Tabel 2.1. Peralatan penunjang utama pembuatan cetakan

Peralatan	Ilustrasi . [reff. 17]
1. Sendok/ lanset 2. Sekop daun/ truffle	

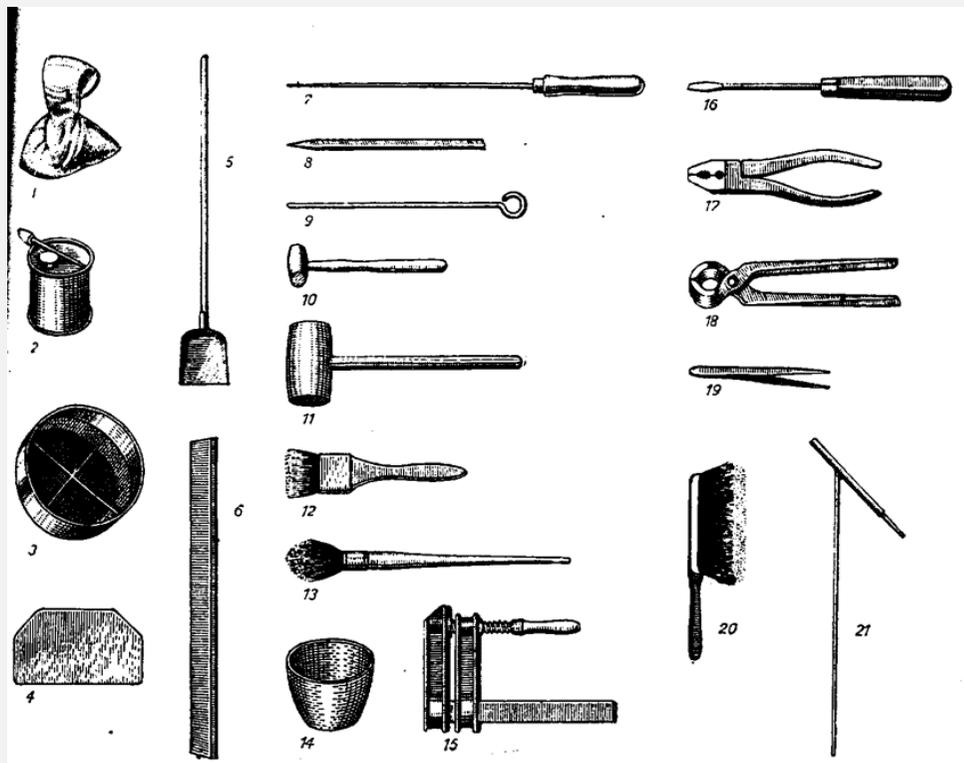
<p>3. Pemasat pipih 4. Pemasat pipih baja beton 5. Pemasat rata</p>	 <p>3 Spitzstamper aus Holz 4 Spitzstamper aus Rundstahl 5 Plattstamper</p>
<p>6. Sendok poles</p>	
<p>7. Mal/ kancing poles</p>	
<p>8. Tuas pengait lurus</p>	
<p>9. Tuas pengait miring</p>	
<p>10. Ladell Penuang Sampel Uji</p>	

2.3.2 Peralatan Penunjang Lainnya

Peralatan penunjang untuk pembuatan cetakan dapat dilihat pada table 2.2

Tabel 2.2 Peralatan penunjang lainnya

Peralatan	Peralatan tangan
1. Serbuk talk	11. Palu kayu
2. Minyak pemisah	12. Kuas rata
3. Ayakan	13. Kuas bundar
4. Sekop kecil	14. Cawan/ ember
5. Sekop besar	15. Klem
6. Mistar/ penggaris	16. Obeng
7. Batang penusuk/ganco	17. Tang
8. Penitik	18. Tang kakatua
9. Pencabut pola ring	19. Pinset
10. Palu plastik	20. Sikat
	21. Pencabut pola T



Gambar 2.12 Peralatan penunjang untuk pembuatan cetakan. [2]

BAB 3 TEKNIK DASAR PELEBURAN ALUMINIUM

Teknik Dasar Peleburan Aluminium dengan menggunakan tungku/ tanur Kriusibel.

3.1 Bahan Baku

Bahan baku yang umumnya digunakan untuk dilebur pada tungku/ tanur Induksi dikelompokkan menjadi bahan dasar, bahan paduan dan bahan tambah.

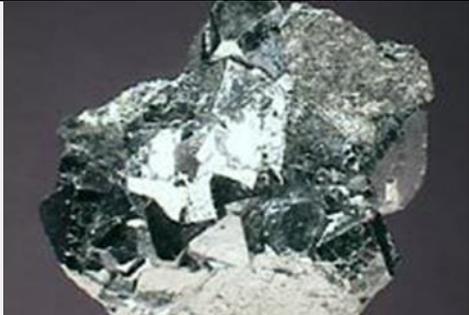
3.1.1 Bahan Dasar

Bahan dasar digunakan sebagai bahan utama dalam peleburan Baja. Bahan dasar yang umum digunakan berupa Ingot Baja maupun rongsokan Baja. Logam Batangan/ ingot diperoleh dari hasil pengolahan bauksit $Al(OH)_3$

	
Aluminium Ingot	Rongsokan Aluminium
	
Potongan plat Aluminium	Potongan Profil

3.1.2 Bahan Paduan

Bahan paduan digunakan untuk memenuhi komposisi Unsur yang disyaratkan oleh standar material Baja yang diinginkan. Bahan paduan yang umum digunakan dalam peleburan Baja antara lain .

	
<p>Carburizer</p>	<p>Silikon</p>
	
<p>Tembaga</p>	<p>Zink</p>
	
<p>Al-Si</p>	<p>Dural</p>

3.1.3 Bahan Tambah

Bahan tambah digunakan untuk memperbaiki kualitas dari cairan logam, disesuaikan dengan fungsi dan manfaatnya. Bahan tambah yang umum digunakan dalam peleburan Baja antara lain:.

	
Kalsium Fluorid	Natrium Chlorid
	
Gas Argon	CaSi

Bahan Pelindung

- Kalsium Fluorid ; pencair terak.
- Natrium Chlorid ; penghalus butiran
- Gas Argon : pelindung Oksidasi

3.2 Operasi dengan tungku/ tanur krusibel

3.2.1 Langkah Persiapan

Sebelum memasukkan skrap atau bahan kedalam tanur yang sedang berisi cairan logam, perhatikan hal-hal berikut :

1. **Bahan yang akan dimasukkan kedalam tanur harus kering (tidak boleh basah)**
2. **Bahan baku tidak boleh mengandung air yang terjebak didalamnya.**
3. **Bahan yang dimasukkan tidak boleh memiliki rongga yang tertutup rapat, karena pemuaiian udara didalamnya dapat menimbulkan ledakan.**

PERINGATAN !

Periksa kapasitor non PCB pada tanur secara rutin setiap minggu. Hasil solderan yang retak atau kebocoran dapat menimbulkan kebakaran.

Bersihkan bekas-bekas oli yang ada pada daerah tersebut.

Kebocoran oli dapat memicu ledakan.

Keretakan pada solderan/sambungan kapasitor dapat menimbulkan kebocoran oli sehingga menyebabkan adanya percikan bunga api dan gas didalam unit. Gas tersebut dapat mengembang didalam kapasitor dan menambah keretakannya. Gas yang tersebar didalam kabinet ini akan memicu ledakan yang membahayakan.

PERINGATAN !

Jika tanur induksi anda secara otomatis berhenti ketika sedang beroperasi, periksalah kapasitor dari kemungkinan keretakan solderannya atau pembengkakan. Jangan menghidupkan tanur sebelum kapasitor yang retak atau rusak diganti.

Spesifikasi pakaian keselamatan kerja

- ◆ Semua bahan pakaian kerja harus mengandung minimal 92% katun, menutup semua bagian tubuh dan lengan baju yang panjang.
- ◆ Semua mantel, apron, kacamata, pelindung muka dan sarung tangan harus dalam kondisi yang dapat dipergunakan dengan baik.

- ◆ Gunakanlah kacamata kerja dengan pelindung bagian pinggir yang permanen selama di area bengkel. Jangan gunakan kacamata *flip up* maupun *contact lenses*.
- ◆ Gunakan sepatu kerja yang memiliki plat pelindung dibagian ujung jari, anti slip dan tahan terhadap panas.
- ◆ Gunakan alat pernapasan sekaligus pelindung dari debu.
- ◆ Gunakan alat pelindung pendengaran.
- ◆ Rambut harus pendek atau tertutup.
- ◆ Disarankan untuk tidak menggunakan perhiasan selama bekerja pada proses peleburan karena dapat membahayakan keselamatan.
- ◆ Ketika menuang cetakan, gunakanlah :
 1. Apron
 2. Lengan baju harus menutup seluruh lengan
 3. Pelindung muka (selain kacamata)
 4. Sarung tangan asbes

Persiapan

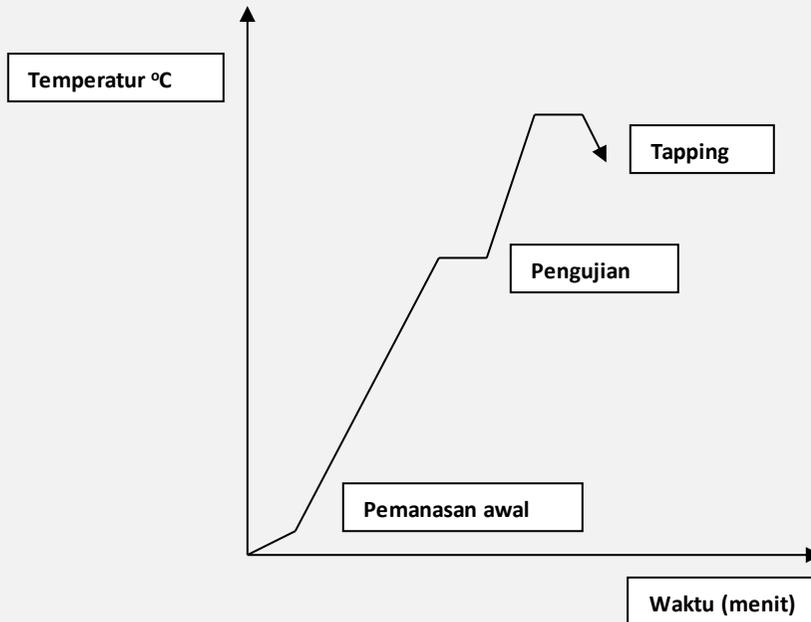
- Persiapan alat dan bahan, juga peralatan keselamatan kerja.
- Memeriksa katup air.
- Memeriksa diameter tanur 330 -370 mm.
- Menyalakan generator 20 menit, untuk test generator dan *recharg accu*
- Aktifkan switch no 5 s/d no 14, tanur siap untuk diaktifkan.
- Memasukkan bahan dasar dalam tanur (ditata) hingga penuh

3.2.2 Langkah Operasi

Langkah kerja	Ilustrasi. [ref 17]
Menghidupkan tanur induksi 1. Aktifkan tanur dengan menekan tombol ON sebagai pemanasan awal. <i>Display control</i> Daya menunjukkan dengan beban kira-kira 10 kw.	
2. Daya dinaikkan bertahap dari 60 kw hingga 120 kw, logam mulai mencair dengan mengatur potensiometer.	

