

**POLA HUBUNGAN RESISTANCE PADA HOLDING FURNACE  
DAN PENGARUHNYA PADA WAKTU PEMANASAN  
DI PT INALUM**

**SKRIPSI**



Dibuat untuk memenuhi syarat memperoleh  
Gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Medan Area

Oleh

Ramli Manurung

00 812 0022



Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area  
Medan

2003

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 3/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

LEMBARAN PENGESAHAN

POLA HUBUNGAN RESISTANCE PADA HOLDING FURNACE  
DAN PENGARUHNYA PADA WAKTU PEMANASAN  
DI PT INALUM

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat memperoleh Gelar Sarjana  
pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Medan Area

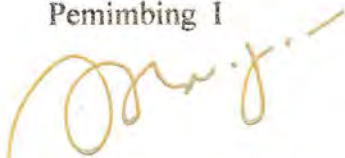
Disusun Oleh

Ramli Manurung


00 812 0022

Menyetujui :

Pemimbing I

  
Ir. Maryam Amin


pembimbing II

  
Ir. H. Usman Harahap

Dekan

  
UNIVERSITAS MEDAN AREA

Ketua Jurusan

  
Ir. Yance Syarif

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Yang Maha Kuasa, karena atas berkat rahmat hidayah dan karunia-Nya penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini adalah salah satu syarat guna menyelesaikan studi Strata –I pada Fakultas Teknik Jurusan Elektro Universitas Medan Area.

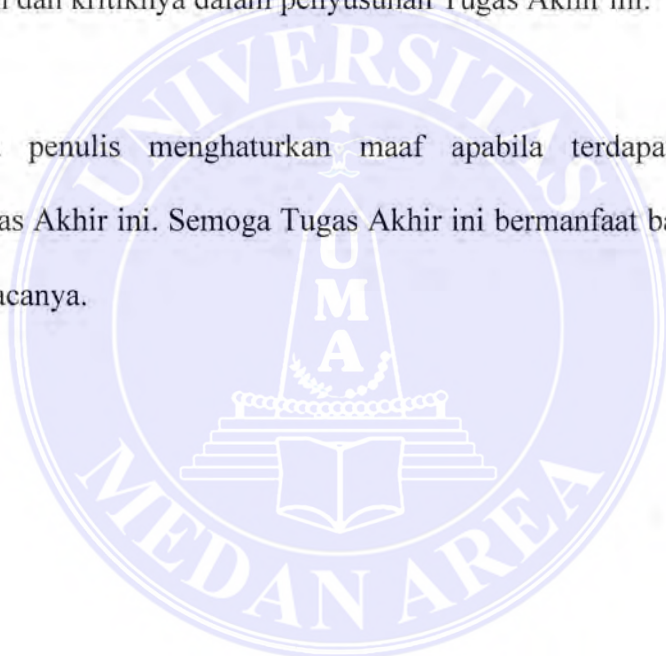
Tugas akhir ini diselesaikan dengan mengacu pada data yang ada di Pabrik Peleburan Aluminium PT Indonesia Asahan Aluminium ( PT. Inalum ) Kuala Tanjung.

Selama masa penulisan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan masukan berupa kritik dan saran-saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Ibunda tercinta yang tidak terhitung kasih sayangnya kepada penulis serta kakanda dan adinda yang telah memberi dorongan kepada penulis.
2. Sahabat Istimewa saya yang selalu setia memberi dukungan selama perkuliahan dan dalam pengurusan dan persiapan penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. Dadan Ramdan Msc. Eng. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area dan juga sebagai Dosen Wali penulis.
4. Bapak Ir. Yance Syarif, selaku ketua jurusan Teknik Elektro Universitas Medan Area.
5. Ibu Ir. Maryam Amin, sebagai Dosen Pembimbing I atas segala kritik dan sarannya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

6. Bapak Ir. H. Usman Harahap, selaku Dosen Pembimbing II atas segala kritik dan sarannya dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Seluruh Dosen di Fakultas Teknik, khususnya jurusan teknik Elektro Universitas Medan Area.
8. Rekan-rekan Staff karyawan PT Inalum khususnya Departemen Listrik atas segala bantuan saran dan kritiknya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Akhirnya penulis menghaturkan maaf apabila terdapat kesalahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis dan siapa saja yang membacanya.



Medan, Juli 2003

Ramli Manurung

00 812 0022

## ABSTRAK

Holding furnace sangat berperan penting didalam Pabrik Peleburan Aluminium, khususnya dalam proses penuangan ( Casting Plant ) pada PT Inalum, dimana Holding Furnace berperan sebagai tungku penampung dan tempat proses aluminium cair serta menjaga temperatur aluminium cair hingga tetap berada pada temperatur cetak  $\pm 730$  °C.

Untuk dapat menjaga temperatur aluminium cair, Holding Furnace dilengkapi dengan heater yang berfungsi sebagai pemanas. Heater ini disusun sedemikian rupa dengan pola hubungan Bintang ( Y ) dan Delta (  $\Delta$  ), dimana untuk masing-masing pola hubungan resistance pada heater menghasilkan waktu pemanasan yang berbeda-beda. Sistem kerja heater ini dapat dioperasikan secara manual dan otomatis, tetapi dengan waktu tertentu dan berbeda-beda.

Perhitungan waktu pemanasan ini bertujuan untuk mengetahui lamanya waktu pemanasan yang dibutuhkan untuk pola hubungan resistance tertentu pada heater, yang akan dipergunakan apabila terjadi penurunan temperatur aluminium cair hingga berada dibawah temperatur cetak.

Dengan mengetahui waktu pemanasan pada pola hubungan resistance tertentu pada heater, diharapkan jadwal pencetakan ingot dapat tercapai sehingga proses produksi dapat terlaksana dengan lancar.

