

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN TUNGKU HEAT TREATMENT

Muhammad Rais Rahmat¹⁾

¹⁾Dosen Teknik Mesin – Universitas Islam 45, Bekasi

ABSTRAK

Heat treatment adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam. Dalam Heat Treatment dibutuhkan Tungku Heat Treatment untuk pemanasannya. Tungku Heat Treatment adalah ruang dimana didalamnya dilakukan pemanasan pada benda kerja, pada temperatur tertentu dan ditahan selama selang waktu tertentu. Agar pemanasan terjadi secara optimal, diperlukan Tungku Heat Treatment yang mampu menahan panas agar tetap berada didalam ruang tungku. Dalam penelitian ini dibuat Tungku Heat Treatment dengan dinding dari bahan Refraktori (batu tahan ap). Refraktori adalah bahan anorganik bukan logam yang sukar leleh pada temperatur tinggi.

Kata Kunci: Tungku Heat Treatment, Refraktori, sifat sifat fisis logam

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Masalah

Selain tungku peleburan dunia industri logam juga membutuhkan tungku perpindahan panas, dimana logam jadi dapat dipanaskan ulang untuk diperbaiki kemampuan mekanisnya. Logam bisa diproses dengan perlakuan panas umumnya logam paduan FE dan C. pada kadar karbon tertentu atau paduan lain yang sesuai. Baja banyak digunakan sebagai bahan konstruksi dan sebagai perkakas.

Perlakuan yang diberikan logam antara lain adalah perlakuan panas atau Heat Treatment, yang merupakan suatu proses perlakuan terhadap logam yang diinginkan dengan cara memberikan pemanasan dan kemudian dilakukan pendinginan dengan media pendingin tertentu, sehingga sifat fisiknya dapat diubah sesuai dengan yang diinginkan. Heat Treatment (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur mikro logam dengan jalan memanaskan spesimen dalam elektrik terance (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air faram, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda.

Untuk proses perlakuan panas tersebut diatas diperlukan metode atau alat bantu yang dapat mendukung proses perlakuan panas. Tungku Heat Treatment adalah alat bantu yang dapat mendukung proses perlakuan panas, alat ini dirancang untuk dapat menahan panas pada suhu pada fase recovery fase rekristalisasi dan fase grain growth atau tumbuhnya butir.

1.2 Identifikasi Masalah

Kemampuan lembaga pendidikan seperti Universitas sangat terbatas, seperti dalam hal memenuhi kebutuhan alat bantu perkuliahan. Sementara para lulusan dituntut untuk menguasai perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Untuk itu penulis mengidentifikasi permasalahan sebagai berikut :

- Tidak tersedianya tungku perlakuan panas yang sesuai standard di Laboratorium Metalurgi FT Unisma
- Keterbatasan dana untuk melengkapi kebutuhan pengadaan alat bantu kuliah.

Berdasarkan hal tersebut penulis merencanakan membuat oven atau tungku listrik heat treatment dengan temperatur kerja maksimal 1100 °C.

1.3 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah “ bagaimana membuat tungku heat treatment dengan temperatur kerja maksimal 1100 °C “.

1.4 Batasan Masalah

1. Perencanaan pembuatan tungku heat treatment, meliputi bentuk atau desain, komponen dan perencanaan biaya.
2. Temperatur kerja maksimal 1100 °C
3. Tidak membahas perubahan sifat mekanik pada logam.

1.5 Tujuan Penelitian

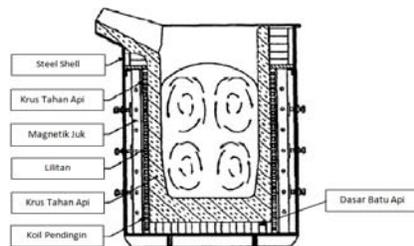
1. Diperoleh sebuah alat praktikum yang bermanfaat sebagai salah satu sarana peningkatan kompetensi mahasiswa, dalam rangka meningkatkan hasil belajar.
2. Alat hasil penelitian dapat digunakan sbg pengembangan teknologi tungku heat treatment lebih lanjut.
3. Mampu melakukan proses heat treatment dengan baik.

2. Tinjauan Pustaka

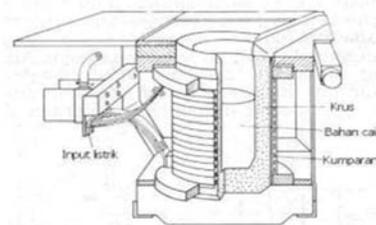
Prinsip proses peleburan dengan tanur adalah bekerja dengan prinsip transformator dengan kumparan primer dialiri arus AC dari sumber tenaga dan kumparan sekunder. Kumparan sekunder yang diletakkan didalam medan magnet kumparan primer akan menghasilkan arus induksi. Berbeda dengan transformator, kumparan sekunder digantikan oleh bahan baku peleburan serta dirancang sedemikian rupa agar arus induksi tersebut berubah menjadi panas yang sanggup mencairkannya. Dibawah ini adalah beberapa jenis tungku ;

1. Tungku Induksi

Tungku induksi adalah tungku listrik yang memanfaatkan prinsip induksi untuk memanaskan logam hingga titik leburnya dimana panas yang diterapkan oleh pemanasan induksi medium konduktif (biasanya logam). Frekuensi operasi berkisar dari frekuensi yang digunakan antara 60 Hz sampai dengan 400 kHz bahkan bisa lebih tinggi hal tersebut tergantung dari material yang mencair, kapasitas tungku dan kecepatan pencairan yang diperlukan. Frekuensi medan magnet yang tinggi juga dapat berfungsi untuk mengaduk agar menghomogenkan komposisi logam cair. Tungku induksi banyak digunakan dalam peleburan modern karena sebagai metode peleburan logam yang bersih dari pada peleburan dari tungku *reverberatory* atau kupola. Ukuran tungku berkisar dari satu kilogram kapasitas sampai seratus ton kapasitas dan digunakan untuk meleburkan berbagai jenis logam seperti besi, baja, tembaga, aluminium. Keuntungan menggunakan tungku induksi adalah peleburan yang bersih karena tidak ada kontaminasi dari sumber panas, hemat energi, dan proses peleburan dapat dikontrol dengan baik .



Gambar 2.1 Skematik Tungku Induksi



Gambar 2.2 Tungku Krusibel

Rincian Spesifikasi dan Kegunaan:

- Mampu mengatur komposisi kimia pada skala peleburan kecil
- Terdapat dua jenis tungku yaitu Coreless (frekuensi tinggi) dan core atau channel (frekuensi rendah, ± 60 Hz).
- Biasanya digunakan pada industri pengecoran logam-logam non-ferro dan logam ferro.
- Secara khusus dapat digunakan untuk keperluan superheating (memanaskan logam cair diatas temperatur cair normal untuk memperbaiki mampu alir), penahanan temperatur (menjaga logam cair pada temperatur konstan untuk jangka waktu lama, sehingga sangat cocok untuk aplikasi proses die-casting), dan duplexing/tungku paralel (menggunakan dua tungku seperti pada operasi pencairan logam dalam satu tungku dan memindahkannya ke tungku lain)

2. Tungku Krusibel

Rincian Spesifikasi dan Kegunaan:

- Telah digunakan secara luas disepanjang sejarah peleburan logam.
- Proses pemanasan dibantu oleh pemakaian berbagai jenis bahan bakar.
- Tungku ini bisa dalam keadaan diam, dimiringkan atau juga dapat dipindah-pindahkan
- Dapat diaplikasikan pada logam-logam ferro dan non-ferro

3. Tungku Kupola

Rincian Spesifikasi dan Kegunaan:

- Tungku ini terdiri dari suatu saluran/bejana baja vertical yang didalamnya terdapat susunan bata tahan api
- Muatan terdiri dari susunan atau lapisan logam, kokas dan fluks
- Kupola dapat beroperasi secara kontinu, menghasilkan logam cair dalam jumlah besar, laju peleburan tinggi
- Biasanya digunakan untuk melebur Besi Cor (Cast Iron).

Muatan Tungku Kupola:

1. Besi kasar (20 % - 30 %)
2. Skrap baja (30 % - 40 %)

Kadar karbon dan silikon yang rendah adalah menguntungkan untuk mendapat coran dengan prosentase Carbon dan Si yang terbatas. Untuk besi cor kekuatan tinggi ditambahkan dalam jumlah yang banyak

3. Skrap balik

Yang dimaksud skrap balik adalah coran yang cacat, bekas penambah, saluran turun, saluran masuk atau skrap balik yang dibeli dari pabrik pengecoran.