Selalu Perhatikan <i>display control</i> , pastikan tidak ada tanda peringatan.	
3. Daya dinaikkan hingga fullpower .	
Bahan dasar dan paduan dimasukkan bertahap hingga penuh dan mencair seluruhnya.	
4. Lakukan pengukuran temperatur, hingga temperatur yang cocok untuk dilakukan pengambilan sampel	
5. Penahanan temperatur (holding) dengan mengatur daya di 60 kW	
6. Lakukan koreksi komposisi jika diperlukan, kemudian naikkan daya hingga temperatur mencapai temperatur tapping.	
7. Penahan temperatur (holding) dengan mengatur daya di 60 kW, sambil melakukan pembersihan terak	
8. Cairan siap untuk di tapping ke dalam ladle yang sudah dipanaskan.	
9. Matikan tanur dengan menekan tombol OFF.	
10. Bersihkan/ keluarkan sisa-sisa cairan pada tanur induksi.	

Gambar menunjukkan sekuen proses peleburan



Gbr. 4 *Secuence* proses peleburan

3.3 Kontrol Kualitas

Untuk mendapatkan kualitas cairan logam yang lebih akurat, perlu dilakukan pengujian secara laboratorium. Laboratorium Pengujian lab pada umumnya menguji kualitas cairan logam.

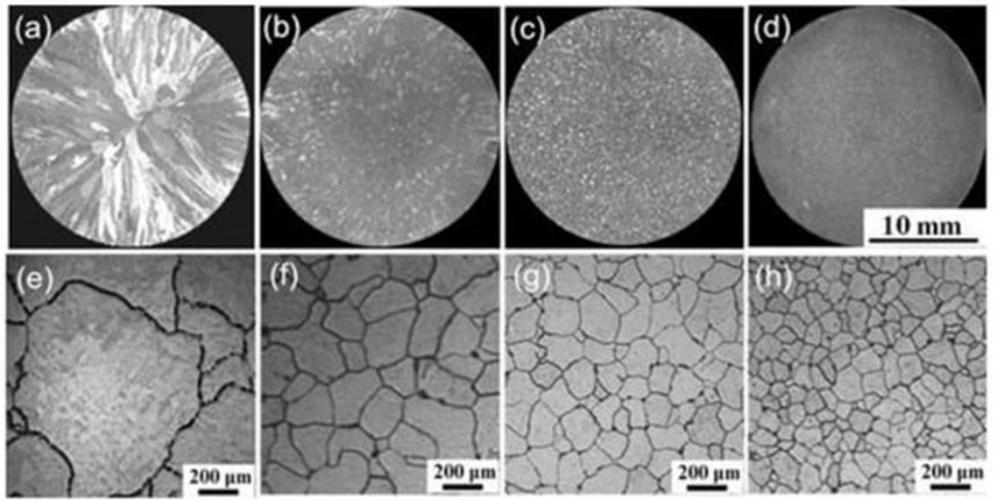
Laboratorium/ pemantauan kualitas

Sarana

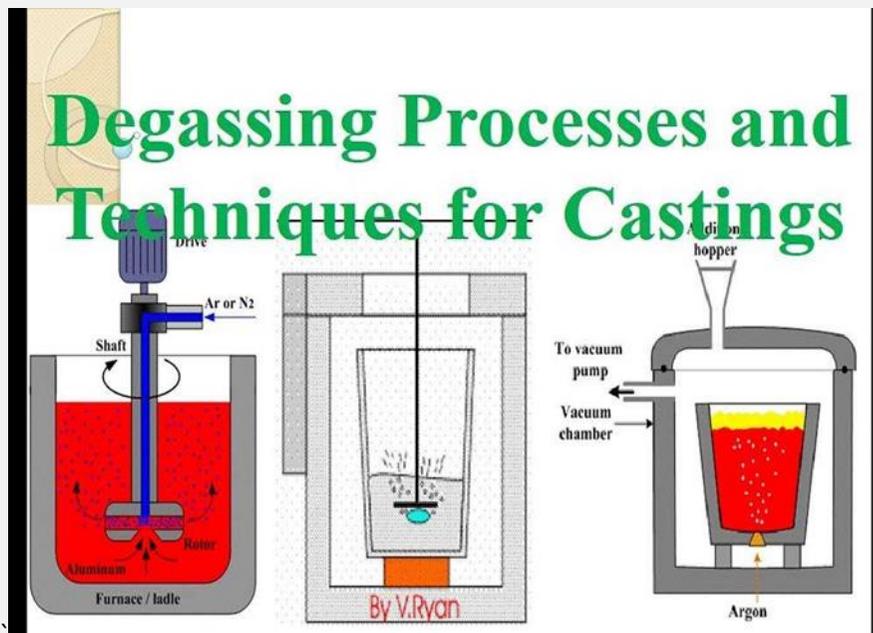
- a) - Pengukur temperatur
- b) - Laboratorium kimia
- c) - Laboratorium mekanis

Sasaran pengujian

- d) - Pengujian komposisi
- e) - Pengujian Mekanik
- f) - Pengujian cacat (Non Destructive Test)



3.4 Perlakuan lanjut



BAB 4 TEKNIK DASAR PELEBURAN BESI

Teknik Dasar Peleburan Besi dengan menggunakan tungku/ tanur Kupola

4.1 Bahan Baku

Bahan baku yang umumnya digunakan untuk dilebur pada tungku/ tanur Induksi dikelompokkan menjadi bahan dasar, bahan paduan dan bahan tambah.

4.1.1 Bahan Dasar

Bahan dasar digunakan sebagai bahan utama dalam peleburan Baja. Bahan dasar yang umum digunakan berupa Ingot Baja maupun rongsokan Baja.

	
Besi Kasar/ Pig Iron	Return Material Besi Cor
	
Baja Scrap	Potongan Baja Profil

5.1.2 Bahan Paduan

Bahan paduan digunakan untuk memenuhi komposisi Unsur yang disyaratkan oleh standar material Baja yang diinginkan. Bahan paduan yang umum digunakan dalam peleburan Baja antara lain .

	
Carburizer	Ferro Silikon
	
Ferro Mangan	Ferro Chrom
	
Ferro Nickel	Ferro Molybdenum

4.1.3 Bahan Tambah

Bahan tambah digunakan untuk memperbaiki kualitas dari cairan logam, disesuaikan dengan fungsi dan manfaatnya. Bahan tambah yang umum digunakan dalam peleburan Baja antara lain:.

	
Slag Remover	Batu Kapur
	
Al degaser	Inokulasi FeSi 75

4.2 Teknik Operasi Peleburan dengan Tanur Kupola

4.2.1 Langkah Persiapan

Sebelum memasukkan skrap atau bahan kedalam tanur yang sedang berisi cairan logam, perhatikan hal-hal berikut :

4. **Bahan yang akan dimasukkan kedalam tanur harus kering (tidak boleh basah)**
5. **Bahan baku tidak boleh mengandung air yang terjebak didalamnya.**
6. **Bahan yang dimasukkan tidak boleh memiliki rongga yang tertutup rapat, karena pemuaiian udara didalamnya dapat menimbulkan ledakan.**

PERINGATAN !

Periksa kapasitor non PCB pada tanur secara rutin setiap minggu. Hasil solderan yang retak atau kebocoran dapat menimbulkan kebakaran.

Bersihkan bekas-bekas oli yang ada pada daerah tersebut.

Kebocoran oli dapat memicu ledakan.

Keretakan pada solderan/sambungan kapasitor dapat menimbulkan kebocoran oli sehingga menyebabkan adanya percikan bunga api dan gas didalam unit. Gas tersebut dapat mengembang didalam kapasitor dan menambah keretakannya. Gas yang tersebar didalam kabinet ini akan memicu ledakan yang membahayakan.

PERINGATAN !

Jika tanur induksi anda secara otomatis berhenti ketika sedang beroperasi, periksalah kapasitor dari kemungkinan keretakan solderannya atau pembengkakan. Jangan menghidupkan tanur sebelum kapasitor yang retak atau rusak diganti.

□ **Spesifikasi pakaian keselamatan kerja**

- ◆ Semua bahan pakaian kerja harus mengandung minimal 92% katun, menutup semua bagian tubuh dan lengan baju yang panjang.
- ◆ Semua mantel, apron, kacamata, pelindung muka dan sarung tangan harus dalam kondisi yang dapat dipergunakan dengan baik.