POLA HUBUNGAN RESISTANCE PADA HOLDING FURNACE DAN  
PENGARUHNYA PADA WAKTU PEMANASAN  
DI PT INALUM

DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	i
Abstrak .....	iii
Daftar Isi .....	iv
Daftar Gambar .....	vi
Daftar Tabel .....	viii
Daftar Lampiran .....	ix
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1.Umum .....	1
1.2.Latar Belakang Masalah .....	2
1.3.Tujuan Penulisan .....	9
1.4.Batasan Masalah .....	9
1.5.Sistematika Penulisan .....	9
BAB II. TINJAUAN TEORITIS.....	11
2.1. Kalor .....	11
2.2. Efek Arus Listrik .....	12

2.3. Metode Pemanasan Listrik.....	14
2.4. Pemanasan Dengan Menggunakan Tahanan .....	16
2.5. Metode Pengaturan Temperatur .....	18
2.6. Jenis Perpindahan Panas .....	19
2.7. Tungku Industri .....	20
BAB III. HOLDING FURNACE .....	31
3.1. Prinsip Kerja Holding Furnace .....	31
3.2. Heater ( Elemen Pemanas ) .....	34
3.3. Batu Tahan Api ( Fire Brick ) .....	37
3.4. Thermocouple .....	38
BAB IV. PEMBAHASAN.....	45
4.1. Pola Hubungan Resistance pada Heater .....	45
4.2. Perhitungan waktu Pemanasan .....	58
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
5.1. Kesimpulan .....	68
5.2. Saran .....	69

Daftar Pustaka

Lampiran

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 3/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)3/1/24

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Box Type Furnace.....	21
Gambar 2.2. Box Type Furnace with Cooling Chamber.....	22
Gambar 2.3. Pit Type Furnace.....	23
Gambar 2.4. Bell Type Furnace.....	25
Gambar 2.5. Rotary Hearth Furnace.....	25
Gambar 2.6. Cast Link Belt Furnace Furnace.....	26
Gambar 2.7. Shaker Hearth Furnace.....	27
Gambar 2.8. Hydraulic Pusher Furnace.....	29
Gambar 2.9. Mesh Belt Conveyor Furnace.....	29
Gambar 2.10. Roller Hearth Furnace.....	30
Gambar 3.1. Holding Furnace dengan Control.....	32
Gambar 3.2. Element Heater.....	35
Gambar 3.3. Batu Tahan Api ( Fire Brick ).....	38
Gambar 3.4. Konstruksi Thermocouple.....	39
Gambar 3.5. Thermocouple dan Lead Compensasi.....	43
Gambar 4.1. Heater Hubungan Bintang.....	46

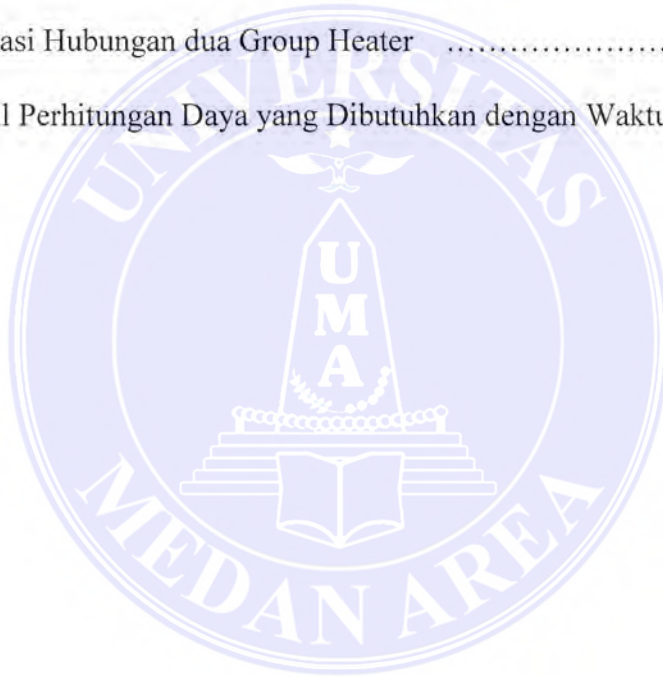


Gambar 4.2. Heater Hubungan Delta.....	48
Gambar 4.3. Heater Hubungan Bintang-Bintang.....	50
Gambar 4.4. Heater Hubungan Delta-Delta.....	53
Gambar 4.5. Heater Hubungan Bintang-Delta.....	55



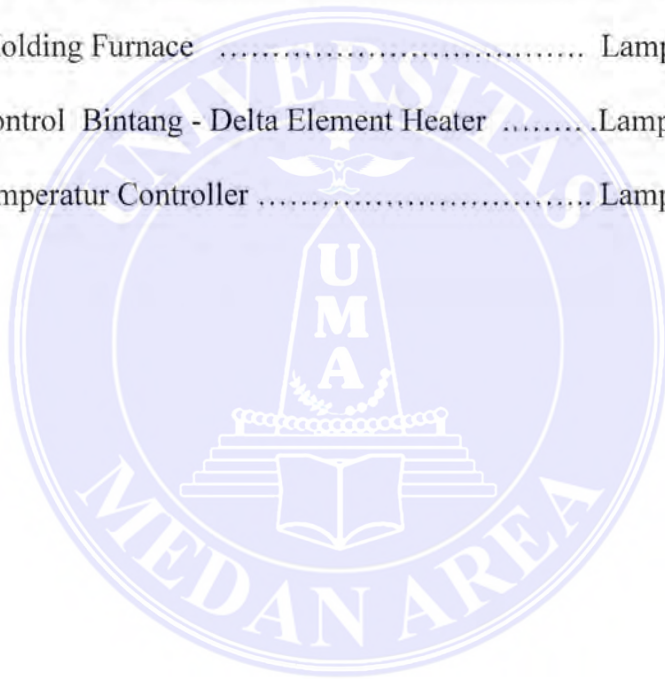
## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Karakteristik Extension Lead .....	42
Tabel 3.2	Variasi Ukuran Lead Compensasi .....	44
Tabel 4.1	Variasi Hubungan dua Group Heater .....	45
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Daya yang Dibutuhkan dengan Waktu Tertentu ...	66



## DAFTAR LAMPIRAN

1. Konstruksi Element Heater ..... Lampiran - 1
2. Konstruksi Holding Furnace ..... Lampiran - 2
3. Sequence Control Bintang - Delta Element Heater ..... Lampiran - 3
4. Sequence Temperatur Controller ..... Lampiran - 4



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Umum

Dalam sebuah perguruan tinggi, seorang mahasiswa harus memiliki suatu tingkat daya nalar yang tinggi untuk dapat mengembangkan ilmu yang telah didapatkan.