4. Paduan besi

Paduan besi seperti Fe-Si, Fe-Mn ditambahkan untuk mengatur komposisi. Prosentase karbon berkurang karena oksidasi logam cair dalam cerobong dan pengarbonan yang disebabkan oleh reaksi antar logam cair dengan kokas. Prosentase karbon terutama diatur oleh perbandingan besi kasar dan skrap baja. Tambahan harus dimasukkan dalam perhitungan untuk mengimbangi kehilangan pada saat peleburan. Penambahan dimasukkan 10 sampai 20 % untuk Si dan 15 sampai 30 % untuk Mn. Prosentase steel bertambah karena pengambilan steel dari kokas. Peningkatan kadar belerang (steel) yang diperbolehkan biasanya 0,1 %.

2.4 Bahan Refractory

Refractory adalah bahan anorganik bukan logam yang sukar leleh pada temperatur tinggi dan digunakan dalam industri temperatur tinggi seperti bahan tungku, dan sebagainya. Material refraktori sangat diperlukan untuk banyak industri proses. Material ini meliputi *furnace, tundish, ladle* dan sebagainya. Material ini juga digunakan sebagai *nozzle, spout, dan sliding gate*. Biaya untuk pembelian dan instalasi refraktori adalah faktor yang menentukan dalam biaya proses secara keseluruhan. Kegagalan (*failure*) material refraktori ketika digunakan dalam suatu proses dapat berarti suatu bencana. Material refraktori diharapkan dapat tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap korosi slag cair, logam cair dan gas-gas agresif, siklus termal (*thermal cycling*), tahan terhadap benturan dan abrasi dengan hanya sedikit perawatan. Banyak orang bekerja di Industri yang menggunakan refraktori tetapi hanya sedikit yang mengerti tentang material ini, sehingga pemborosan biaya tidak dapat dihindari. Refraktori didefinisikan sebagai material konstruksi yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi dibawah beberapa kondisi seperti tegangan mekanik (*mechanical stress*) dan serangan kimia (*chemical attack*) dari gas-gas panas, cairan atau leburan dan semi leburan dari gelas, logam atau slag.

Dengan kata lain refraktori adalah material yang dapat mempertahankan sifat-sifatnya yang berguna dalam kondisi yang sangat berat karena temperatur tinggi dan kontak dengan bahan-bahan yang korosif. Refraktori dibuat dari berbagai jenis material terutama keramik yang mana termasuk bahan-bahan seperti alumina, lempung (*clay*), magnesia, chromit, silikon karbida dan lain-lain. Refraktori digunakan untuk mengkonstruksi atau melapisi struktur yang berhubungan dengan temperatur tinggi, dari perapian sampai *blast furnace*. Untuk dapat melayani aplikasi yang diminta, refraktori memerlukan sifat-sifat tertentu. Sifat-sifat ini diantaranya titik lebur yang tinggi, kekuatan yang bagus pada temperatur tinggi, tahan terhadap degradasi, mudah dipasang, dan biaya masuk akal.

Material refraktori berdasarkan bentuknya dapat dibagi dua yaitu menjadi bata (*shaped*) dan monolitik (*unshaped*). Bentuk-bentuk bata refraktori tersedia dalam banyak bentuk dan ukuran, antara lain: lurus, kecil, kubah, belahan, tabung, dan lain-lain. Sedangkan untuk refraktori monolitik merupakan campuran butiran serbuk mineral (agregat) material refraktori yang kering dengan bahan pengikat (*binder*) baik cair maupun bahan kimia cair lainnya yang berfungsi sebagai pengikat, sehingga diperoleh campuran yang homogen dan bersifat plastis apabila bercampur dengan air dan digunakan segera setelah proses pencampuran dilakukan. Refraktori yang baik diharapkan tidak memiliki pori-pori, bersamaan dengan komposisi fasa, dan porositas merupakan faktor yang sangat penting untuk diperhatikan selama pembuatan produk refraktori. Mengurangi porositas akan meningkatkan kekuatan dan tahanan terhadap korosi. Berdasarkan bentuknya refraktori dapat dibagi ke dalam empat kategori, yaitu:

- 1) Bata api refraktori (*Refractory Brick*)
- 2) *Castable*/beton refraktori (*Refractory Castable*)
- 3) Mortar refraktori (*Refractory Mortars*) dan
- 4) Refraktori *anchor*

Kriteria dalam pemilihan yang harus dimiliki oleh refraktori yang umum digunakan untuk dapur jenis *crucible*, yaitu memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- 1) Tidak melebur pada suhu yang relatif tinggi.
- 2) Sanggup menahan panas lanjutan yang tiba-tiba ketika terjadi pembebanan suhu.
- 3) Tidak hancur di bawah pengaruh tekanan yang tinggi ketika digunakan pada suhu tinggi.
- 4) Mempunyai koefisien termal yang rendah sehingga dapat memperkecil panas yang terbuang.

Refraktori dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan :

- a. Komposisi kimia penyusunnya, terdiri dari: refraktori asam (MO_2), refraktori netral (M_2O_3), refraktori basa (MO), serta refraktori khusus seperti C, SiC, Borida Karbida, Sulfida dan lainnya.
- b. Metode pembentukannya: refraktori yang dibentuk dengan tangan (*hand molded*), refraktori yang dibentuk secara mekanik (tekanan tinggi), refraktori yang dibentuk melalui cetak tuang, dan lainnya. Jenis lainnya adalah refraktori yang berupa serbuk, seperti *castable*, dan *gun mix* mortar.
- c. Komposisi mineral penyusunnya, seperti *corundum*, silika, tanah liat *mullite*, magnesite dan lainnya.

2.4.1 Refraktori Basa

Istilah refraktori basa adalah penggolongan refraktori secara umum yang bahan bakunya terbuat dari oksida-oksida yang bersifat basa, atau yang penggunaannya dalam lingkungan kondisi operasi basa. Alasan dari penggunaan refraktori basa, antara lain karena kemampuan operasinya pada temperatur tinggi dan memiliki ketahanan terhadap *slag* basa, tahan terhadap korosi, memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Magnesia (MgO) merupakan unsur yang utama dari kelompok refraktori basa. Oleh karena itu refraktori yang mengandung banyak magnesia termasuk ke dalam kelompok basa, umumnya terdapat jenis-jenis dari refraktori basa yaitu magnesia (MgO), *magnesia-chrome*, *magnesia-spinel*, *magnesia-carbon*, *dolomite*. Penggunaan refraktori basa terdapat pada tungku busur listrik, tungku sembur oksigen, *hot metal car*, dan lain-lain.

2.4.2 Refraktori Alumina Tinggi

Refraktori alumina tinggi (Al₂O₃) memiliki kandungan alumina di atas 47,5% hal ini sesuai menurut standar ASTM dan digunakan temperatur operasi mencapai 2050 °C. Beberapa kelompok refraktori yang lain adalah *mullite*, *alumina-chrome*, *alumina-carbon*. Produk refraktori alumina tinggi dengan kandungan alumina antara 70%-78% dimana fasanya adalah *mullite* termasuk kategori refraktori *mullite* alumina tinggi. Refraktori jenis ini memiliki ketahanan *spalling* yang sangat baik dan ketahanan pembebanan yang tinggi. Penggunaan refraktori alumina biasanya terdapat pada tungku peleburan baja, besi cor, keramik, kaca, *rotary klin*, dll.

2.4.3 Refraktori Silika

Refraktori silika juga digolongkan ke dalam refraktori kelompok asam, penggolongan ini menurut jumlah dari kemurnian kandungan refraktori silika yang biasa disebut "*flux factor*", dimana kandungan unsur yang lain harus lebih sedikit seperti alumina (Al₂O₃) tidak lebih dari 1,5%, titania (TiO₂) tidak lebih dari 0,2%, besi oksida (FeO₃) tidak lebih dari 2,5% dan semen oksida (CaO) tidak lebih 4%. Nilai rata-rata dari MOR tidak kurang dari 3,45 MPa. Refraktori silika mempunyai temperatur leleh pada (1600°C-1725°C) dan dapat menahan tekanan yang relatif tinggi karena itu refraktori silika volumenya konstan pada temperatur tinggi, serta mempunyai tahanan *slag* asam yang baik tapi tidak cukup kuat untuk menahan *slag* basa. Beberapa penggunaan batu bata jenis ini, antara lain tungku induksi peleburan besi cor, keramik, atap tungku busur listrik.