- ◆ Gunakanlah kacamata kerja dengan pelindung bagian pinggir yang permanen selama di area bengkel. Jangan gunakan kacamata *flip up* maupun *contact lenses*.
- ◆ Gunakan sepatu kerja yang memiliki plat pelindung dibagian ujung jari, anti slip dan tahan terhadap panas.
- ◆ Gunakan alat pernapasan sekaligus pelindung dari debu.
- ◆ Gunakan alat pelindung pendengaran.
- ◆ Rambut harus pendek atau tertutup.
- ◆ Disarankan untuk tidak menggunakan perhiasan selama bekerja pada proses peleburan karena dapat membahayakan keselamatan.
- ◆ Ketika menuang cetakan, gunakanlah :
 5. Apron
 6. Lengan baju harus menutup seluruh lengan
 7. Pelindung muka (selain kacamata)
 8. Sarung tangan asbes

Persiapan

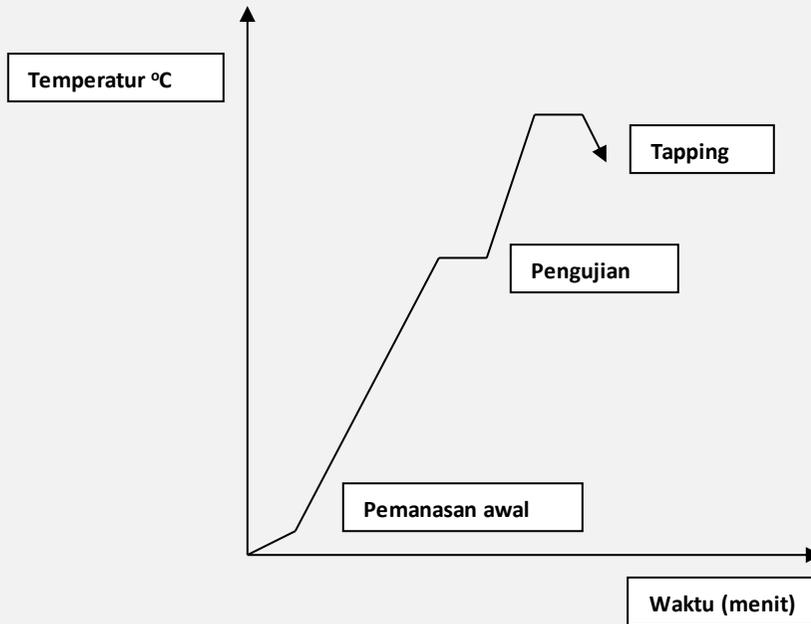
- Persiapan alat dan bahan, juga peralatan keselamatan kerja.
- Periksa katup air.
- Periksa diameter tanur 330 -370 mm.
- Menyalakan generator 20 menit, untuk test generator dan *recharg accu*
- Aktifkan switch no 5 s/d no 14, tanur siap untuk diaktifkan.
- Memasukkan bahan dasar dalam tanur (ditata) hingga penuh

4.2.2 Langkah Operasi

Langkah kerja	Ilustrasi. [ref 17]
Menghidupkan tanur induksi 11. Aktifkan tanur dengan menekan tombol ON sebagai pemanasan awal. <i>Display control</i> Daya menunjukkan dengan beban kira-kira 10 kw.	
12. Daya dinaikkan bertahap dari 60 kw hingga 120 kw, logam mulai mencair dengan mengatur potensiometer.	

Selalu Perhatikan <i>display control</i> , pastikan tidak ada tanda peringatan.	
13. Daya dinaikkan hingga fullpower .	
Bahan dasar dan paduan dimasukkan bertahap hingga penuh dan mencair seluruhnya.	
14. Lakukan pengukuran temperatur, hingga temperatur yang cocok untuk dilakukan pengambilan sampel	
15. Penahanan temperatur (holding) dengan mengatur daya di 60 kW	
16. Lakukan koreksi komposisi jika diperlukan, kemudian naikkan daya hingga temperatur mencapai temperatur tapping.	
17. Penahan temperatur (holding) dengan mengatur daya di 60 kW, sambil melakukan pembersihan terak	
18. Cairan siap untuk di tapping ke dalam ladle yang sudah dipanaskan.	
19. Matikan tanur dengan menekan tombol OFF.	
20. Bersihkan/ keluarkan sisa-sisa cairan pada tanur induksi.	

Gambar menunjukkan sekuen proses peleburan



Gbr. 4 *Secuence* proses peleburan

4.3 Kontrol Kualitas

Beberapa kaidah yang perlu di perhatikan dalam sistem saluran dan penambah,

BAB 5 TEKNIK DASAR PELEBURAN BAJA

Teknik dasar Peleburan Baja yang dibahas didalam buku ini adalah Teknik Dasar Peleburan Baja dengan menggunakan tungku/ tanur Induksi.

5.1 BAHAN BAKU

Bahan baku yang umumnya digunakan untuk dilebur pada tungku/ tanur Induksi dikelompokkan menjadi bahan dasar, bahan paduan dan bahan tambah.

5.1.1 Bahan Dasar

Bahan dasar digunakan sebagai bahan utama dalam peleburan Baja. Bahan dasar yang umum digunakan berupa Ingot Baja maupun rongsokan Baja.

	
Ingot	Baja Scrap
	
Potongan Baja plat	Potongan Baja Profil

5.1.2 Bahan Paduan

Bahan paduan digunakan untuk memenuhi komposisi Unsur yang disyaratkan oleh standar material Baja yang diinginkan. Bahan paduan yang umum digunakan dalam peleburan Baja antara lain .

	
Carburizer	Ferro Silikon
	
Ferro Mangan	Ferro Chrom
	
Ferro Nickel	Ferro Molybdenum

5.1.3 Bahan Tambah

Bahan tambah digunakan untuk memperbaiki kualitas dari cairan logam, disesuaikan dengan fungsi dan manfaatnya. Bahan tambah yang umum digunakan dalam peleburan Baja antara lain:

	
Slag Remover	Batu Kapur
	
Al degaser	CaSi

5.2 Operasi dengan tanur Induksi

Dalam operasi Peleburan diperlukan langkah persiapan dan langkah operasi

5.2.1 Langkah Persiapan

Sebelum memasukkan skrap atau bahan kedalam tanur yang sedang berisi cairan logam, perhatikan hal-hal berikut :

7. **Bahan yang akan dimasukkan kedalam tanur harus kering (tidak boleh basah)**
8. **Bahan baku tidak boleh mengandung air yang terjebak didalamnya.**
9. **Bahan yang dimasukkan tidak boleh memiliki rongga yang tertutup rapat, karena pemuaiian udara didalamnya dapat menimbulkan ledakan.**

PERINGATAN !

Periksa kapasitor non PCB pada tanur secara rutin setiap minggu. Hasil solderan yang retak atau kebocoran dapat menimbulkan kebakaran.

Bersihkan bekas-bekas oli yang ada pada daerah tersebut.

Kebocoran oli dapat memicu ledakan.

Keretakan pada solderan/sambungan kapasitor dapat menimbulkan kebocoran oli sehingga menyebabkan adanya percikan bunga api dan gas didalam unit. Gas tersebut dapat mengembang didalam kapasitor dan menambah keretakannya. Gas yang tersebar didalam kabinet ini akan memicu ledakan yang membahayakan.

PERINGATAN !

Jika tanur induksi anda secara otomatis berhenti ketika sedang beroperasi, periksalah kapasitor dari kemungkinan keretakan solderannya atau pembengkakan. Jangan menghidupkan tanur sebelum kapasitor yang retak atau rusak diganti.

□ **Spesifikasi pakaian keselamatan kerja**

- ◆ Semua bahan pakaian kerja harus mengandung minimal 92% katun, menutup semua bagian tubuh dan lengan baju yang panjang.
- ◆ Semua mantel, apron, kacamata, pelindung muka dan sarung tangan harus dalam kondisi yang dapat dipergunakan dengan baik.
- ◆ Gunakanlah kacamata kerja dengan pelindung bagian pinggir yang permanen selama di area bengkel. Jangan gunakan kacamata *flip up* maupun *contact lenses*.
- ◆ Gunakan sepatu kerja yang memiliki plat pelindung dibagian ujung jari, anti slip dan tahan terhadap panas.
- ◆ Gunakan alat pernapasan sekaligus pelindung dari debu.
- ◆ Gunakan alat pelindung pendengaran.
- ◆ Rambut harus pendek atau tertutup.
- ◆ Disarankan untuk tidak menggunakan perhiasan selama bekerja pada proses peleburan karena dapat membahayakan keselamatan.
- ◆ Ketika menuang cetakan, gunakanlah :
 9. Apron
 10. Lengan baju harus menutup seluruh lengan

11. Pelindung muka (selain kaca mata)
12. Sarung tangan asbes

Persiapan

- Persiapan alat dan bahan, juga peralatan keselamatan kerja.
- Memeriksa katup air.
- Memeriksa diameter tanur 330 -370 mm.
- Menyalakan generator 20 menit, untuk test generator dan *recharg accu*
- Aktifkan switch no 5 s/d no 14, tanur siap untuk diaktifkan.
- Memasukkan bahan dasar dalam tanur (ditata) hingga penuh

5.2.2 Langkah Operasi

Besi cair harus mempunyai tuntutan sebagai berikut.

◆ *Bersih secara metalurgi*

Cairan bersih dari kotoran-kotoran berupa oksida-oksida dan terak serta elemen lain yang berafinitas tinggi dengan O₂ dalam jumlah tertentu saja. Cairan ini dapat dikenali dengan permukaan yang jernih serta pada waktu pembekuan tidak menunjukkan perubahan-perubahan.

◆ *Temperatur serta homogenisasi cairan yang baik*

◆ Murah

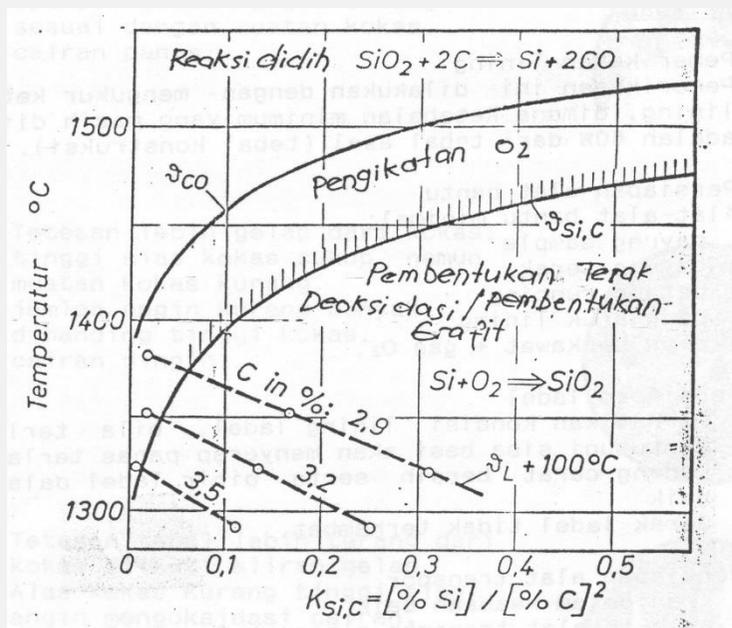
Harga jual tuangan tentu saja dipengaruhi oleh biaya peleburan. Biaya peleburan dapat ditekan melalui ketepatan teknik pemuatan maupun proses peleburan serta pengawasan pengadaan/ penyimpanan bahan baku. Penghematan energi peleburan dapat dilakukan melalui perhitungan peramuhan yang akurat serta disiplin pengoperasian tanur.