Bagi mahasiswa teknik sendiri, pada akhir studynya diharapkan mampu untuk membandingkan ilmu yang telah didapatkan selama masa perkuliahan dengan aplikasi ilmu-ilmu tersebut pada sebuah industri. Untuk setiap mahasiswa tingkat akhir diwajibkan untuk mengadakan studi perbandingan ataupun penelitian guna menyelesaikan tugas akhir.

Adapun tujuan dari diadakannya studi / perbandingan ataupun penelitian untuk penyelesaian tugas akhir adalah :

- a. Mengembangkan ilmu teoritis yang didapatkan mahasiswa selama masa perkuliahan.
- b. Membandingkan ilmu teoritis yang didapatkan terhadap aplikasinya pada sebuah industri.
- c. Mengembangkan sikap dan kepribadian mahasiswa yang kelak diharapkan mampu terjun ketengah masyarakat.

- d. Menjalin kerjasama yang baik antara pihak industri dengan pihak perguruan tinggi, khususnya Fakultas Teknik jurusan Elektro.

### 1.2.Latar Belakang Masalah

Pabrik peleburan aluminium PT Inalum dibangun di areal sebesar 200 Ha yang berlokasi di Kuala Tanjung Kec. Air Putih Kab. Asahan Propinsi Sumatera Utara.

Pabrik peleburan yang menghadap selat malaka mulai didirikan pada tanggal 6 Januari 1976 dan permulaan operasi tahap pertamanya diresmikan oleh bapak Presiden Soeharto pada tanggal 20 Januari 1982. Produksi aluminium Ingot mulai dipasarkan pada 14 Oktober 1982, sedangkan Produksi ke sejuta ton dicapai pada bulan Februari 1988.

Pabrik peleburan aluminium ini menggunakan energi Listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik tenaga air ( PLTA ) Siguragura dan Tangga. Kedua PLTA tersebut memanfaatkan energi potensial air dari aliran sungai Asahan yang berhulu di Danau Toba, mampu menghasilkan daya listrik puncak sebesar 513 MW dan daya output tetap sebesar 426 MW. Daya listrik yang dihasilkan PLTA ini juga dipengaruhi oleh tinggi permukaan air Danau Toba sesuai dengan perjanjian induk antara PT Inalum dengan pemerintah.

Energi listrik yang dibangkitkan kedua PLTA tersebut ditransmisikan ke Pabrik peleburan aluminium di Kuala Tanjung melalui saluran transmisi kawat terbuka ( Over Head Line ) jalur ganda bertegangan 275 KV dengan panjang keseluruhan saluran transmisi 120 Km.

Energi listrik tersebut diterima dibusbar ganda Switch Yard Substation Kuala Tanjung kemudian diturunkan menjadi tegangan menengah 33 KV melalui empat unit Main Transformer ( MTR ). Tegangan keluaran MTR diteruskan ke semua plant dan ke empat unit Load Voltage Regulator ( LVR ) yang kemudian disearahkan oleh enam unit penyearah silikon 37 kA 800 V, dimana setiap dua unit penyearah silikon tersebut mencatu daya listrik untuk pot reduksi di Reduction Plant ( Pabrik Peleburan ).

Pabrik peleburan aluminium terdiri atas bagian-bagian berikut :

- Bagian Karbon
- Bagian Reduksi
- Bagian Penuangan
- Bagian penyedia Daya Listrik
- Fasilitas-fasilitas pelengkap seperti :
  - Sistem pembersih Gas
  - System penyimpanan bahan baku
  - Bengkel perawatan Mekanik dan Listrik
  - Kantor Utama
  - Access rood ( jalan masuk )
  - Pelabuhan
  - Pemukiman Karyawan
  - Tempat Ibadah
  - Kantin, dll.

## 1. Pabrik Karbon

Pabrik karbon ini memproduksi blok-blok anoda yang digunakan untuk proses elektrolisa di tungku reduksi. Dalam pabrik karbon itu sendiri ada beberapa proses dalam pembuatan blok-blok anoda yang terdiri dari 3 plant yaitu : pembuatan karbon mentah (Green Plant ), Pemanggangan blok anoda ( Baking plant ) dan penangkain blok anoda (Rodding Plant ).

### a. Green Plant.

Green Plant adalah tempat proses pencetakan anoda yaitu dengan menyatukan butiran-butiran kokas dengan pasta hard pitch dan di-shaking dalam cetakan hingga terbentuk blok anoda yang berukuran panjang =  $1375 \pm 10$  mm ,lebar =  $905 \pm 10$  mm , tinggi =  $550 \pm 10$  mm dengan berat  $\pm 1200$  Kg. Dalam proses pembuatan blok anoda ini ada beberapa proses penting yaitu Penerimaan dan pengayakan kokas, Penggilingan kokas, penerimaan dan penghancuran Butt & Green Scrap, penerimaan dan pelelehan pitch, pemanasan dan penimbangan, pengadukan ( kneading ) dan terakhir pencetakan block anoda.

### b. Baking Plant.

Baking Plant yaitu tempat proses pemanggangan Blok Anoda, dimana blok anoda yang sudah dicetak di Green plant diangkut dengan conveyor dan dipanggang dalam satu tungku batu tahan api dengan suhu tertentu sehingga diperoleh baked Block Anoda.