2.4.4 Refraktori Fireclay High Duty

Refraktori dengan jenis *fireclay* sebagian kandungannya terdiri dari *hydrated aluminosilicates*, tapi dalam jumlah yang sedikit dibandingkan kandungan mineral lain. Salah satu mineral yang digunakan dalam memproduksi *fireclay* adalah *kaolinite* (2Al₂O₃·4SiO₂·4H₂O). Refraktori *fireclay* mempunyai temperatur *service* yang maksimum dan nilai *pyrometric cone equivalent* (PCE) yang tinggi. Pada umumnya temperatur leleh dan temperatur *service* meningkat dengan kandungan alumina yang tinggi antara 40%-44%. Kelompok *fireclay* dibagi ke dalam klasifikasi menurut standar ASTM yaitu, *low-duty fireclay* (maks. 870°C, PCE 18-28), *medium duty fireclay* (maks. 1315°C, PCE 29), *high-duty fireclay* (maks. 1480°C-PCE 31), *super-duty fireclay* (maks. 1619°C, PCE 33), *semi-silica fireclay* (kandungan silika minimal 72%).

2.4.5 Refraktori Kastabel

Refraktori *castable* adalah jenis refraktori monolitik yang pemakaiannya makin meluas dan fleksibel. Refraktori *castable* tersusun dari bahan refraktori berupa agregat atau samot yang ukuran butir dan distribusi butirannya bervariasi dan bahan perekat berupa semen kalsium alumina dengan atau tanpa ditambah aditif. Dalam campurannya dengan air, semen alumina dan *castable* akan mengikat partikel-partikel agregat secara bersama dalam ikatan hidrolis yang mengeras pada suhu ruang membentuk beton refraktori. Adapun sisi lain bahan perekat seringkali memiliki ketahanan api yang lebih rendah, kekuatan mekanisnya lebih lemah dan tidak sangat stabil pada temperatur kerja. Dalam pemakaiannya sekarang, penggunaan semen alumina diminimalisir dengan tujuan agar pengaruh adanya C₂O dalam semen dapat dihilangkan, utamanya untuk *castable* temperatur tinggi. Sedangkan *grog* atau butiran kasar umumnya merupakan material yang telah mengalami proses kalsinasi (pemanasan suhu tinggi) dengan baik, memiliki kekerasan yang tinggi, stabilitas volume yang baik



Gambar 2.4 Refraktori Kastabel



Gambar 2.5 Refraktori Mortar

Pada temperatur ruang, beton refraktori memiliki kekuatan mekanis yang tinggi dan melemah dengan kenaikan temperatur hingga 1000°C tetapi meningkat lagi ketika dipanasi hingga temperatur 1100°C - 1500°C. Refraktori *castable* terutama untuk alumina dan alumina-silika (*mullite*) diklasifikasikan berdasarkan kandungan semen alumina (CaO) diantaranya:

- *Medium-Cement Castable Refractories*, kandungan CaO lebih dari 2,5 %.
- *Low-Cement Castable Refractories*, kandungan CaO antara 1% - 2,5%.
- *Ultra-Low Cement Refractories*, kandungan CaO antara 0,2% - 1 %.
- *No-Cement Castable Refractories*, kandungan CaO sampai dengan 0,2%.

2.4.6 Refraktori Mortar

Refraktori mortar berfungsi untuk mengikat satu bata dengan bata lainnya dan membentuk lapisan penutup pada sambungan. Setiap mortar memiliki sifat sendiri-sendiri, seperti perpaduan, kekuatan, ketidaktahanan, sifat plastis, dan kestabilan isi (*volume stability*). Pemakai harus mengingat akan kecocokan mortar, apakah material refraktori akan tahan terhadap *slag*, logam cair dan kondisi atmosfer yang dihadapinya.

Refraktori mortar harus sedekat mungkin dengan bata refraktori yang akan digunakan, baik dari segi komposisi maupun sifat fisika, kimia dan termal. Contohnya mortar silika harus dipakai untuk bata refraktori silika, dan *fireclay* harus dipakai untuk bata refraktori *fireclay* atau campuran *chrome* dipakai untuk bata refraktori basa. Ada dua jenis pengikatan (*setting*) mortar yaitu *air setting* (udara) dan *heat setting* (panas). Mortar *air setting* akan membentuk suatu ikatan yang kuat tanpa dipanaskan, sedangkan mortar *heat setting* memerlukan pemanasan untuk menghasilkan suatu ikatan. Kedua jenis mortar ini tersedia dalam dua bentuk yaitu bentuk kering maupun basah.

Mortar kering mudah disiapkan dengan menambahkan air atau pun bahan pengikat lainnya. Perubahan temperatur yang cepat akan menyebabkan terdeformasi dan rontoknya (*spalling*) lapisan refraktori. Untuk kondisi operasi yang berat dalam waktu yang lama penggunaan refraktori monolitik lebih menguntungkan.



Gambar 2.6 Fire Clay Mortar SK – 36



Gambar 2.7 Keramik fiber blanket

Refraktori monolitik dapat dipakai untuk perbaikan lokal atau daerah tertentu di sekitar kerusakan tanpa merusak daerah di sekitarnya. Biasanya refraktori monolitik memiliki ekspansi termal yang rendah dibandingkan bata refraktori. Pada refraktori monolitik dapat dipilih kombinasi material yang optimal, desain dan karakteristik instalasi sesuai yang diharapkan.

2.4.7 Keramik Fiber Blanket

Keramik fiber blanket ialah bahan yang digolongkan pada refraktori yang berbasis serat aluminosilikat, putih, tidak berbau dan tahan suhu mencapai 1300°C. Material ini juga ringan, mudah dibentuk dengan nilai konduktivitas termal yang sangat kecil. Bahan ini termasuk insulasi yang baik pada suhu tinggi dan tahan bahan kimia korosif seperti asam dan basa, dan dapat pula sebagai bahan pengganti yang baik untuk produk asbes yang juga digunakan untuk isolasi peredam panas

1.5. Isolator Termal

Bahan *isolasi termal* dapat digolongkan menurut bentuk menjadi jenis bubuk butiran, jenis serat, dan bongkahan. Bahan dalam bentuk bubuk atau butiran adalah bahan otoklaf dari kalsium silikat, perlit, vermikulit, silica gel butir halus, dan bahan yang berbentuk serat adalah asbes, wol batu, wol slag, dan serat keramik. Kebanyakan dari bata api isolasi berbentuk bongkahan tetapi sekarang dapat dijumpai bahan isolasi yang dapat dicor. Bahan isolasi jenis bubuk dan butiran sering dipergunakan setelah dibuat bentuk pelat atau betuk bata. Temperatur untuk bahan isolasi termal berkisar antara 250°C sampai 1500°C. Perlu pemilahan bahan yang tepat untuk keperluan pada masing-masing penggunaan.

• Bahan isolasi termal bentuk serat

Asbes adalah bahan mineral yang berupa serat terbentuk secara alamiah, ditemukan dialam sebagai krysotil, amosit, krosidolit, dan seterusnya. Asbes dapat dipakai sebagai bahan isolasi setelah mineral tersebut

dilepaskan menjadi bentuk kain asbes, tali asbes, dan spon asbes. Spon asbes akhir-akhir ini dikembangkan sebagai bahan isolasi termal yang mempunyai sifat fleksibel dan tahanan panas yang baik sekali. Wol slag dan wol batu berturut-turut dibuat dari slag tanur tinggi dan dari batuan gunung berapi. Bahan baku dicairkan dalam kupola atau tanur listrik dan dibuat menjadi serat halus. Permukaannya dilapisi resin agar tahan terhadap air. Bahan ini dipergunakan sebagai bahan isolasi pada pekerjaan konstruksi. Serat keramik termasuk wol gelas kuarsa, serat $AL^2O_3 - SiO_2$ dan serat alumina. Serat keramik ini mempunyai sifat khas sbb :

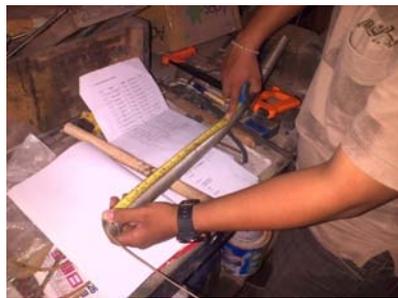
1. Tahan terhadap temperatur tinggi.
2. Ringan dan sangat baik sebagai isolator.
3. Tahan terhadap kehutan termal.
4. Secara kimia stabil.
5. Dapat dibuat menjadi berbagai bentuk.