Pengendalian Tanur induksi

Pengendalian tanur induksi yang dimaksud adalah pengendalian dalam proses pencairan logam dari temperatur kamar hingga temperatur didih. Pengendalian tsb adalah pemantauan terhadap proses perlakuan pada temperatur yang dicapai. Ada 4 istilah temperatur yang dicapai, antara lain:

- *Temperatur leleh*
Temperatur leleh adalah temperatur dimana logam mulai meleleh. Indikasinya adalah terjadi tetesan cairan dari benda tuang. Pada temperatur tersebut sangat cocok untuk pemberian Carburizer.
- *Temperatur kesetimbangan*
Temperatur kesetimbangan adalah temperatur yang dicapai setelah seluruh bahan baku mencair secara sempurna. Indikasinya adalah cairan mampu diambil saat pengambilan sampel cairan.
- *Temperatur didih*
Temperatur didih adalah temperatur yang dipilih untuk pendidihan. Proses pendidihan ini bertujuan untuk membersihkan cairan dari kelebihan oksida.
- *Temperatur tapping*
Temperatur tapping adalah temperatur yang dipilih untuk pengeluaran cairan kedalam Ladle Penuang.

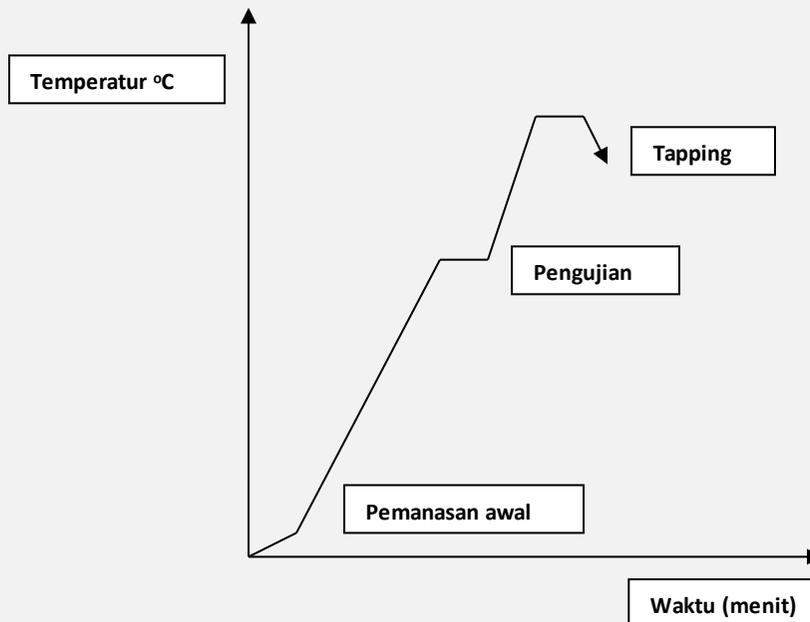
Tiga Unsur yang sangat menentukan pengendalian operasi tanur induksi yaitu : C, Si, dan O₂. Dibawah ini terlampir contoh diagram yang menunjukkan batas-batas temperatur yang dicapai pada proses peleburan besi cor kelabu .



Tabel. Langkah Kerja Operasi Tanur Induksi

Langkah kerja	Ilustrasi. [ref 17]
Menghidupkan tanur induksi 21. Aktifkan tanur dengan menekan tombol ON sebagai pemanasan awal. <i>Display control</i> Daya menunjukkan dengan beban kira-kira 10 kw.	
22. Daya dinaikkan bertahap dari 60 kw hingga 120 kw, logam mulai mencair dengan mengatur potensiometer. Selalu Perhatikan <i>display control</i> , pastikan tidak ada tanda peringatan.	
23. Daya dinaikkan hingga fullpower.	
Bahan dasar dan paduan dimasukkan bertahap hingga penuh dan mencair seluruhnya.	
24. Lakukan pengukuran temperatur, hingga temperatur yang cocok untuk dilakukan pengambilan sampel	
25. Penahanan temperatur (holding) dengan mengatur daya di 60 kW	
26. Lakukan koreksi komposisi jika diperlukan, kemudian naikan daya hingga temperatur mencapai temperatur tapping.	
27. Penahan temperatur (holding) dengan mengatur daya di 60 kW, sambil melakukan pembersihan terak	
28. Cairan siap untuk di tapping ke dalam ladle yang sudah dipanaskan.	
29. Matikan tanur dengan menekan tombol OFF.	
30. Bersihkan/ keluarkan sisa-sisa cairan pada tanur induksi.	

Gambar menunjukkan sekuen proses peleburan



Gbr. 4 *Secuence* proses peleburan

5.3 Kontrol Kualitas

Pasir cetak untuk inti dengan metode CO_2 , dibuat melalui pencampuran beberapa bahan yaitu pasir kuarsa sebagai bahan utama, kemudian ditambah air kaca (water glass), juga ditambahkan gula tetes untuk memperbaiki sifat.

Gambar 5.6. Alat pengaduk pasir untuk metode CO_2

Gambar 5.6 menunjukkan mixer (pengaduk) untuk pasir CO_2 proses. Pada pengaduk type ini terdapat penyapu lengkung. Prinsip kerja dari mixer tersebut adalah untuk mencampur/ mengaduk pasir inti agar komposisinya merata.

Proses pengerasan pasir inti CO₂ ini, dengan cara pemadatan kemudian diberi hembusan gas CO₂. Hal tersebut karena terjadi reaksi kimia antara bahan *water glass* dan gas CO₂ membentuk kristal silika gel.

Reaksi terbentuknya kristal silika gel adalah sebagai berikut:

5.4 Trouble shooting

Trouble shot yang umum terjadi pada operasi tanur induksi antara lain adalah TRIP dan BRIDGING

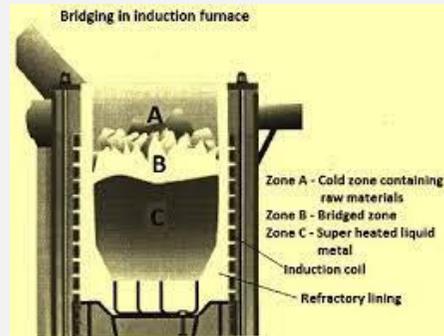
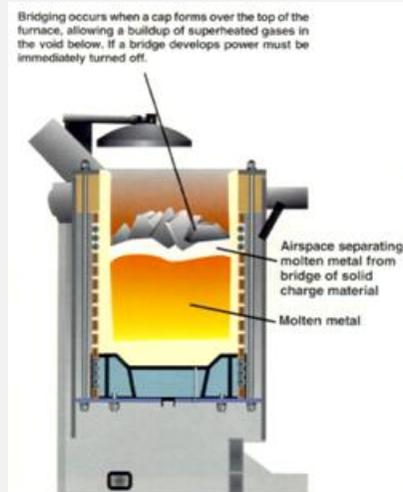
a. TRIP

Dalam kondisi ini, panel induksi berhenti, sehingga operasi peleburan terhenti. Kondisi ini dapat ditunjukkan pada display panel lampu berwarna **merah** menyala. Baik ditunjukkan akibat High Temperatur atau Low Pressure. Penangulangannya dengan cara laporkan ke teknisi peleburan dan staf maintenance. Langkah penangulangannya reset temperature switch/ Water Pressure Gauge. kemudian diamkan beberapa menit, agar circuit dingin kembali.



Water pressure gauge

b. METAL BRIDGING

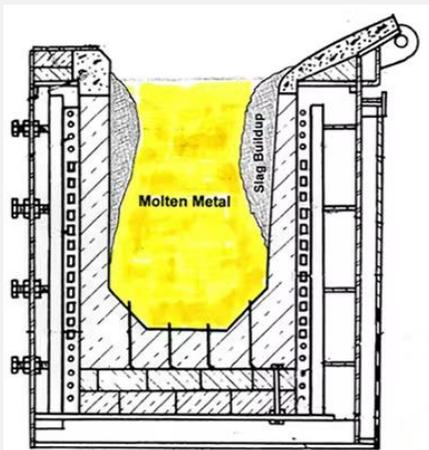
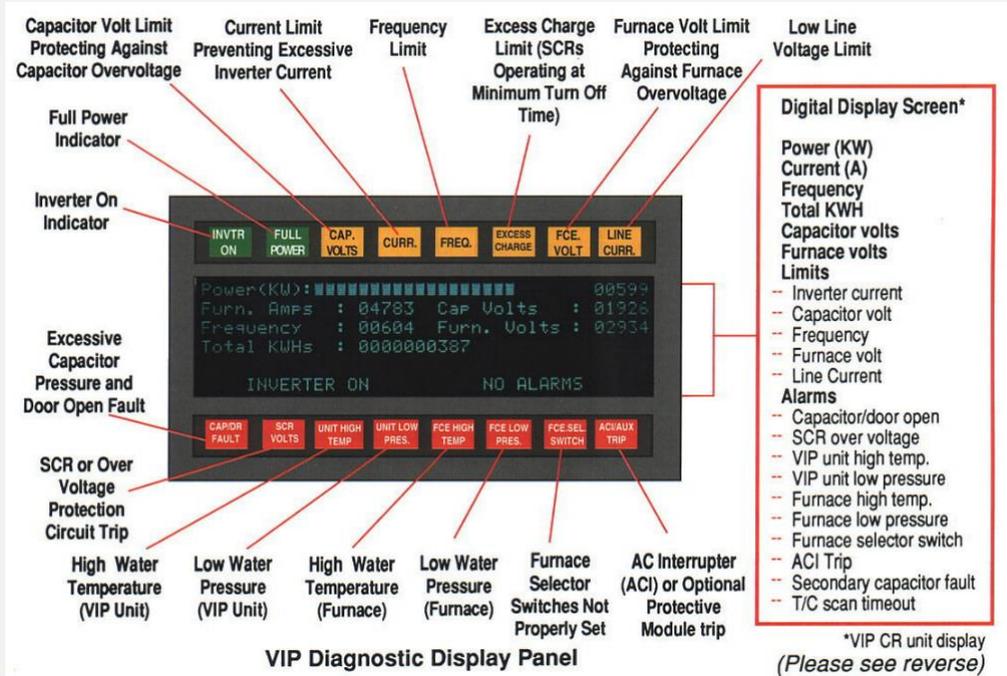


Metal bridging

Dalam kondisi ini, panel induksi tetap menyala, sehingga operasi peleburan tetap menyala, dan beresiko **meledak**. Kondisi ini dapat ditunjukkan pada display panel lampu berwarna **kuning** menyala. Baik ditunjukkan akibat *current* atau *cap volt*.