Dalam proses pemanggangan ini, proses pemanasannya diatur dengan kenaikan suhu

tertentu. Urutan prosesnya adalah mulai dari Charging blok anoda mentah, pre-heating, heating (firing), Cooling dan Discharging. Sedangkan Baking Furnace yang digunakan jumlahnya 106 unit yang terdapat dalam 4 gedung.

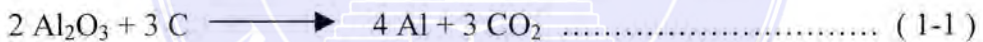
c. Rodding Plant.

Rodding plant ini adalah proses penangkaian Block Anoda yaitu block anoda yang sudah dipanggang dari Baking disatukan dengan tangkainya ( Rod ). Fungsi Rod ini selain tangkai pemegang anoda juga sebagai penghantar arus listrik dalam proses peleburan (elektrolisa). Selain penangkaian blok anoda dalam Rodding plant ini juga menangani beberapa proses yaitu : Penanganan Crust yaitu pemisahan crust dari puntung anoda yang dari proses reduksi dan menghancurkannya. Penanganan Butt yaitu sisa anoda dari proses peleburan dihancurkan untuk digunakan kembali di green plant. Penanganan thimble yaitu sisa-sisa metal perekat dari rod dipecah dan dilebur kembali dalam Induction furnace. Penanganan Tangkai yaitu tangkai anoda yang bekas dipakai disortir dan diperbaiki kembali untuk digunakan sebagai tangkai anoda. Pemasangan tangkai yaitu perekatan blok anoda dengan tangkainya dengan cairan metal yang diperoleh dari Induction Furnace. Pelapisan Aluminium yaitu blok anoda yang sudah bertangkai disemprot dengan aluminium cair dimana fungsi dari aluminium ini adalah untuk melindungi anoda dari proses oksidasi udara dalam proses peleburan. Aluminium diperoleh dari Holding Furnace berkapasitas 10 ton, molten aluminium dituang ke dalam automatic pouring device yang dilengkapi dengan electro magnetic pump (EMP) untuk mengeluarkan aluminium dan disemprotkan dengan udara ke blok anoda.

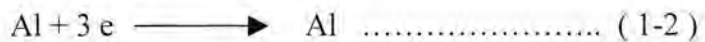


2. Pabrik Peleburan ( Reduction )

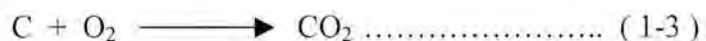
Pabrik peleburan ini adalah tempat proses inti peleburan aluminium, dirancang dengan kapasitas 225.000 MT / Tahun menggunakan 510 buah tungku reduksi. Proses peleburan ini dengan sistem elektrolisa dimana dalam satu tungku terdapat block katoda pada bagian bawah dan block Anoda pada bagian atas yang dialiri dengan arus listrik 175 ~ 185 KA. Diantara anoda dan katoda terdapat larutan elektrolit ( Bath ) yang berfungsi sebagai pelarut butiran Alumina ( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ) dan dengan temperatur yang tinggi menjadi cairan Aluminium. Proses peleburan yang dipakai di PT Inalum adalah proses reduksi Hall – Heroult dimana proses ini ditemukan oleh Charles Hall di USA dan Paul Heroult di Prancis tahun 1886. Dalam proses reduksi ini terjadi reaksi kimia yaitu,



Alumina direduksi secara elektrolitik menjadi logam aluminium. Reaksi reduksi terjadi di katoda dimana ion aluminium melepaskan 3 elektron dan berubah menjadi logam Al, sesuai persamaan reaksi berikut,



Sedangkan di Anoda terjadi reaksi pembentukan CO<sub>2</sub> dari karbon dan oksigen sesuai dengan persamaan berikut,



Kriolit mempunyai sifat-sifat fisik dan kimia yang sesuai untuk dipakai sebagai larutan elektrolit proses reduksi alumina.

Proses Peleburan aluminium ini dikontrol secara otomatis dengan sistem komputer.

### 3. Pabrik Penuangan ( Casting )

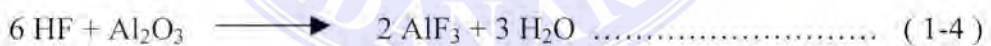
Aluminium cair dari pabrik peleburan di-sedot dalam Leadle dan diangkut ke Pabrik penuangan kemudian ditampung dalam Holding Furnace. Pada bagian penuangan ini, Holding Furnace sangat berperan penting sebagai tungku penampungan sementara Aluminium cair dan dalam Holding Furnace inilah dilakukan proses pembersihan dan pemurnian Alumium sehingga diperoleh Aluminium dengan kadar yang sesuai dengan yang diinginkan. Selama dalam Holding Furnace, temperatur metal dijaga dalam temperatur konstan yaitu  $\pm 730^{\circ} \text{C}$  ( sesuai dengan temperatur pencetakan Aluminium ).

Untuk menjaga temperatur Aluminium tetap konstan maka didalam holding furnace ini dipasang heater yang terpasang dalam batu tahan api, sedang Holding furnace itu sendiri dikelilingi dengan batu tahan api pada bagian dalamnya. Sebagai alat pengontrol temperatur dipakai alat indicating temperature controller yang berfungsi untuk meng-ON-OFF kan heater sehingga temperatur metal tetap pada harga tertentu.