Bahan ini dibuat menjadi bentuk seperti kapas, flet, dan lembaran tipis dan dapat dipakai sebagai bahan isolasi yang baik sekali untuk lapisan dinding tanur. Bahan ini juga digunakan untuk bahan isolasi ketel uap, turbin, dan gas buang, karena bahan ini stabil secara kimia dan sukar patah oleh getaran.

2.6 Pemanas



Gambar 2.8 Macam – macam Heater



Gambar 2.9 Kawat Niklin

Elemen pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen. Persyaratan elemen pemanas antara lain :

1. Harus tahan lama pada suhu yang dikehendaki.
2. Sifat mekanisnya harus kuat pada suhu yang dikehendaki.
3. Koefisien muai harus kecil, sehingga perubahan bentuknya pada suhu yang dikehendaki tidak terlalu besar.
4. Tahanan jenisnya harus tinggi.
5. Koefisien suhunya harus kecil, sehingga arus kerjanya sedapat mungkin konstan.

Bahan yang paling banyak digunakan untuk pembuatan elemen pemanas listrik terdiri dari campuran : Krom – nikel, Krom – nikel – besi, Krom – besi – alumunium

Bahan-bahan tersebut diatas tahan panan karena membentuk lapisan oksida yang kuat pada permukaannya, sehingga tidak terjadi oksidasi lebih lanjut. Bahan yang digunakan sebagian besar ditentukan oleh suhu maksimum yang dikehendaki. Logam-logam campuran tersebut diatas dapat digunakan sampai $1000^{\circ}C$ hingga $1250^{\circ}C$.

Untuk suhu yang lebih tinggi, misalnya untuk tanur listrik dapat digunakan campuran kanthal. Campuran ini terutama terdiri dari krom, alumunium, besi dan kobalt, dan dapat dibedakan dari campuran krom nikel karena memiliki beberapa sifat penting berikut ini :

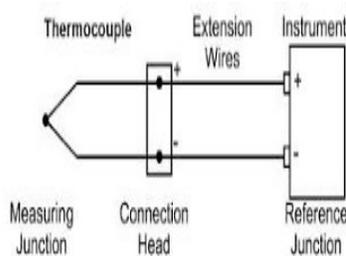
- a. Jika dipanaskan diudara, campuran kanthal akan membentuk kulit oksida yang sangat melekat.
- b. Elemen-elemen kanthal dapat digunakan sampai $1350^{\circ}C$.
- c. Tahanan jenis bahan ini $(1,35 - 1,45) \times 10^{-6} \Omega m$.
- d. Umumnya bahan ini dapat diberi beban permukaan yang tinggi (dalam satuan W/cm^2).

Kanthal super dapat digunakan sampai $1600^{\circ}C$. Bahan ini berupa bubuk yang dipanaskan hingga padat dan terdiri dari suatu bahan yang dapat disamakan dengan logam, dan suatu bahan keramik. Unsur-unsur utamanya ialah Mo, Si, dan SiO_2 . Beban permukaan untuk kanthal super dapat mencapai $10-20 W/cm^2$. Tahanan jenisnya meningkat jika suhunya naik yaitu pada :

1. $20^{\circ}C$ sama dengan $0,4 \times 10^{-6} \Omega m$
2. $500^{\circ}C$ sama dengan $1,2 \times 10^{-6} \Omega m$
3. $1000^{\circ}C$ sama dengan $2,3 \times 10^{-6} \Omega m$
4. $1300^{\circ}C$ sama dengan $2,9 \times 10^{-6} \Omega m$
5. $1600^{\circ}C$ sama dengan $3,5 \times 10^{-6} \Omega m$
6. Koefisien suhu rata-ratanya sama dengan 0,0048.

2.7 Pengertian dan Prinsip Dasar Termokopel

Termokopel / *thermocouple* merupakan sensor suhu yang paling sering atau kebanyakan digunakan pada boiler, mesin press, oven, dan lain sebagainya. Termokopel dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup luas dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1°C . Termokopel terdiri dari 2 jenis kawat logam konduktor yang digabung pada ujungnya sebagai ujung pengukuran. Konduktor ini kemudian akan mengalami gradiasi suhu dan dari perbedaan suhu antara ujung termokopel/ujung pengukuran dengan ujung kedua kawat logam konduktor yang terpisah akan menghasilkan tegangan listrik.



Gambar 2.10 Bagian² termokopel

Gambar 2.11 Termokopel

Gbr 2.12 Termokopel dan Termokontrol

Hal ini disebut sebagai efek termo elektrik. Perbedaan ini umumnya berkisar antara 1 hingga 70 *microvolt* setiap perbedaan satu derajat celsius untuk kisaran yang dihasilkan dari kombinasi logam modern. Jadi sangat penting untuk di ingat bahwa termokopel hanya mengukur perbedaan temperatur diantara 2 titik, bukan temperatur absolut. Jadi termokopel tidak bisa digunakan untuk mengukur suhu ruangan karena tidak ada perbedaan antara ujung pengukuran dengan ujung referensi / ujung pada kedua kawat logam.

Tersedia beberapa jenis termokopel, tergantung aplikasi penggunaannya

- 1) Tipe K (Chromel (Ni-Cr alloy) / Alumel (Ni-Al alloy))
Termokopel untuk tujuan umum. Lebih murah. Tersedia untuk rentang suhu -200°C hingga $+1200^{\circ}\text{C}$.
- 2) Tipe E (Chromel / Constantan (Cu-Ni alloy))
Tipe E memiliki output yang besar ($68\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) membuatnya cocok digunakan pada temperatur rendah. Properti lainnya tipe E adalah tipe non magnetik.
- 3) Tipe J (Iron / Constantan)
Rentangnya terbatas (-40 hingga $+750^{\circ}\text{C}$) membuatnya kurang populer dibanding tipe K. Tipe J memiliki sensitivitas sekitar $\sim 52\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- 4) Tipe N (Nicrosil (Ni-Cr-Si alloy) / Nisil (Ni-Si alloy))
Stabil dan tahan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu di atas 1200°C . Sensitifitasnya sekitar $39\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ pada 900°C , sedikit di bawah tipe K. Tipe N merupakan perbaikan tipe K.

Termokopel tipe B, R, dan S adalah termokopel logam mulia yang memiliki karakteristik yang hampir sama. Mereka adalah termokopel yang paling stabil, tetapi karena sensitifitasnya rendah (sekitar $10\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) mereka biasanya hanya digunakan untuk mengukur temperatur tinggi ($>300^{\circ}\text{C}$).

- a. Tipe B (Platinum-Rhodium/Pt-Rh)
Cocok mengukur suhu di atas 1800°C . Tipe B memberi output yang sama pada suhu 0°C hingga 42°C sehingga tidak dapat dipakai di bawah suhu 50°C .
- b. Tipe R (Platinum /Platinum with 7% Rhodium)
Cocok mengukur suhu di atas 1600°C . sensitivitas rendah ($10\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum.
- c. Tipe S (Platinum /Platinum with 10% Rhodium)
Cocok mengukur suhu di atas 1600°C . sensitivitas rendah ($10\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum. Karena stabilitasnya yang tinggi Tipe S digunakan untuk standar pengukuran titik leleh emas (1064.43°C).
- d. Tipe T (Copper / Constantan)
Cocok untuk pengukuran antara -200 sampai 350°C . Konduktor positif terbuat dari tembaga, dan yang negatif terbuat dari constantan. Sering dipakai sebagai alat pengukur alternatif sejak penelitian kawat tembaga. Tipe T memiliki sensitifitas $\sim 43\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

Termokopel hanya sebuah sensor suhu jadi dalam berbagai aplikasi seperti pada pengaturan suhu boiler, penggunaan termokopel biasanya digabung atau dihubungkan dengan temperatur controller sebagai pembaca dan pengatur tersebut.