Penangulangannya dengan cara dicek muatan pada tanur induksi, apakah menggantung atau muatan tanur induksi tidak penuh. Langkah penangulangannya muatan di tanur induksi usahakan penuh dan tidak terjadi mekanikal interlok. Jika bagian permukaan sudah tertutup, tanur di miringkan.

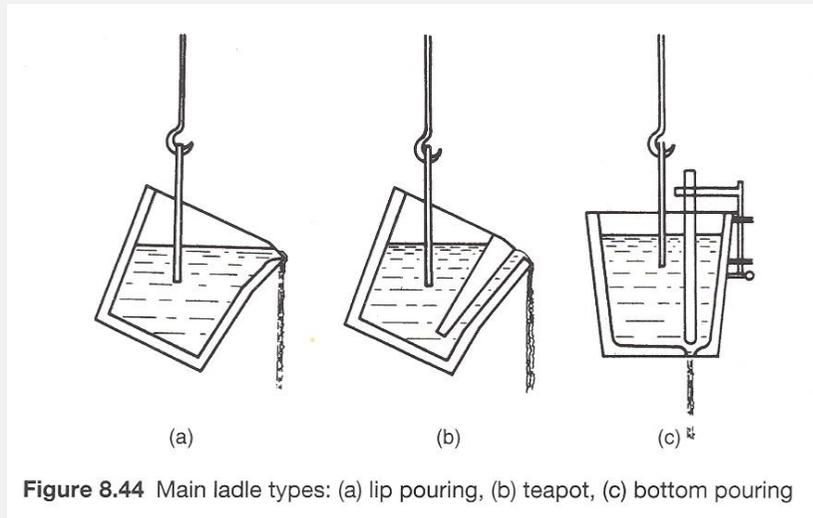
2.5 VIP Diagnostic Display Panel



BAB. 6 TEKNIK PENUANGAN

6.1 Ladel Penuang

Ladel digunakan untuk menuang cairan logam kedalam cetakan. Ladel penuang terbuat dari pelat baja yang kemudian dilapisi bahan tahan api.



Gbr.1 Jenis-jenis ladel penuang

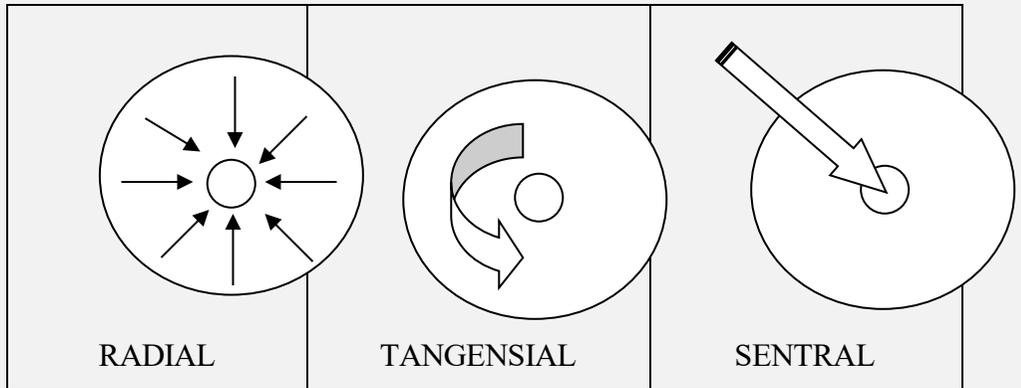
Menurut jenisnya ladel dibagi menjadi :

- a) Ladel *lip pouring*
- b) Ladel *tea pot* (teko)
- c) Ladel *bottom pouring*

Ladel yang lembab berbahaya karena menimbulkan gas dalam tuangan, pecahnya lapisan pelindung yang menyebabkan cairan tumpah atau ledakan cairan.

6.2 Teknik Penuangan

Pada proses pengecoran logam *ferro* dan *non ferro*, setelah logam mencair dan siap untuk di cor ke cetakan maka pada saat penuangan pada cetakan bisa terjadi tiga jenis aliran (masuknya cairan logam pada cetakan).



Beberapa hal yang harus diperhatikan pada saat penuangan:

a. Menahan terak

Terak akan mengambang dipermukaan cairan dan diusahakan agar tidak turut tertuangkan kedalam cetakan, oleh karena itu terak ini sesaat sebelum penuangan disingkirkan dengan bantuan batang penyingkir terak. Cara lain dengan menaburkan pengikat terak pada permukaan cairan hingga terak terikat menjadi suatu lapisan pada permukaan cairan dan tertinggal di dalam ladell. Pengikat terak tersebut adalah sekam maupun bahan industri (slag remover).

Hal yang perlu diperhatikan, batang penyingkir terak ini harus kering dan dipanaskan awal, bila tidak akan terjadi ledakan yang cukup membahayakan.

b. Posisi ladell

Posisi ladell harus sedekat mungkin dengan cawan tuang, hal ini dimaksudkan untuk mengurangi oksidasi, pusaran dan erosi.

c. Penuangan

Saat penuangan dapat terjadi 3 macam penuangan, yaitu; radial, tangensial dan sentral. Dari ketiganya yang paling baik adalah cara yang radial, karena dengan aliran tersebut akan menghindari turbulensi.

d. Cawan tuang dijaga penuh dan tidak terputus.

Cawan tuang dijaga penuh agar segala macam kotoran, oksidasi dan terak akan selalu mengambang pada permukaan cawan tuang, dan tidak ikut mengalir masuk kedalam rongga cetakan. Kondisi tersebut akan bisa dipertahankan selama penuangan tidak terputus.

e. Keselamatan kerja

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam menjaga keselamatan selama penuangan adalah:

- Semua alat yang akan berhubungan dengan cairan harus kering, terbebas dari kelembaban dan air.
- Sekitar tempat penuangan dan jalan laluan harus bersih dan bebas.
- Ditentukan hanya satu orang yang memimpin penuangan dengan perintah yang telah disepakati bersama
- Ladel jangan terlalu penuh
- Dalam membawa cairan tidak panik, waspada
- Sebelum penuangan dilakukan, perhatikan kelengkapan cetakan ; seperti; klem, pembebanan, dan letak cawan tuang.
- Gunakan pakaian pelindung yang memenuhi syarat; sepatu, kacamata, hel, pelindung muka, celemek

Persiapan

- Siapkan semua peralatan yang dibutuhkan
- Lakukan pemanasan awal untuk ladel.
- Siapkan daerah laluan
- Bila semua sudah siap lakukan penuangan

BAB. 7 LINING DAN SINTERING

7.1 Refraktori

Temperatur dan perlakuan pemanasan pada proses sintering sangat tergantung dari jenis bahan dan merek produk lining yang digunakan, oleh karena itu sangat disarankan untuk mempelajari terlebih dahulu spek teknis dari bahan lining bersangkutan. Secara umum bahan lining terdiri dari 3 jenis yang masing-masing memiliki karakteristik pemakaian yang berbeda, tergantung dari Basisitas bahan baku yang membentuknya.

Basisitas adalah perbandingan antara mineral yang terbentuk dari oksida-oksida basa umumnya MgO (magnesit) dan Cr₂O₃ (Chromit) dengan mineral yang terbentuk dari Silika (SiO₂) yang bersifat asam dan oksida netral (Al₂O₃) sebagai berikut:

$$\text{Basisitas} = \frac{\% \text{ berat oksida basa}}{\% \text{ berat } (SiO_2 + Al_2O_3)}$$

Apabila **basisitas** > 1, maka bahan lining memiliki karakter basa dan digunakan pada proses peleburan baja karbon polos sampai paduan tinggi dan besi cor paduan tinggi. Sedang **basisitas** < 1, maka bahan lining akan memiliki karakter asam dan digunakan pada umumnya proses peleburan besi cor dan baja paduan Si. Bahan lining akan memiliki karakter netral apabila terdiri dari mineral campuran schamote (Al₂O₃ dan SiO₂) dengan kandungan mayoritas adalah alumina (Al₂O₃). Lining ini dapat dipergunakan untuk proses peleburan hampir semua jenis bahan baik besi maupun baja cor.

Berikut adalah berbagai jenis mineral dengan karakteristiknya:

Mineral Basa:

- Magnesit (MgO ≥ 80%).
- Magnesit-Chrom (MgO = 55 – 80%).
- Chrom-Magnesit (MgO = 25 – 55%)
- Chromit (Cr₂O₃ ≥ 25%, MgO ≤ 25%).
- Forsterit.

- Dolomit.

Mineral Asam:

- Silika (Quarsa, Quarsite, $\text{SiO}_2 \geq 93\%$).
- Tanah liat ($\text{SiO}_2 = 85 - 93\%$).

Mineral netral (Alumina):

- Grup 1: $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 56\%$
- Grup 2: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 45 - 56\%$
-

Mineral Schamote:

- Schamote ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 30 - 45\%$)
- Schamote asam ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 10 - 30\%$, $\text{SiO}_2 < 85\%$).

Basisitas lining menentukan pemakaian dari tanur induksi dimana pemilihannya didasari oleh basisitas terak peleburan yang akan terbentuk selama proses. Bahan lining asam akan terkikis oleh terak peleburan berkarakter basa, demikian pula sebaliknya.

7.2 ReLining/ Pelapisan

Hal utama yang perlu sangat diperhatikan disamping prinsip pemanasan dan pencairan pada penggunaan tanur induksi adalah lapisan bahan tahan panas (lining) yang berfungsi sebagai krus. Kualitas lining ini sangat berperan terhadap fungsi, keselamatan kerja, metalurgi peleburan dan efisiensi.