Pola hubungan resistance pada heater yang diatur secara manual pada control panel sangat berpengaruh terhadap pemanasan. Sehingga diharapkan dengan mengetahui waktu pemanasan, jadwal pencetakan dapat diatur sedemikian rupa guna menghasilkan jumlah produksi yang maksimal

#### 4. Bagian Pembersih Gas

Bagian pembersih gas ( Gas Cleaning ) adalah plant yang berperan penting dalam lancarnya proses peleburan. Proses pembersih gas dalam PT Inalum ada dua bagian yaitu Gas Cleaning untuk Plant Peleburan dan Gas Cleaning untuk Plant Pemanggangan anoda. Gas Cleaning dalam pemanggangan anoda berfungsi untuk menghisap gas-gas yang dihasilkan dalam proses pemanggangan anoda yaitu mengandung Tar yang bila membeku berbentuk seperti aspal. Gas ini disaring dengan sistem Electric Presipitator dan hasil akhirnya sudah menjadi udara bersih yang dibuang bebas. Proses Gas cleaning dalam Pabrik peleburan adalah menghisap debu dan gas-gas yang dihasilkan dari proses peleburan berupa gas HF. Sistemnya dengan mencampur atau mengalirkan gas HF dengan bahan baku Alumina sehingga gas HF ini larut dalam alumina sehingga hasil akhir berupa gas H<sub>2</sub>O dan bisa dibuang bebas. Secara reaksi kimia proses ini adalah seperti berikut,



H<sub>2</sub>O berupa Gas dibuang bebas ke udara dan AlF<sub>3</sub> sebagai bahan baku untuk pot reduksi.

#### 5. Fasilitas Lain

Untuk menunjang Pabrik peleburan ini dibangun juga sarana-sarana penunjang seperti bengkel-bengkel untuk perbaikan dan perawatan peralatan-peralatan industri dan kendaraan. Bengkel-bengkel ini adalah Bengkel Mekanik ( Mechanic Repair Shop ) dan Bengkel Listrik ( Electric Repair Shop ).

### 1.3. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penulisan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan di Holding Furnace. Dengan menghitung waktu pemanasan diharapkan dapat memperlancar proses pencetakan aluminium batangan guna mencapai hasil produksi yang maksimal.

### 1.4. Batasan Masalah

Topik bahasan dalam Tugas Akhir ini menitik beratkan pada perhitungan waktu pemanasan di Holding Furnace. Dari masing-masing hubungan heater dapat diketahui lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur pencetakan. Disamping waktu pemanasan juga dibahas mengenai heater, batu tahan api, thermocouple serta prinsip kerja dari Holding Furnace.

### 1.5. Sistematika Penulisan

Bab I. Berisi informasi umum tentang pelaksanaan penyusunan Tugas Akhir, Latar belakang masalah yang menjelaskan secara singkat proses produksi yang ada di pabrik peleburan aluminium PT Inalum, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

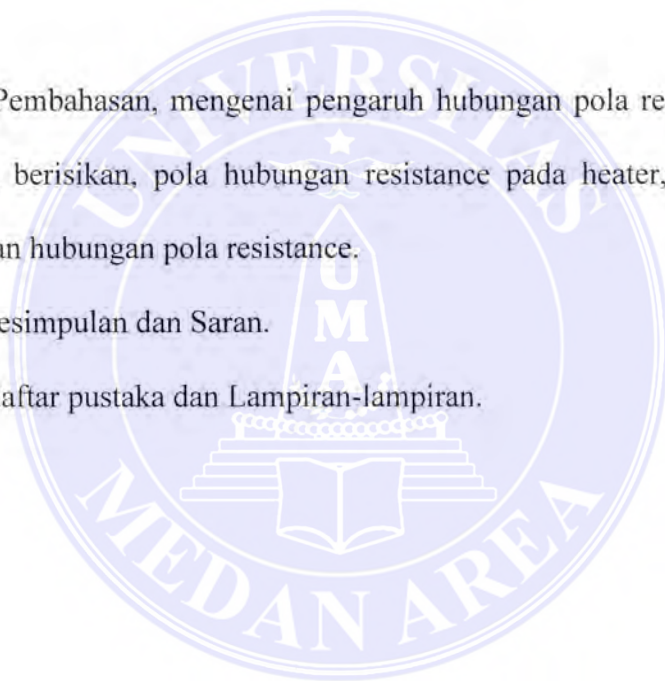
Bab II. Berisi teori-teori dasar yang mendukung pemecahan masalah. Pada bab ini berisi antara lain kalor, efek arus listrik, metode pemanasan listrik dengan menggunakan tahanan dan tungku industri.

Bab III. Mengenai Holding Furnace yang berisikan tentang alat-alat pendukung di Holding Furnace yaitu Heater, batu tahan api, thermocouple, serta prinsip kerja Holding Furnace.

Bab IV. Pembahasan, mengenai pengaruh hubungan pola resistance pada waktu pemanasan yang berisikan, pola hubungan resistance pada heater, perhitungan waktu pemanasan dengan hubungan pola resistance.

Bab V. Kesimpulan dan Saran.

Ditutup dengan daftar pustaka dan Lampiran-lampiran.



## BAB II

### TINJAUAN TEORITIS

#### 2.1. Kalor

Untuk menghasilkan kenaikan temperatur pada sebuah benda yang bermassa diperlukan konduktivitas kalor dari zat-zat yang berbeda satu sama lain. Perbandingan banyaknya kalor  $\Delta Q$  yang diberikan kesebuah benda untuk menaikkan temperatur sebanyak  $\Delta t$  dinamakan kapasitas kalor  $C$ .

$$\text{Kapasitas kalor ( C )} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \dots\dots\dots (2-1)$$

Kapasitas kalor per satuan massa sebuah benda dinamakan panas jenis yang merupakan ciri ( karakteristik ) dari suatu bahan.

$$\text{Kalor jenis ( c )} = \frac{C}{m} = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (2-2)$$

Kalor yang harus diberikan kepada suatu benda yang bermassa  $m$  yang mempunyai kapasitas panas jenis  $c$  untuk menaikkan temperatur dari  $t$  awal -  $t$  akhir dengan menganggap bahan  $\Delta t \leq t$  akhir -  $t$  awal.

$$\text{Kalor (Q)} = m \int_{T_1}^{T_2} c \cdot dt \dots\dots\dots (2-3)$$



2.2. Efek Arus Listrik.

Pada setiap konduktor efek arus listrik adalah merupakan hal yang umum yang sering terjadi, ketika arus listrik mengalir akan menjadi panas setelah beberapa waktu. Dapat dijelaskan dengan mudah, arus listrik ini merupakan aliran elektron yang melewati suatu bahan dalam arah yang berlawanan.