Termokopel paling cocok digunakan untuk mengukur rentangan suhu yang luas, hingga 2300°C. Sebaliknya, kurang cocok untuk pengukuran dimana perbedaan suhu yang kecil harus diukur dengan akurasi tingkat tinggi, contohnya rentang suhu 0-100 °C dengan keakuratan 0.1 °C. Untuk aplikasi ini, Termistor dan RTD lebih cocok. Contoh Penggunaan Termokopel yang umum antara lain :

- Industri besi dan baja
- Pengaman pada alat-alat pemanas
- Untuk termopile sensor radiasi
- Pembangkit listrik tenaga panas radioisotop, salah satu aplikasi termopile.

2.8 Tahanan dan Daya Hantar

Pengertian (satu) ohm yaitu satu kolom air raksa yang panjangnya 1,063 m dengan penampang 1 mm² pada suhu 0°C. Suatu pengantar yang mempunyai nilai tambahan yang kecil atau mempunyai daya hantar yang besar ini berarti mudah dilalui arus. Besar daya kemampuan arus ini disebut *daya hantar arus*. Sedangkan penyekat atau isolasi adalah suatu bahan yang mempunyai tahanan yang besar sekali atau mempunyai daya hantar yang kecil ini berarti sukar dilalui arus listrik. Rumus dibawah ini untuk menghitung besarnya tahanan listrik terhadap daya hantar arus.

$$R = \frac{1}{G} \quad (2.1) \quad G = \frac{1}{R} \quad (2.2)$$

Keterangan : R = Tahanan kawat listrik Ω (ohm); G = Daya hantar arus dalam satuan v (mho) atau Siemens

Tahanan jenis suatu bahan ialah tahanan bahan itu yang panjangnya 1 meter dengan luas penampang 1 mm². Tahanan jenis diberi simbol : ρ (rho) Daya hantar jenis adalah kebalikan dari tahanan jenisnya dan diberi simbol dengan g. Rumus dibawah ini adalah rumus untuk menghitung tahanan jenis terhadap daya hantar jenisnya.

$$P = \frac{1}{g} \quad (2.3)$$

Besarnya penampang suatu kawat dapat dicari dengan 2 cara :

$$q = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad (2.4) \quad q = \pi r^2 \quad (2.5)$$

Sedangkan besarnya tahanan dari kawat penghantar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho \times \ell}{q} \quad (2.6) \quad q = \frac{\rho \times \ell}{R} \quad (2.7)$$

Selanjutnya penampang, Tahanan jenis dan panjang kawat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$p = \frac{Rq}{1} \quad (2.8) \quad \ell = \frac{Rq}{\rho} \quad (2.9)$$

Keterangan : R = Tahanan kawat dalam satuan ohm (Ω) ℓ = Panjang kawat dalam satuan meter (m)
 q = Penampang kawat dalam satuan mm² ρ = Tahanan jenis dalam satuan Ω mm²/m
 g = Daya hantar jenis dalam satuan m/Ω mm²

3. Metodologi Penelitian,

3.1. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini mengikuti bagan alur sebagai berikut :

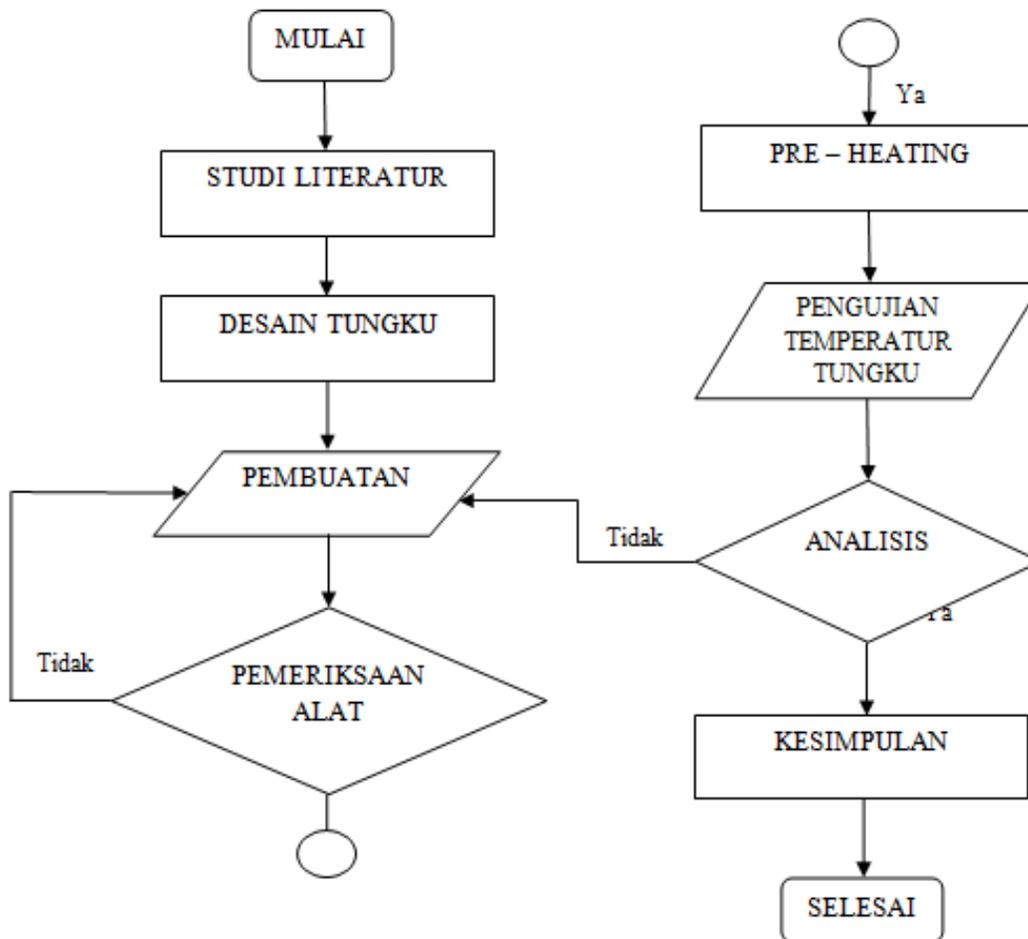
1. Studi Literatur

Studi literatur adalah proses pencarian data atau referensi. Gunanya untuk mengetahui memperkaya informasi sebagai dasar – dasar perancangan dan bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan tungku *heat treatment*. Proses pengambilan data diambil dengan cara metode pustaka dan observasi kelapangan.

2. Desain Tungku

Desain tungku adalah proses perancangan dengan menggambar benda yang akan dibuat. Gunanya sebagai konsep utama dalam proses pembuatan. Dalam hal ini penulis akan membuat tungku *heat treatment*.

3. **Pembuatan**
Yaitu Proses pengerjaan pembuatan tungku. Dilakukan di bengkel heater kali deres. Dengan acuan studi literatur yang sudah dilakukan.
4. **Pemeriksaan Alat**
Pemeriksaan alat dilakukan setelah tahapan pembuatan dilakukan. Dimulai dari pengecekan rangka atau badan tungku, dudukan pemanas, pintu tungku, kontrol panel, dan lain – lain. Proses ini selain di periksa secara fisik juga di coba apakah sudah siap untuk proses pemanasan, jika belum akan kembali lagi pada proses pembuatan.
5. **Pre-Heating**
Proses *pre-heating* adalah proses yang dilakukan untuk menjaga ketahanan terhadap bahan – bahan refraktori, dengan cara memanaskan secara perlahan – lahan agar bahan tersebut tidak menerima *termal shock* yang bila terjadi akan menyebabkan kerusakan pada refraktori tungku seperti pecah atau retak.
6. **Pengujian Temperatur Heat Treatment**
Proses ini adalah tahapan pengujian kemampuan bahan refraktori untuk menahan panas yang keluar dari tungku. Hasil dari pengujian ini akan menunjukkan persentase kesamaan antara perencanaan awal tungku yang di rencanakan dengan hasil akhir.
7. **Analisis**
Analisis dilakuka setelah pengujian temperatur dirasa telah berhasil. Fungsinya sebagai tolak ukur apakah tungku sudah bisa digunakan dalam proses *heat treatment* atau harus kembali lagi pada proses pembuatan.
8. **Kesimpulan**
Dalam proses ini menerangkan hasil – hasil dari penelitian, pembuatan, pengujian dan analisa. Sehingga para pengguna selanjutnya mengetahui kemampuan tungku dan kekurangannya, agar tidak terjadi kesalahan atau kecelakaan saat menggunakan tungku.