Beban-beban yang harus dapat diatasi oleh lining adalah:

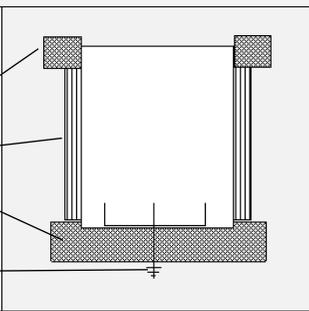
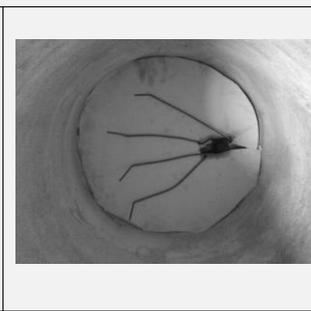
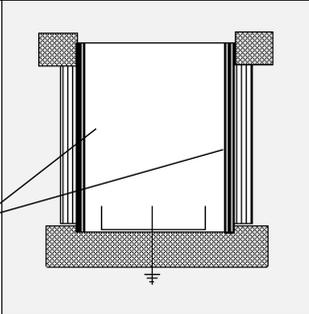
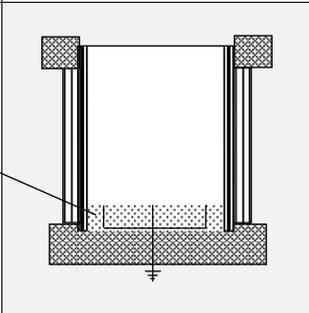
- Temperatur tinggi selama proses peleburan dan perubahan temperatur dari tinggi kerendah yang sangat cepat (temperatur shock) dan berulang-ulang khususnya ketika bahan baku dimuatkan.

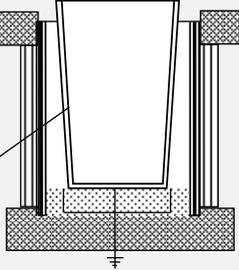
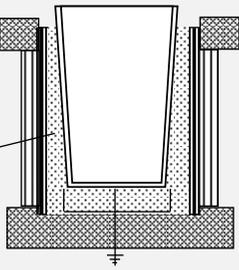
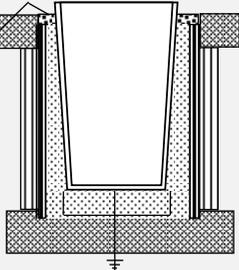
- Gaya-gaya mekanik yang dihasilkan oleh tekanan cairan, benturan bahan baku dan gesekan baik ketika bahan masih beku ataupun telah mencair.
- Efek-efek metalurgi dari reaksi-reaksi yang berlangsung antara lining dengan bahan dan terak cair, unsur-unsur asing serta merusak yang berasal dari bahan baku (Zn, Pb) yang pada temperatur peleburan besi berada dalam keadaan sangat cair sehingga mampu menyusup diantara celah-celah lining.

Ketebalan lining tanur induksi berpengaruh pula terhadap efisiensi penggunaan energi listrik karena lining yang terlalu tebal akan menghambat aliran induksi. Dengan demikian lining harus dibuat setipis mungkin dengan tetap mempertimbangkan keamanan tanur. Dewasa ini tergantung dari kapasitas muat tanur, ketebalan lining adalah antara 80 mm sampai dengan 200 mm.

Lining tanur induksi terbuat dari bahan berbentuk serbuk kasar yang kering. Bahan tersebut harus dapat terpasang dengan baik melapisi kumparan bagian dalam. Kekuatan dari bahan lining tersebut baru diperoleh setelah bahan mengalami proses sintering.

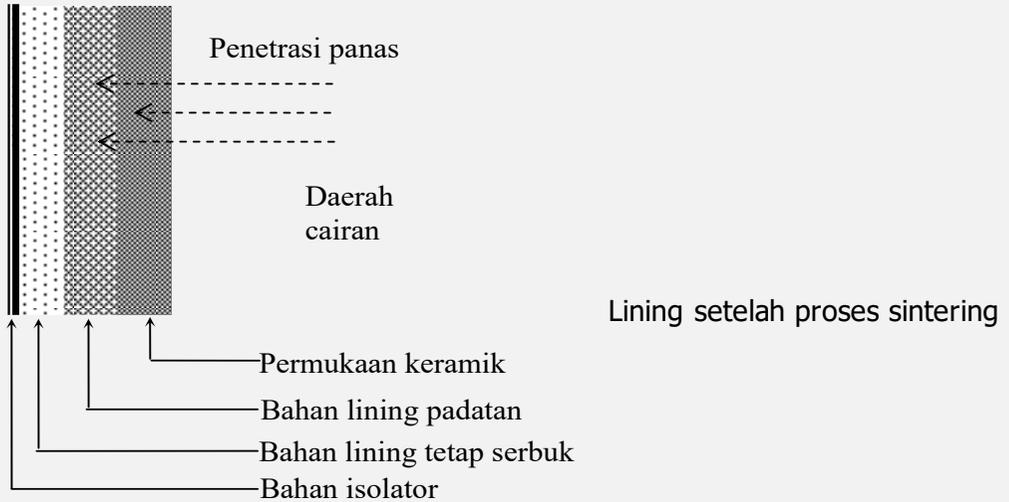
Berikut ini disampaikan tata cara pemasangan lining:

<p>1</p>	<p>Kerangka tanur sebelum pemasangan lining.</p> <p>Cast top block</p> <p>Kumparan</p> <p>Cast bottom block</p> <p>Kawat arde</p>		
<p>2</p>	<p>Pemasangan bahan isolator (slip plane) yang berfungsi selain mencegah panas terbuang juga memberikan bidang geser bagi pemuaian lining.</p> <p>Bahan isolator</p>		
<p>3</p>	<p>Pemadatan bagian dasar tanur.</p> <p>Bagian dasar dipadatkan hingga ketinggian muka arde.</p>		

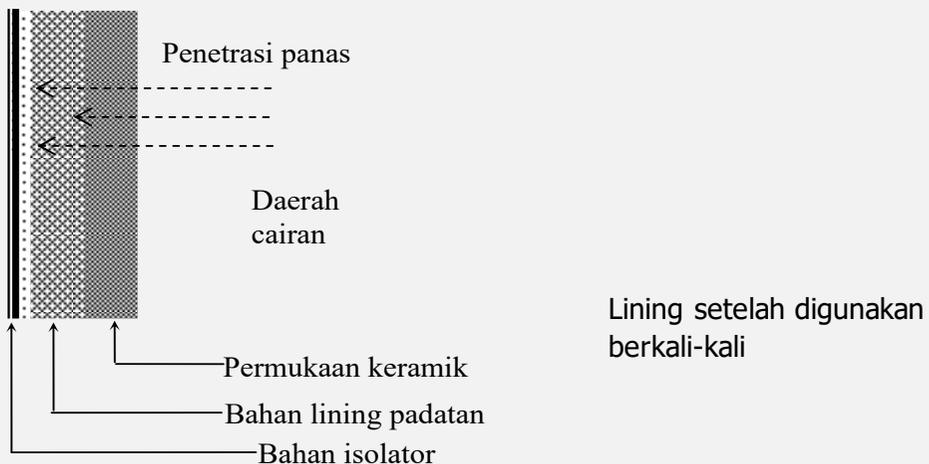
<p>4</p>	<p>Pemasangan lining former. Lining former berfungsi untuk membantu pemadatan lining (membentuk lining).</p> <p>Lining former terbuat dari pelat baja yang dibentuk.</p>		
<p>5</p>	<p>Pemadatan dinding tanur.</p> <p>Dinding harus padat homogen, sehingga pemadatan dilakukan secara bertahap dari bawah keatas.</p>		
<p>6</p>	<p>Pemadatan ditutup dengan bahan castabel didaerah cast top block.</p> <p>Bahan castable sebagai penutup</p> <p>Lining telah siap untuk mendapatkan proses sintering.</p>		

7.4 Sintiring

Proses sintiring adalah proses pemanasan terhadap lining baru sehingga bahan lining yang semula terdiri dari serbuk kasar, sebagian berubah menjadi bersifat keramik yang tahan terhadap temperatur tinggi dan pengaruh-pengaruh kimiawi, sebagian berupa padatan masif yang segera akan berubah menjadi keramik bila daerah keramik telah menipis dan sebagian masih berupa serbuk yang mampu meredam getaran akibat benturan oleh bahan baku serta meredam retakan lining.



Selama proses peleburan daerah keramik akan terus menerus terkikis oleh cairan, namun demikian daerah padatan yang terletak tepat disebelahnya akan segera menjadi keramik sehingga ketebalan daerah keramik ini relatif tetap. Hal mana terjadi pula terhadap daerah padatan yang pada saat bagian terdepan berubah menjadi keramik bagian lain segera digantikan oleh bagian bahan serbuk yang berubah menjadi padatan.

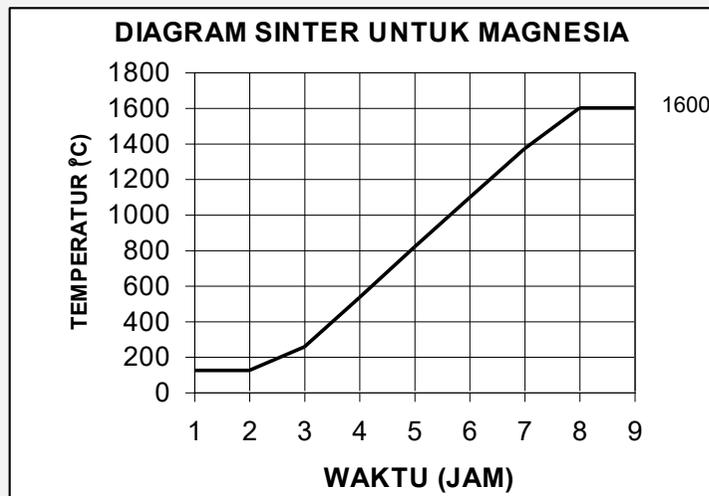


Dengan demikian pada akhirnya bagian lining yang akan habis adalah bagian yang masih berupa serbuk. Artinya, bila bagian ini sudah habis maka lining

tidak akan mampu lagi untuk meredam getaran dan retakan. Hal ini menjadi indikator bahwa lining harus segera diperbarui.