Gerakan elektron tersebut akan melewati molekul atau atom pada suatu bahan yang dilaluinya, kemudian bertubrukan dengan elektron lain. Tubrukan elektron inilah yang menyebabkan timbulnya panas.

Apabila pada sebuah kawat hambatan yang dialiri oleh arus listrik akan terjadi pemanasan akibat energi listrik  $I$  yang mengalir dengan beda tegangan  $V$  maka dalam waktu  $T$  akan menghasilkan energi listrik sebesar :

$$W = V \cdot I \cdot T \dots\dots\dots (2-4)$$

Menurut teori kalor, energi yang diperlukan untuk memanaskan suatu benda yang bermassa melalui suhu  $\Delta t$  adalah :

$$W = m \cdot c \cdot \Delta t \dots\dots\dots (2-5)$$

Dimana  $c$  adalah merupakan panas jenis dari bahan tersebut. Bila diterapkan pada holding furnace maka nilai  $c$  yang mempengaruhi adalah  $c$  aluminium ( $c_{Al}$ ) dan  $c$  heater ( $c_H$ ) sehingga :

$$W = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$W = (m_{Al} \cdot c_{Al} + m_H \cdot c_H) \Delta t \dots\dots\dots (2-6)$$

Karena adanya kesamaan bentuk energi antara kalor dan listrik maka persamaan (2-4) dan (2-6) dapat disetarakan :

$$V \cdot I \cdot T = (m_{Al} \cdot c_{Al} + m_H \cdot c_H) \Delta t \dots\dots\dots (2-7)$$

Dengan demikian waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan molten dari temperatur  $t_1$  hingga mencapai temperatur  $t_2$  adalah :



$$T = \frac{(m_{Al} \cdot c_{Al} + m_H \cdot c_H) \Delta t}{P} \quad (\text{second}) \dots (2-8)$$

Keterangan :

- T = Waktu pemanasan ( second )
- m<sub>AL</sub> = massa aluminium cair ( Kg )
- m<sub>H</sub> = Massa heater ( Kg )
- c<sub>AL</sub> = panas jenis aluminium ( J / Kg.°C )
- c<sub>H</sub> = panas jenis heater NiCr ( J / Kg.°C )
- Δt = perubahan temperatur ( °C )
- P = daya ( Watt )

### 2.3. Metode Pemanasan Listrik

Metode pemanasan listrik ada beberapa macam yaitu :

#### a. Direct Resistance Heating

Pada metode ini arus listrik dialirkan ke daerah yang akan dipanaskan. Prinsip pemanasan ini dipakai pada pengelasan dan penggunaan elektroda boiler pada pemanas air.

b. Indirect Resistance Heating

Pada metode ini arus listrik dialirkan ke wayar yang mempunyai tahanan yang tinggi dalam bentuk elemen pemanas. Panas yang dihasilkan dipindahkan dari element pemanas ke bahan dalam bentuk perpindahan panas secara konveksi atau radiasi. Pada umumnya metode ini digunakan pada tungku pemanas, oven pemanas, pemanasan metal dan alat-alat rumah tangga.

c. Direct Induction Heating

Pada metode pemanasan ini arus listrik diinduksikan melalui bentuk gelombang elektromagnetik pada bahan yang akan dipanaskan. Induksi terjadi ketika mengalir arus pada tahanan dari bahan yang akan dipanaskan yang kemudian menghasilkan panas dan akan terjadi kenaikan temperatur pada bahan yang dipanaskan. Pada tungku proses induksi ini biasanya digunakan untuk melebur metal.

d. Indirect Induction Heating

Pada metode pemanasan ini efek arus eddy digunakan untuk menghasilkan induksi pada element pemanas dalam bentuk gelombang elektromagnetik. efek arus eddy dinaikkan pada element pemanas untuk menghasilkan panas yang akan dipindahkan ke bahan yang akan dipanaskan dalam bentuk radiasi atau konveksi.

e. Dielectric Heating.

Pada metode pemanasan ini digunakan rugi-rugi dielektrik yang menghasilkan panas pada bahan yang bukan logam. Bahan-bahan yang bukan logam dipanaskan diantara 2 elektroda yang berseberangan dengan menggunakan tegangan tinggi dan frekwensi

yang tinggi. Hasil panas yang dihasilkan dengan menggunakan rugi-rugi dielektrik diserap oleh bahan yang dipanaskan.

f. Electric Arc.

Proses Pemanasan ini digunakan didalam pemanasan substansi untuk disatukan. Dalam proses ini busur api dihasilkan diantara dua elektroda, dimana suhu yang dihasilkan sangat tinggi, biasanya dalam batas  $3000 \sim 3500 \text{ }^\circ \text{C}$ . sehingga dapat digunakan untuk melebur metal.

#### 2.4. Pemanasan Dengan Menggunakan Tahanan.

Pemanasan dengan bahan ini digunakan dalam beberapa bentuk seperti pengeringan, pemanggangan bahan, dan lain-lain. Tungku ini pada dasarnya mempunyai tahanan element yang tinggi yang dilalui arus listrik.

Element ini berbentuk kawat atau berupa lempengan. Jenis element yang digunakan berdasarkan dengan kemampuannya untuk menahan temperatur maksimum. Jenis bahan yang biasanya digunakan sebagai bahan untuk pemanas adalah : Nichrom ( 80 % Ni, 20 % Cu ), Nickle Chrome Iron ( 65 % Ni, 15 % Cu, 20 % Fe ), Platinum, molydem, dan grafit.

Ada dua metode pada pemanasan dengan menggunakan tahanan yaitu :

a. Direct Resistance Heating.

Pada metode pemanasan ini, material yang dipanaskan dianggap sebagai tahanan dan dialirkan arus listrik pada material tersebut. Bentuk dari material ini dapat berupa serbuk, lempengan ataupun cairan.