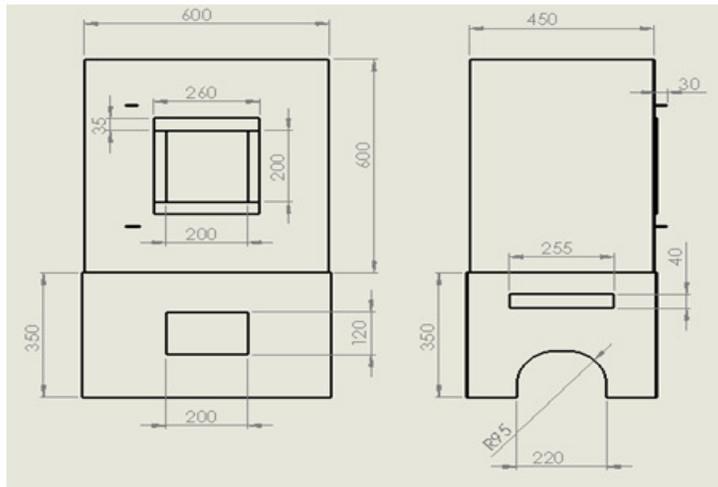


Gambar 3.1. Bagan Alur Tahapan Penelitian

3.2. Desain Dan Bahan Tungku
3.2.1. Rangka dan Badan Tungku



Gambar 3.1 Desain Tungku



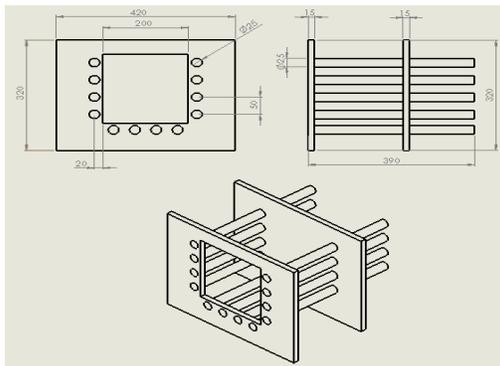
Gambar 3.2 Identifikasi Ukuran Tungku

Rangka pada sebuah mesin umumnya memiliki fungsi sebagai penahan, penopang dan dudukan dari semua komponen mesin. Oleh karena itu konstruksi rangka harus dibuat kokoh dan kuat baik dari segi bentuk serta dimensinya, sehingga dapat menahan beban yang ada pada tungku. Selain sebagai rangka baja, plat tungku di atas juga sebagai badan yang membungkus refraktori dan ruang bakar. Bahan baja yang digunakan sebagai rangka dan badan tungku adalah plat baja tipe SPHC dengan tebal 4 mm, dan untuk badan panel menggunakan plat 3 mm. Berikut ini adalah ukuran dan banyaknya plat yang digunakan dalam rangka dan badan tungku :

Tabel 3.1 Daftar Ukuran Plat

No	Ukuran (mm)	Jumlah (unit)	Penggunaan
1	600x600x4	2	Sisi depan & belakang
2	600x460x4	4	Sisi kanan, kiri, atas & bawah
3	600x600x1,5	1	Plat dudukan elemen
4	610x350x3	2	Panel depan
5	460x350x3	2	Panel samping

3.2.2 Dudukan dan Batang Elemen Pemanas



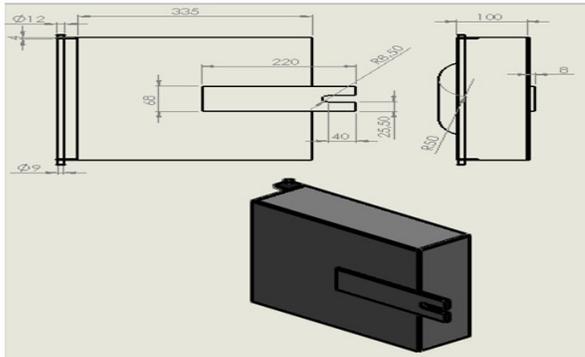
Gbr 3.4 Ukuran Dudukan Elemen Pemanas



Gambar 3.5 Dudukan dan Batang Keramik

Keramik jenis ini lebih dikenal sebagai material yang tahan api serta tetap stabil pada temperatur yang tinggi. Refraktori tersebut tidak meleleh, tidak terdeformasi, mempunyai perubahan volume yang sangat kecil (baik perubahan volume terhadap penyusutan ataupun pemuaian), Untuk dudukan dan batang element pemanas terbuat dari bahan yang sama yaitu *ceramik pipe silica* dan *silica board*. Untuk batang pemanas dibutuhkan sebanyak 12 buah batang pemanas dan 2 silika board dengan ukuran yang tertera di atas.

3.2.3 Pintu Tungku



Gambar 3.6 Identifikasi Ukuran Pintu

No	Ukuran	Jumlah	Keterangan
1	335x335x4	1	Depan
2	335x100x4	2	Samping
3	335x100x4	2	Atas, bawah
4	335x30x4	2	Belakang 1
5	275x30x4	2	Belakang 2

Tabel 3.2 Daftar Ukuran Plat Pintu

Untuk bahan pada pintu menggunakan plat yang sama seperti pada rangka atau badan tungku dengan ukuran seperti pada sket diatas, dan untuk bahan pengisinya menggunakan keramik fiber blanket karena bahan ini lebih ringan, dan digolongkan pada refraktori yang berbasis serat aluminosilikat, putih, tidak berbau dan tahan suhu mencapai 1260 °C.

3.2.4 Refraktori Dalam Tungku

Refraktori dalam tungku menggunakan bata api tipe B1 dengan menggunakan perekat semen mortar, yang berfungsi untuk mengikat satu bata dengan bata lainnya ataupun juga dengan dinding dan badan tungku dan membentuk lapisan penutup pada sambungan, setelah itu di tutup dengan keramik fiber. Pada keramik dudukan elemen juga dilapis dengan keramik fiber. Jadi untuk refraktori samping kanan dan kiri adalah bata tahan api tipe B1 sebanyak satu lapis, lalu di lapisan kedua adalah keramik fiber. Selanjut nya untuk bagian bawah diisi dengan bata tahan api b1 sebanyak dua lapis, lalu diatasnya dilapis lagi dengan keramik fiber. Sedangkan untuk bagian atas sedikit berbeda. Untuk yang paling atas ada keramik fiber lalu dilapis bata api B1 satu lapis setelah itu dilapis lagi dengan keramik board. Keramik board berfungsi untuk menahan batu tahan api B1 agar tidak jatuh. Untuk bagian belakang diisi dengan batu tahan api sebanyak dua lapis lalu dilapis lagi dengan keramik fiber baru ditutup plat dan di baud.



Gbr.3.9 & 3.10 Pemasangan Batu Tahan Api dan Proses Pemasangan Bata Gambar 3.11 Element Pemanas

3.2.5 Elemen Pemanas

Dalam penggunaan suhu yang tinggi, seperti untuk tanur listrik dapat digunakan campuran kanthal. Campuran ini terutama terdiri dari krom, aluminium, besi dan kobalt, dan dapat dibedakan dari campuran krom nikel karena memiliki beberapa sifat penting berikut ini :

- Jika dipanaskan diudara, campuran kanthal akan membentuk kulit oksida yang sangat melekat.
- Elemen-elemen kanthal dapat digunakan sampai 1350°C.
- Tahanan jenis bahan ini $(1,35 - 1,45) \times 10^{-6} \Omega m$.
- Umumnya bahan ini dapat diberi beban permukaan yang tinggi (dalam satuan W/cm^2).

Bahan bahan Elemen Pemanas :

Kawat yang digunakan	: Kawat kanthal	Tahanan jenis kawat	: 0.195 Ω
Berat	: 50.5 g/m	Diameter kawat	: 3 mm
Panjang kawat	: 31 m	Dimeter batang pemanas	: 24 mm
Panjang batang pemanas	: 200 mm		

4. Hasil Penelitian dan Pembahasannya

4.1 Hasil Pembuatan Tungku



Gambar 4.1 Tungku Heat Treatment

Setelah melalui proses di atas maka didapat hasil sebuah tungku heat treatment dengan tinggi 950 mm lebar 610 mm dan lebar 450 mm. Dengan volume ruang bakar efisien adalah 200 mm x 200 mm x 200 mm, dengan menggunakan refraktori batu tahan api, keramik silika board dan keramik fiber. Dengan bahan – bahan refraktori di atas diharapkan dapat menahan suhu kritis dalam tungku.