Ketebalan dari masing-masing daerah lining sesaat setelah proses sintering selesai adalah relatif sama, dengan demikian lining dapat dinyatakan habis bila ketebalannya tinggal $2/3$ dari ketebalan semula.

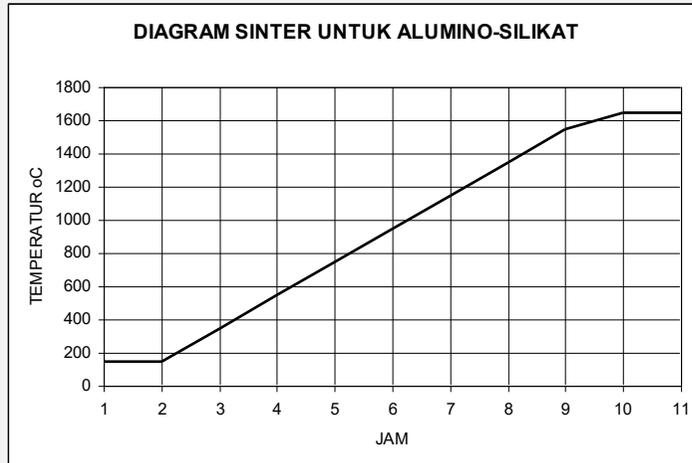
Lining baru dapat difungsikan setelah mengalami proses sintering, dimana sebagian dari bahan lining (bagian luar) yang semula terurai sebagai pasir diubah menjadi keramik melalui proses pemanasan pada temperature tinggi. Berikut disajikan kurva-kurva sintering untuk setiap karakter bahan lining.



1. Drying pada 150 °C.
2. Naikkan temperatur dengan laju pemanasan maksimum 220 °C/jam sampai suhu penahanan yaitu 1600 °C.
3. Penahanan selama 1 jam.
4. Pemanasan sampai temperatur tapping yang diinginkan. Jangan lakukan penahanan pada temperatur diatas 1600 °C kecuali untuk keperluan tapping saja.

Catatan:

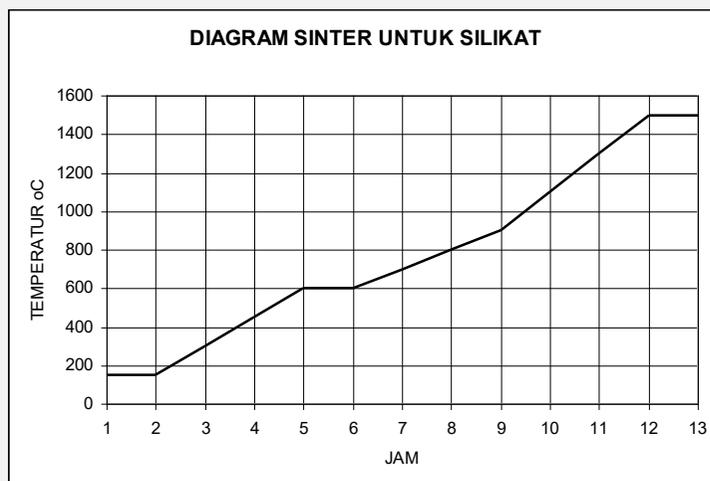
Temperatur kerja maksimum 1815 °C (short time operation).



1. Drying pada 150 °C.
2. Naikkan temperatur dengan laju pemanasan maksimum 200 °C/jam sampai suhu penahanan yaitu 1650 °C.
3. Penahanan selama 1 jam.
4. Pemanasan sampai temperatur tapping yang diinginkan. Jangan lakukan penahanan pada temperatur diatas 1650 °C kecuali untuk keperluan tapping saja.

Catatan:

Temperatur kerja maksimum 1700 °C (Short time operation).



1. Drying pada 150 °C.

2. Naikkan temperatur dengan laju pemanasan maksimum 150 °C/jam sampai suhu penahanan yaitu 600 °C.
3. Penahanan I selama 1 jam.
4. Naikkan temperatur dengan laju pemanasan maksimum 150 °C/jam sampai suhu 900 °C.
5. Pemanasan sampai temperatur sinter yang diinginkan dengan kecepatan 200 °C/jam. Jangan lakukan pengoperasian diatas temperatur yang diijinkan oleh spek material.

Catatan:

Temperatur kerja maksimum sesuai dengan % binder (lihat spek material)

Temperatur dan perlakuan pemanasan pada proses sinterring sangat tergantung dari jenis bahan dan merek produk lining yang digunakan, oleh karena itu sangat disarankan untuk mempelajari terlebih dahulu spek teknis dari bahan lining bersangkutan.

BAB 8. AKTIFITAS PEMBELAJARAN dan LATIHAN

8.1 Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas Pengantar. Mengidentifikasi isi materi pembelajaran

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

- 1) Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembuatan cetakan? Sebutkan!
- 2) Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
- 3) Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
- 4) Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan LK-00. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran dengan aktivitas berikut ini.

Persiapan

Persiapan 1, Saudara akan diberi penjelasan tentang praktek Cetakan secara keseluruhan. Berisi tentang, Tujuan, Pelaksanaan praktek, metode penilaian, metode pembuatan Laporan, K3 dan Penjelasan Dasar Teori.

Persiapan 2, Saudara diminta untuk mempelajari petunjuk praktek, diskusi dan mengisi lembar **LK-00**. (dilaksanakan di tempat praktek)

Persiapan 3, Saudara diminta untuk mengumpulkan lembar **LK-00** dan dilakukan tanya jawab.

Persiapan 4, Saudara diminta untuk mempersiapkan alat dan kelengkapan praktek.

6.2 LEMBAR KERJA KB-1**LK – 00**

1) Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembuatan cetakan? Sebutkan !

.....
.....

2). Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....
.....

3). Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....
.....

4). Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....
.....

8.3 Latihan 1

Klasifikasi Bahan

1.1. Tujuan Umum:

Dapat mengoperasikan tanur induksi untuk melebur logam.

1.2. Tujuan Khusus:

- Mengetahui prinsip kerja tanur induksi dan fungsi masing-masing panel induksi.
- Memahami bahaya-bahaya bila bekerja ditanur induksi dan pencegahan kecelakaan kerja.
- Dapat mempersiapkan bahan peleburan (seperti skrap baja dan paduan).
- Dapat mengoperasikan tanur induksi, mulai dari persiapan sampai tapping dengan bantuan teknisi yang ada serta dibawah pengawasan instruktur.

AKTIVITAS 1. Bahan Dasar

Untuk Sesi 1 dan sesi 2. Saudara diminta untuk memadatkan pasir cetak secara merata. Kemudian hasil pemadatan, diuji dengan alat pengukur kekerasan (hardness tester). Nilai kekerasan yang diinginkan kisaran antara 60 sd 75. Distribusi kepadatan > 80%.

No.	Nama Bahan	Gambar	Bentuk Fisik
1.			
2.			
3.			
4.			

AKTIVITAS 2. Bahan Paduan (2 jam) + (2jam)

Untuk **Sesi 1**, Saudara diminta untuk membuat padatan cetakan, kemudian membuat alur saluran terak (runner) dengan menggunakan lanset. Bentuk saluran terak seperti pada gambar dibawah dengan ukuran saluran terak 3 cm x 4 cm.

No.	Nama Bahan	Gambar	Bentuk Fisik
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

AKTIVITAS 3. Bahan tambah (2 jam) + (2jam)

Untuk **Sesi 1**, Saudara diminta untuk membuat padatan cetakan, kemudian membuat bentuk setengah bola dengan menggunakan lanset. Bentuk setengah bola seperti pada gambar dibawah dengan ukuran diameter 70 mm.

No.	Nama Bahan	Gambar	Bentuk Fisik
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

7.4 Latihan 2

Operasi Peleburan Krusibel (2 jam + 2 jam)

1.1. Tujuan Umum:

Dapat mengoperasikan tanur induksi untuk melebur logam.

1.2. Tujuan Khusus:

- Mengetahui prinsip kerja tanur induksi dan fungsi masing-masing panel induksi.
- Memahami bahaya-bahaya bila bekerja ditanur induksi dan pencegahan kecelakaan kerja.
- Dapat mempersiapkan bahan peleburan (seperti skrap baja dan paduan).
- Dapat mengoperasikan tanur induksi, mulai dari persiapan sampai tapping dengan bantuan teknisi yang ada serta dibawah pengawasan instruktur.

Kegiatan 1, Saudara diminta untuk membuat cetakan TERTUTUP dengan Pola Tunggal. Dilengkapi dengan sistem saluran (saluran terak, saluran masuk, riser dan cawan tuang).

Kegiatan 2, Saudara diminta untuk assembling cetakan. Cetakan di cor dengan bahan Aluminium.

Kegiatan 3, Hasil produk diperiksa dan dijadikan bahan untuk diskusi.

Tahap-tahap pengoperasiannya meliputi:

- Tahap persiapan meliputi persiapan sarana dan bahan sampai tanur siap "on".
- Tahap pengoperasian meliputi pengendalian peleburan dari "on" sampai "Tapping".
- Tahap mengakhiri operasi adalah tahap setelah tanur dan menghentikan operasi.

7.5 Latihan 3

Operasi Peleburan Induksi (2 jam + 2 jam)

1.1. Tujuan Umum:

Dapat mengoperasikan tanur induksi untuk melebur logam.

1.2. Tujuan Khusus:

- Mengetahui prinsip kerja tanur induksi dan fungsi masing-masing panel induksi.
- Memahami bahaya-bahaya bila bekerja ditanur induksi dan pencegahan kecelakaan kerja.
- Dapat mempersiapkan bahan peleburan (seperti skrap baja dan paduan).
- Dapat mengoperasikan tanur induksi, mulai dari persiapan sampai tapping dengan bantuan teknisi yang ada serta dibawah pengawasan instruktur.

Kegiatan 1, Saudara diminta untuk membuat cetakan TERTUTUP dengan Pola Satu Belahan. Dilengkapi dengan sistem saluran (saluran terak, saluran masuk, riser dan cawan tuang).

Kegiatan 2, Saudara diminta untuk assembling cetakan. Cetakan di cor dengan bahan Aluminium.

Kegiatan 3, Hasil produk diperiksa dan dijadikan bahan untuk diskusi.