Dua elektroda yang dicelupkan pada material yang dipanaskan dihubungkan kesumber arus searah atau 1  $\phi$  arus bolak-balik dan menggunakan 3 elektroda bila dihubungkan dengan sumber 3  $\phi$  arus bolak-balik.

Ketika beberapa lempengan metal dipanaskan, beberapa serbuk dengan tahanan yang tinggi ditaburkan diatas permukaan lempengan untuk menghindari terjadinya arus hubungan singkat. Arus terus mengalir pada material sehingga panas dihasilkan.

b. Indirect Resistance Heating

Pada metode pemanasan ini, arus yang melewati kawat atau bahan yang mempunyai tahanan yang tinggi dalam bentuk elemen pemanas diletakkan pada bagian atas, samping atau bawah dari ruang pemanas. Bentuk perpindahan panas yang terjadi dapat berupa konveksi ataupun radiasi terhadap material yang akan dipanaskan.

Material yang digunakan untuk elemen pemanas haruslah memiliki sifat-sifat seperti berikut :

a. Tahanan jenis yang tinggi.

Bahan yang digunakan untuk element pemanas haruslah mempunyai tahanan jenis yang tinggi dengan kawat yang kecil sudah cukup untuk menghasilkan jumlah panas yang dihasilkan.

b. Titik lebur yang tinggi

Titik lebur dari bahan yang digunakan untuk elemen pemanas haruslah tinggi sehingga material dapat dipanaskan hingga mencapai temperatur yang tinggi.

c. Koefisien temperatur yang rendah.

Bahan untuk element pemanas haruslah mempunyai koefisien temperatur yang rendah sehingga tahanan tidak berubah dengan perubahan temperatur.

d. bahan untuk elemen pemanas haruslah betul-betul dapat tahan pada temperatur yang dibutuhkan tanpa mengalami oksidasi.

## 2.5. Metode Pengaturan Temperatur.

Pada tungku yang menggunakan tahanan, panas yang dihasilkan tergantung kepada  $I^2 R$  atau  $V^2 / R$ . Macam-macam metode untuk pengontrolan temperatur yakni :

a. Merubah jumlah elemen

Pada metode ini jumlah elemen pemanas yang bekerja dirubah sehingga total daya input atau panas yang diberikan berubah. Metode ini tidak dapat memberikan panas yang merata.

b. Mengubah hubungan.

Pada metode ini elemen yang dihubungkan satu dengan yang lain secara seri atau paralel ataupun kombinasinya dan juga hubungan bintang dan delta dengan cara merubah hubungan switch sesuai dengan yang dibutuhkan. Metode ini lebih sederhana dan sering digunakan sebagai kontrol.

- c. Penambahan variable tahanan luar yang disusun secara seri dengan elemen Tegangan diantara elemen dapat diatur dengan menggunakan variable tahanan luar yang disusun secara seri dengan rangkaian. Metode ini tidak ekonomis karena daya akan terbuang secara percuma dielemen pengontrol tahanan.
- d. Mengubah tapping trafo.
- Supaya tegangan kerja dielemen berubah dilakukan dengan cara mengganti tapping trafo, sehingga arus dirangkaian akan berubah, akibat berubahnya arus akan mengakibatkan berubahnya juga temperatur yang dihasilkan.

## 2.6. Jenis Perpindahan Panas.

Suatu bahan pemanas akan memberikan panas kepada materi yang akan dipanaskan. Ada beberapa bentuk perpindahan panas yakni :

- Konduksi
- Konveksi
- Radiasi.

### a. Konduksi.

Bentuk perpindahan panas ini, satu bagian dari bahan menerima panas dan memindahkan panas kebagian yang lain dan seterusnya. Lalu panas yang dipindahkan secara terus menerus dari satu bagian kebagian yang lain atau diantara dua bahan yang berhubungan.

b. Konveksi.

Panas yang dipindahkan pada bentuk konveksi terlihat pada jenis pencelupan tipe pemanas air atau jenis alat pemanas temperatur rendah untuk pemanasan gedung. Udara berhubungan dengan alat pemanas pada ruangan yang menerima panas. Panas udara akan meluas dan naik, dan proses ini dinamakan konveksi.

c. Radiasi.

Pada bentuk perpindahan panas ini, panas menjangkau bahan yang akan dipanaskan dari sumber pemanas tanpa menyentuh bahan yang akan dipanaskan.

## 2.7. Tungku Industri.

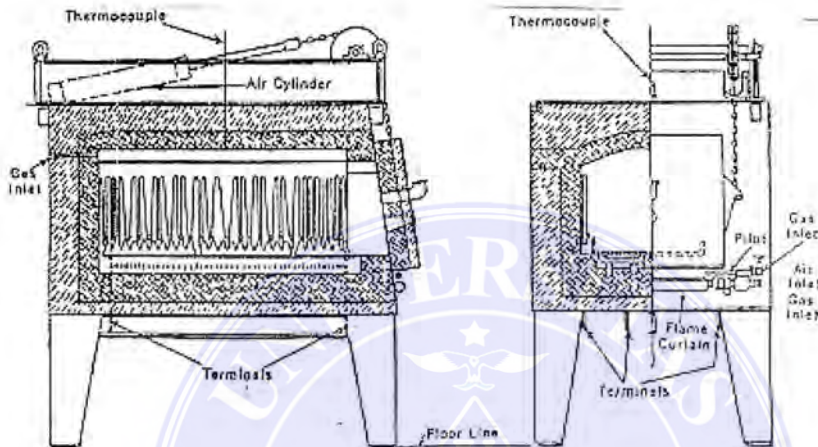
Tungku industri dengan menggunakan tahanan belakangan ini didukung peralatan metallurgi. Waktu, siklus temperatur, pemanasan dan pendinginan atau pemadaman telah dilakukan secara otomatis. Ruangan pemanasan juga dapat dikontrol, sehingga kandungan karbon dan kondisi akhir tetap tidak berubah pada proses pemasangan ini.