Tabel 4.1 Skema Pre-Heating yang Dilakukan

Hari		Temperatur °C	Lama Pemanasan
Pertama	1	100 °	4 jam
	2	200 °	4 jam
	3	300 °	4 jam
Kedua	1	400 °	4 jam
	2	500 °	3 jam
	3	600 °	3 jam

4.2 Pemeriksaan Fisik Alat

4.2.1. Parameter Pemeriksaan Fisik Alat :

- Pemeriksaan fisik luar meliputi; apakah ada kerusakan seperti terdapat lubang, retakan ataupun keropos akibat proses permesinan atau oksidasi.
- Pemeriksaan engsel dan pintu tungku meliputi; apakah engsel pintu berkerja maksimal dan dapat dibuka ditutup dengan mudah. Dan ketika pintu di kunci sudah rapat dengan badan tungku.
- Pemeriksaan dudukan elemen, batang element dan kawat pemanas meliputi; pemeriksaan apakah ada batang yang retak atau patah akibat pengiriman alat atau benturan ketika memindahkan alat.
- Pemeriksaan kontrol panel meliputi; apakah ada kabel konektor atau jumper yang kendur atau terlepas.

4.2.2 Hasil Pemeriksaan

Dari parameter di atas telah dilakukan pemeriksaan bahwa :

- Tidak ditemukan lubang atau yang lainnya pada dinding luar tungku
- Pintu engsel dapat berkerja dengan baik dan tertutup rapat.
- Posisi dudukan dan batang elemen dalam keadaan baik tidak ada keretakan ataupun patah.
- Keadaan kabel konektor dan jumper dalam keadaan baik, dan tidak ditemukan ada kabel yang kendur. Saklarpun bekerja dengan baik.

4.3 Prosedur Penggunaan Tungku

- Pastikan kabel striker terpasang pada sumber listrik,
- Nyalakan MCB pada posisi ON,
- Menghidupkan tungku dengan menekan tombol **hijau** sbg tanda ON pada panel ditandai dengan menyalanya
- Tekan **SET** untuk seting tempteratur yang diinginkan, lalu tekan tanda ▲ untuk menaikkan suhu dan ▼ untuk menurunkan suhu, bila ingin menaikkan angka dari satuan ke puluhan tekan tombol ◀ dan lihat pada layar display pergerakan kursor angka lalu tekan **SET** sbg tanda entri pengaturan suhu yang di programkan.
- Mematikan tungku dengan menekan tombol **hijau** sebagai saklar tanda OFF pada panel.

4.4 Pre-Heating

Pre-heating atau pemanasan awal adalah proses pemanasan dinding tungku untuk mengurangi kelembapan pada bagian dalam tungku. Dan juga untuk mengeluarkan sisa uap air yang ada pada proses penyambungan bata api dengan menggunakan adonan mortar. Tujuannya agar semua dinding tungku tidak mengalami *thermal shock*. Yang juga bila terjadi dapat menyebabkan retak atau pecahnya sambungan bata api dengan mortar.

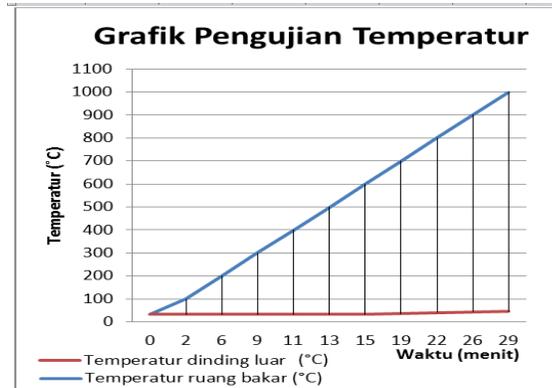
4.5 Pengujian Temperatur Tungku

Setelah melalui Proses pre-heating maka tungku heat treatment dianggap siap untuk dilakukan pengambilan sampel uji temperatur. Data yang diambil dari seluruh permukaan luar, dan permukaan dalam, dan pencapaian waktu temperatur. Alat-alat yang digunakan sebagai parameter pengambilan uji temperatur :

- Termokontrol infra red, Termokopel dalam tungku, Termokontrol pada panel dan Stop-watch

Tabel 4.2 Skema Pengujian

No	Temperatur ruang bakar (°C)	Waktu		Temperatur dinding luar (°C)
		Menit	Detik	
1	32	0	0	32
2	100	2	4	32
3	200	6	28	32
4	300	8	51	32
5	400	10	50	32
6	500	13	10	32
7	600	15	24	33
8	700	18	36	35
9	800	22	0	40
10	900	25	40	43
11	1000	28	56	45



Mekanisme penyutungan kontrol suhu dengan bertahap yaitu menaikkan pada suhu 200 , 500, 700, 800, 950 dan 1000 °C dan kemudian ditahan selama 10 menit.

4.6. Analisa Pembahasan

Analisis pembahasan tungku heat treatment dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara perancangan dengan hasil akhir dan juga fenomena yang terjadi pada tungku setelah dipanaskan dan di uji.

- Kenaikan suhu dinding tungku berbeda-beda dikarenakan bahan refractory yang berbeda karna kebutuhan yang berbeda. Seperti yang telah dijelaskan pada proses pembuatan.
- Perambatan suhu maksimal terjadi pada saat tungku sudah digunakan. Yaitu setelah satu jam suhu di luar sampai pada suhu kritis yaitu 82 °C.
- Untuk sistem penahanan suhu *treatmean* menggunakan sistem kerja kontaktor pada panel. Sehingga membuat voltase panel listrik workshop mengalami kenaikan & penurunan dikarenakan kerja kontaktor.
- Panel kontrol diletakkan di bawah badan sehingga menyulitkan pengguna pada saat pengontrolan suhu.

4.7 Batasan Penggunaan Tungku

- Temperatur maksimal

Dari bahan refraktori yang dipilih kekuatan penahan panas mencapai 1300 °C dan untuk kawat elemen pemanas mencapai 1300 °C. Jadi temperatur maksimum penggunaan tungku adalah 1170 °C. Jika dilihat dari prosedur penggunaan tungku untuk prosedur penggunaan *hardening* pada standar ASTM yaitu antara 815 – 925 °C . Maka proses penggunaan tungku dapat dibatasi hingga 950 °C.

- Kapasitas tungku

Dihitung dari dimensi ruang bakar tungku kapasitas penggunaan tungku dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Vol. Tungku} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} = 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} = 8.10^6 \text{ mm}^3 = 8000 \text{ cm}^3 = 8 \text{ liter}$$

$$\text{Besarnya spesimen} : \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} = 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} = 1000 \text{ Cm}^3$$

$$\text{Berat spesimen} : \text{massa jenis} \times \text{volume} = 7.64 \times 1000 \text{ cm}^3 = 7640 \text{ cm}^3 = 7,640 \text{ kg}$$

Dimensi dibatasi karna diperhatikan alat bantu untuk mengeluarkan spesimen uji akan bersentuhan dengan kawat. Begitu pula dengan berat spesimen uji dibatasi karena dikhawatirkan jika melebihi beban maka akan merusak kedudukan batang elemen bawah. Penggunaan tungku juga dibatasi hanya untuk perlakuan panas dan bukan untuk proses peleburan.

4.8 Menghitung Berat Tungku

4.8.1 Refraktori dan Badan Tungku

- Berat Bata B1

$$\text{Volume} = p \times \ell \times t = 230 \times 114 \times 65 = 1.704.300 \text{ mm}^3 = 1.704,3 \text{ mm}^3$$

$$\text{Jumlah bata} = 40 \text{ pcs}$$

$$\text{Total volume} = 1704,3 \times 40 = 68.172 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat bata B1} = P \times V = 0,8 \times 68.172 = 54,5376 \text{ kg}$$

- Berat Silica Board

$$\text{Volume} = p \times \ell \times t = 420 \times 320 \times 15 = 2.016.000 \text{ mm}^3 = 2.016 \text{ cm}^3$$

$$\text{Total silika} = 2$$

$$\text{V total} = 2 \times 2.016 \text{ cm}^3 = 4.032 \text{ cm}^3 \text{ Berat} = \rho \times v = 0,23 \times 4.032 = 927,36 \text{ gr} = 0,9274 \text{ kg}$$