Tahap-tahap pengoperasiannya meliputi:

- Tahap persiapan meliputi persiapan sarana dan bahan sampai tanur siap "on".
- Tahap pengoperasian meliputi pengendalian peleburan dari "on" sampai "Tapping".
- Tahap mengakhiri operasi adalah tahap setelah tanur dan menghentikan operasi.

7.6 Latihan 4

Teknik Pengambilan Sampel Uji (2 jam)

1.1. Tujuan Umum:

Dapat mengoperasikan tanur induksi untuk melebur logam.

1.2. Tujuan Khusus:

- Mengetahui prinsip kerja tanur induksi dan fungsi masing-masing panel induksi.
- Memahami bahaya-bahaya bila bekerja ditanur induksi dan pencegahan kecelakaan kerja.
- Dapat mempersiapkan bahan peleburan (seperti skrap baja dan paduan).
- Dapat mengoperasikan tanur induksi, mulai dari persiapan sampai tapping dengan bantuan teknisi yang ada serta dibawah pengawasan instruktur.

Kegiatan 1, Saudara diminta untuk membuat cetakan TERTUTUP dengan Pola satu belahan tidak beraturan. Dilengkapi dengan sistem saluran (saluran terak, saluran masuk, riser dan cawan tuang).

Kegiatan 2, Saudara diminta untuk assembling cetakan. Cetakan di cor dengan bahan Aluminium.

Kegiatan 3, Hasil produk diperiksa dan dijadikan bahan untuk diskusi.

Tahap-tahap pengoperasiannya meliputi:

- Tahap persiapan meliputi persiapan sarana dan bahan sampai tanur siap "on".
- Tahap pengoperasian meliputi pengendalian peleburan dari "on" sampai "Tapping".
- Tahap mengakhiri operasi adalah tahap setelah tanur dan menghentikan operasi.

7.7 Latihan 5

Teknik Penuangan (2 jam)

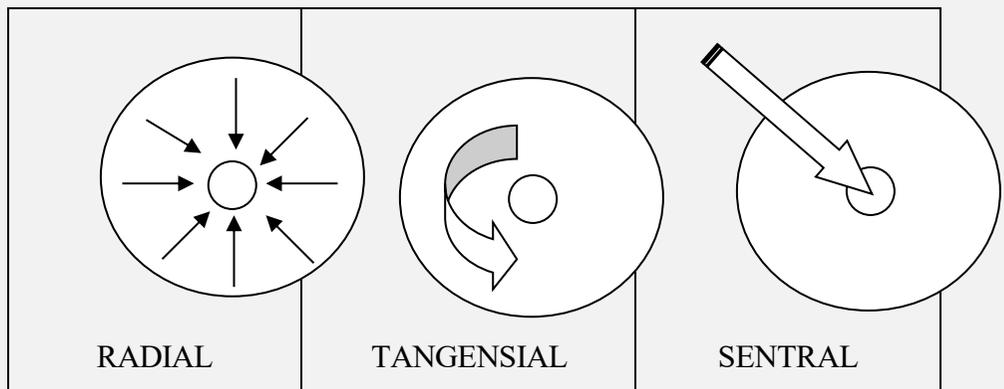
1.1. Tujuan Umum:

Mengerti penuangan dan penanganan ladle dengan benar.

1.2. Tujuan Khusus:

- Memahami penggunaan ladle dengan tepat dan benar.
- Mengerti cara-cara perawatan ladle agar usia pakainya bertambah
- Mampu melakukan perbaikan ladle dengan metoda yang benar dan peralatan yang tepat.
- Dapat mengecor (menuang) dengan baik dan benar..

Kegiatan 1, Saudara diminta untuk membuat cetakan TERTUTUP dengan Pola dengan BAGIAN LEPAS. Dilengkapi dengan sistem saluran saluran (saluran terak, saluran masuk, riser dan cawan tuang).



Kegiatan 2, Saudara diminta untuk assembling cetakan. Cetakan di cor dengan bahan Aluminium.

Kegiatan 3, Hasil produk diperiksa dan dijadikan bahan untuk diskusi.

7.6 Latihan 6

Teknik Relining (2 jam)

1.1. Tujuan Umum:

Dapat mengoperasikan tanur induksi untuk melebur logam.

1.2. Tujuan Khusus:

- Mengetahui prinsip kerja tanur induksi dan fungsi masing-masing panel induksi.
- Memahami bahaya-bahaya bila bekerja ditanur induksi dan pencegahan kecelakaan kerja.
- Dapat mempersiapkan bahan peleburan (seperti skrap baja dan paduan).
- Dapat mengoperasikan tanur induksi, mulai dari persiapan sampai tapping dengan bantuan teknisi yang ada serta dibawah pengawasan instruktur.

Kegiatan 1, Saudara diminta untuk membuat cetakan TERTUTUP dengan Pola satu belahan tidak beraturan. Dilengkapi dengan sistem saluran (saluran terak, saluran masuk, riser dan cawan tuang).

Kegiatan 2, Saudara diminta untuk assembling cetakan. Cetakan di cor dengan bahan Aluminium.

Kegiatan 3, Hasil produk diperiksa dan dijadikan bahan untuk diskusi.

Tahap-tahap pengoperasiannya meliputi:

- Tahap persiapan meliputi persiapan sarana dan bahan sampai tanur siap "on".
- Tahap pengoperasian meliputi pengendalian peleburan dari "on" sampai "Tapping".
- Tahap mengakhiri operasi adalah tahap setelah tanur dan menghentikan operasi.

7.6 Latihan 6

Teknik Sintering (12 jam)

1.1. Tujuan Umum:

Dapat mengoperasikan tanur induksi untuk melebur logam.

1.2. Tujuan Khusus:

- Mengetahui prinsip kerja tanur induksi dan fungsi masing-masing panel induksi.
- Memahami bahaya-bahaya bila bekerja ditanur induksi dan pencegahan kecelakaan kerja.
- Dapat mempersiapkan bahan peleburan (seperti skrap baja dan paduan).
- Dapat mengoperasikan tanur induksi, mulai dari persiapan sampai tapping dengan bantuan teknisi yang ada serta dibawah pengawasan instruktur.

Kegiatan 1, Saudara diminta untuk membuat cetakan TERTUTUP dengan Pola satu belahan tidak beraturan. Dilengkapi dengan sistem saluran (saluran terak, saluran masuk, riser dan cawan tuang).

Kegiatan 2, Saudara diminta untuk assembling cetakan. Cetakan di cor dengan bahan Aluminium.

Kegiatan 3, Hasil produk diperiksa dan dijadikan bahan untuk diskusi.

Tahap-tahap pengoperasiannya meliputi:

- Tahap persiapan meliputi persiapan sarana dan bahan sampai tanur siap “on”.
- Tahap pengoperasian meliputi pengendalian peleburan dari “on” sampai “Taping”.
- Tahap mengakhiri operasi adalah tahap setelah tanur dan menghentikan operasi.

DAFTAR PUSTAKA

Referensi:

1. B.H. Amstead, Phillip F. Ostwald, Myron L. Begeman, *Manufacturing Processes*, Seventh Edition, SI Version (1979, 1987).
2. Campbell, John. *Casting (edisi ke-2nd)*, Butterworth-Heinemann, ISBN 0-7506-4790-6. (2003),
3. Dandong Foundry Blog, *Hand Molding Method*. LIAONING BORUI MACHINERY CO., LTD (DANDONG FOUNDRY) .
4. Debapriya M . *Everything about Cores in Metal Casting Process!* CraftMach Engineered Solutions Inc. 2023.
5. **DHF** Ming Xiang, *The Process Flow of Sand Casting*. Zhengzhou Ming Xiang International Trade. 2013.
6. Dirk Lehmus, *Advances in Metal Casting Technology: A Review of State of the Art, Challenges and Trends—Part I: Changing Markets, Changing Products* Fraunhofer of Institute of manufacturing technology November 2022
7. Foseco, *Metallurgy & Production of Grey & Ductile Iron*. BCIRA membership services.
8. G. Hendrickx, *PATTERN & COREBOXES DESIGN STANDARDS*. Gitech Bv, 2005
9. *History of metal casting*, MIMOZA MARMARA UNIVERSITASI. 2022
10. Heinst Wuebbenhorst, *5000 Jahre Giessen von metallen*, Giesserei-Verlag GMBH, Duesseldorf, 1984
11. J. Campbell, *Lustrous Carbon on Grey Iron*. AFS proceedings 2010
12. Mahi Sahoo, Ph.D. Sudhari "Sam" Sahu, Ph.D. *Principles of Metal Casting, 3rd Edition* ISBN: 9780071789752 McGraw-Hill Education 2014.
13. NBFly, *Sand casting and core making*. Ningbo Fly Engineering Machinery Co., Ltd. 2013.
14. P.R. Beeley, B. Met., Ph.D., FIM., *Foundry Technology*, 2nd. Butterworth Scientific, London, 2001
15. R.B Gupta, *Foundry Engineering Reprint Edition*. Satya Prakashan. New Delhi 1999.
16. Rajkumar Gupta, *Pattern Allowances In Casting | Why the Pattern Allowances In Casting Affected..* Mechanical jungle, 2021.
17. Rolf Roller, *Grund-und Fachkenntnisse Giessereitechnischer Berufe*, Verlag Handwerk und Technik, Duesseldorf, 1986
18. R. L. Naro, *Formation and Control of Lustrous Carbon Surface Defects in Iron and Steel Castings* ASI International, Ltd, Cleveland, Ohio 2002.

19. S. I. Karsay, “*Ductile Iron III Gating and Riserling,*” Quebec Iron and Titanium Corporation, 1981,
20. Student lesson. *Types of Casting patterns (Foundry Patterns)*
21. Sulzer. <https://www.sulzer.com/en/campaign/old-to-almost-new>
22. Tata Surdia, Ir., M.S. Met. E., Kenji Chijiwa, Prof. Dr. *Teknik Pengecoran Logam*, PT. Pradnya Paramita, 2000.
23. M. N. Hidajatullah, S. Gunara., D. Dina Atika, PENGARUH ADDITIVE TATAL KAYU TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KEKUATAN PASIR CO2 PROCESS. *Jurnal Keilmuan dan Terapan Pengecoran Logam*. 2014
24. <https://vietnamcastiron.com/sand-casting-pattern/>