- Batang Pemanas
 - Volume = $(\pi/4) d^2 t = (\pi/4) 24^2 \times 200 = 90,432 \text{ mm}^3 = 90,432 \text{ cm}^3$
 - Jumlah batang = 12 pcs
 - Total volume = $90,432 \times 12 = 1.085,184 \text{ cm}^3$
 - Berat batang = $\rho \times V = 0,23 \times 1.085,184 = 249,55 \text{ gr} = 0,249 \text{ kg}$
- Berat Plat Samping dan Atas
 - Volume = $460 \times 600 \times 4 = 1.104.000 \text{ mm}^3 = 1.104 \text{ cm}^3$
 - Jumlah plat = 4 pcs
 - V total = $1.104 \times 4 = 4.416 \text{ cm}^3$
 - Berat plat = $\rho \times V = 7,64 \times 4.416 = 33.738,24 \text{ gr} = 33,738 \text{ kg}$
- Berat plat belakang dan depan
 - Volume = $600 \times 600 \times 4 = 1.440.000 \text{ mm}^3 = 1.440 \text{ cm}^3$
 - Jumlah plat = 2 pcs
 - V total = $1.440 \times 2 = 2.880 \text{ cm}^3$
 - Berat pla = $7,64 \times 2.880 = 22.003,2 \text{ gr} = 22,003 \text{ kg}$
- Berat Plat Tengah
 - Volume = $600 \times 600 \times 1,5 = 540.000 \text{ mm}^3 = 540 \text{ cm}^3$
 - Berat plat = $\rho \times V = 7,64 \times 540 = 4.125,6 \text{ gr} = 4,1256 \text{ kg}$

Total berat bahan refraktori & badan tungku = $54,54 + 0,927 + 0,249 + 33,738 + 22,003 + 4,1256 = 115,58 \text{ kg}$

4.8.2 Pintu Tungku

- Berat Pintu
 - Volume = $\rho \times \ell \times t = 335 \times 335 \times 4 = 4.489.000 \text{ mm}^3 = 448,9 \text{ cm}^3$
 - Berat = $7,64 \times 4.489 = 3.429,5 \text{ gr} = 3,429 \text{ kg}$
- Samping, kiri kanan atas bawah (4 lembar)
 - Volume = $335 \times 100 \times 4 = 134.000 \text{ mm}^3 = 134 \text{ cm}^3$
 - Jumlah ada 4
 - V total = $134 \times 4 = 536 \text{ cm}^3$
 - Berat = $7,64 \times 536 = 4.095,04 \text{ gr} = 4,095 \text{ kg}$
- Belakang 1
 - Volume = $335 \times 30 \times 4 = 40.200 \text{ mm}^3 = 40,2 \text{ cm}^3$
 - Jumlah ada 2
 - V total = $40,2 \times 2 = 80,4 \text{ cm}^3$
 - Berat = $7,64 \times 80,4 = 614,256 \text{ gr} = 0,614 \text{ kg}$
- Belakang 2
 - Volume = $275 \times 30 \times 4 = 33.000 \text{ mm}^3 = 33 \text{ cm}^3$
 - Jumlah ada 2
 - V total = $33 \times 2 = 66 \text{ cm}^3$
 - Berat = $7,64 \times 66 = 504,24 \text{ gr} = 0,50424 \text{ kg}$
- Berat Keramik Blanket
 - Volume = $335 \times 335 \times 25 = 2.805.625 \text{ mm}^3 = 2.805 \text{ cm}^3$
 - Jumlah ada 4
 - V total = $2.805 \times 4 = 11.220 \text{ cm}^3$
 - Berat = $0,96 \times 11.220 = 10.771,2 \text{ gr} = 10,771 \text{ kg}$
 - Total berat pintu** = $3,429 + 4,095 + 0,614 + 0,504 + 10,771 = 19,413 \text{ kg}$

TOTAL BERAT BADAN DAN PINTU TUNGKU = $115,58 + 19,413 = 134,993 \text{ kg}$

4.8.3 Rangka Panel

➤ Plat depan panel	➤ Plat samping
Volume = $610 \times 350 \times 3 = 640.500 \text{ mm}^3 = 640,5 \text{ cm}^3$	Volume = $460 \times 350 \times 3 = 483.000 \text{ mm}^3 = 4.830 \text{ cm}^3$
Total = 2 lembar	Total = 2
V total = $640,5 \times 2 = 1.281 \text{ cm}^3$	V total = $483 \times 2 = 966 \text{ cm}^3$
Berat = $7,64 \times 1.281 = 9.786,84 \text{ gr} = 9,786 \text{ kg}$	Berat = $7,64 \times 966 = 7.380,24 \text{ gr} = 7,380 \text{ kg}$

Total Berat Rangka Panel = $9,786 + 7,380 = 17,166 \text{ kg}$

TOTAL BERAT TUNGKU HEAT TREATMENT = $134,993 \text{ kg} + 17,166 \text{ kg} + 1,58 \text{ kg} = 153,739 \text{ Kg}$

4.9 Tahanan Jenis Kawat

Kawat yang digunakan	: Kawat kanthal	Tahanan jenis kawat	: 0.195Ω
Berat Jenis	: 50.5 g/m	Diameter kawat	: 3 mm
Panjang kawat	: 31 m	Dimeter batang pemanas	: 24 mm
Panjang batang pemanas	: 200 mm		

4.9.1 Menghitung Daya

$$R = \text{panjang kawat} \times \text{tahanan jenis kawat}$$

$$= 31 \text{ m} \times 0,195 \Omega = 6,045 \Omega$$

$$P = V^2 / R$$

$$P = \frac{220^2}{6,04}$$

$$= \frac{48.400}{6,04}$$

$$= 8013,2 \text{ watt} = 8,0132 \text{ KW}$$

4.9.2 Menghitung kuat arus

$$I = \frac{P}{V}$$

$$= \frac{8,013}{220}$$

$$= 36,4 \text{ A}$$

Menggunakan MCB 50 Ampere, masih Aman

4.9.3 Konsumsi Pemakaian listrik

Konsumsi listrik dihitung dari temperatur dalam hingga $1000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Diketahui : Daya yang digunakan untuk mencapai $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ adalah : $8013,2 \text{ watt}$.
Waktu yang di tempuh untuk mencapai $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ adalah : $28,45 \text{ menit}$.

$$\text{KWh} = \frac{P}{1000} \times \frac{h}{60}$$

$$= \frac{8013,2}{1000} \times \frac{28,4}{60}$$

$$= 8,0132 \times 0,473 = 3,790 \text{ KWh}$$

4.9.4 Berat kawat

$$W = 50,9 \times 31 = 1577,9 \text{ g} = 1,5779 \text{ kg}$$

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Dihasilkan rancang bangun Tungku Heat Treatment yang dapat dipergunakan dalam perlakuan panas
- Waktu Pencapaian temperatur maksimal (1000°C) dari temperatur 31°C dalam tungku 28 menit 45 detik.
- Kapasitas temperatur maksimal tungku $1100 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Kapasitas besar benda uji 3375 cm^3
- Dari hasil pemanasan dapat dilihat beban maksimal untuk penahanan panas terjadi pada dinding depan, yaitu mencapai $100 \text{ }^\circ\text{C}$ setelah 30 menit setelah pemanasan $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Hal ini disebabkan karena perambatan panas melalui celah – celah dinding pintu.
- Dalam melakukan proses penahanan hanya menggunakan prinsip kerja pada kontaktor. Sehingga ketika melakukan penahanan volt meter pada panel pusat naik turun.

5.2 Saran

- a) Pada bagian depan hendaknya menggunakan plat atau refraktori yang lebih bagus (nilai konduktifitas termal), agar dapat menahan panas jauh lebih baik.
- b) Pemilihan bahan refraktori secara keseluruhan masih kurang maksimal dikarenakan minimnya pendanaan, namun untuk melakukan praktek *heat treatment* bahan refraktori yang dipilih sudah cukup baik untuk memenuhi prosedur di atas.
- c) Ada kesulitan untuk melakukan pengaturan temperatur dikarenakan letak kontrol panel ada dibawah, sehingga kira harus merunduk terlebih dahulu.
- d) Terdapat ketidak sempurnaan komponen pada panel, yaitu kurangnya *travo* yaitu untuk menyetabilkan arus yang masuk pada panel.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Surdia, Tata dan Shinroku Saito. *Teknik Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradya Paramita, 1992.
Surdia, Tata dan Kenji Chijiwa. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradya Paramita, 2006.
Prayitno, Dody. *Teknologi Rekayasa Material*. Jakarta: 2010
Sanawan, Rohim dan Rohim Suratman, *Pengelasan Logam*. Bandung: Penerbit ITB, 2006