Tipe tungku telah berkembang dengan metode yang macam-macam berdasarkan material yang ditangani. Berikut akan ditunjukkan klasifikasi tipe tungku dan aplikasinya.

a. Box Type Furnace.

Pada tungku ini temperatur yang dihasilkan  $1200\text{ }^{\circ}\text{F} \sim 2000\text{ }^{\circ}\text{F}$  ( $648.89\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1093.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Tungku ini dilengkapi dengan elemen pemanas listrik pada sisi samping dan pada bagian bawah plat pembakar. Untuk temperatur kerja  $1850\text{ }^{\circ}\text{F} \sim 2000\text{ }^{\circ}\text{F}$

(  $1010\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1093.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ) sangat cocok untuk perawatan panas pada baja, penggunaan tahanan karbit silikon dan perapian.



Gambar 2.1 Box Type Furnace

b. Box Type Furnace With Cooling Chamber.

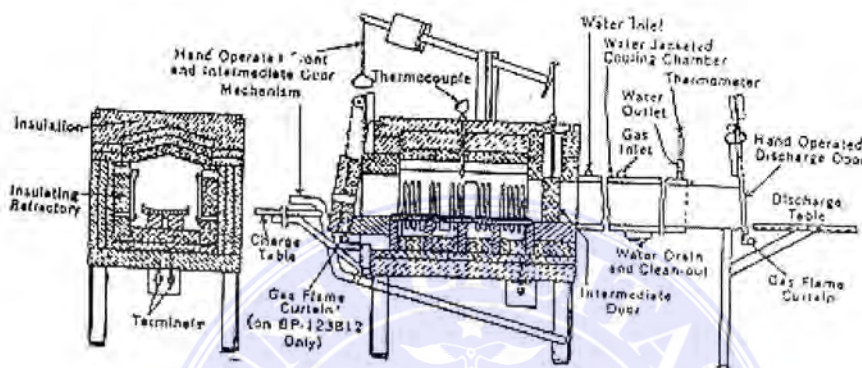
Temperatur kerja pada tungku ini  $1200\text{ }^{\circ}\text{F} \sim 2100\text{ }^{\circ}\text{F}$  (  $648.89\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1148.89\text{ }^{\circ}\text{C}$  ).

Mempunyai elemen pemanas metalik pada satu sisi saja, dengan perapian karbit silikon. Ruang pemanas terpisah dari ruang pendingin yang dibatasi oleh pintu pembatas. Tungku ini juga digunakan untuk penguatan metal.

Tungku ini sangat cocok untuk pemijaran yang ringan, tungku patri dan peleburan dimana kondisi yang dihasilkan sedikit dan bervariasi dan juga bagian-bagian yang



memanaskan cukup ditangani oleh penampang yang kecil yang mana dapat didorong dengan tangan.



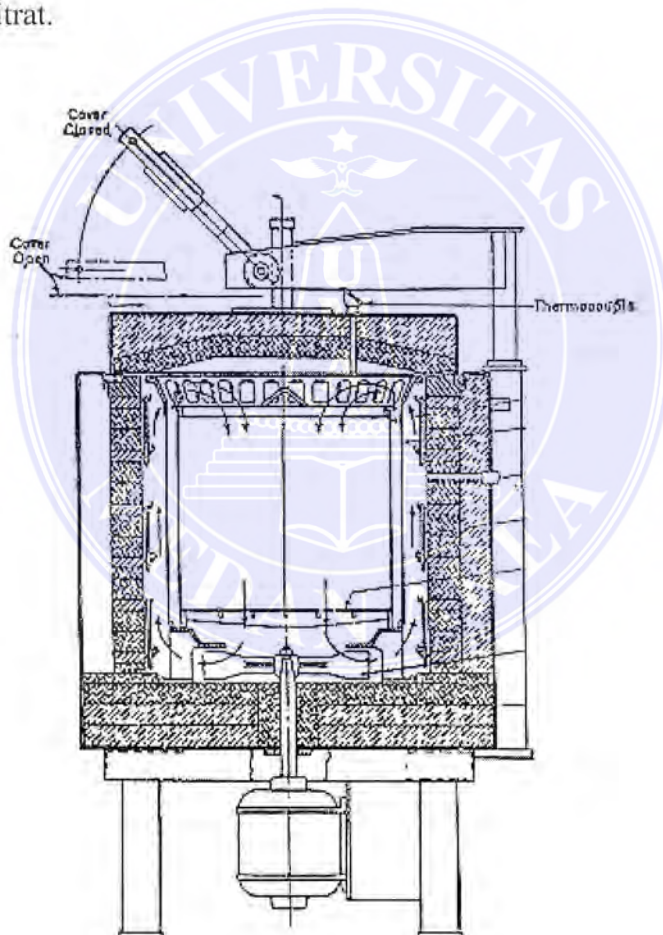
Gambar 2.2 Box Type Furnace With Cooling Chamber

c. Pit Type Furnace.

Temperatur kerja yang dihasilkan pada tungku ini  $250\text{ }^{\circ}\text{F} \sim 1400\text{ }^{\circ}\text{F}$  ( $121.1\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 760\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Energi yang digunakan secara konveksi, menggunakan kipas untuk sirkulasi udara yang terletak pada bagian bawah tungku, terdapat plat pembuang udara langsung diatas elemen pemanas. Beban yang dikerjakan terletak pada bejana yang berbentuk silinder, yang mana mempunyai terali pemanggang pada bagian bawahnya untuk dilalui udara yang bergerak.

Tungku ini sangat cocok untuk penarikan, melonggarkan tekanan dan perapian panas untuk campuran aluminium dan magnesium. Tungku tipe ini dapat juga

digunakan untuk memanaskan potongan-potongan yang panjang seperti poros, roll, penggiling dan laras senapan hingga mencapai 2100 °F ( 1148.89 °C ). Pada temperatur tertinggi, pemanasan sudah berbentuk radiasi dari pada daya konveksi oleh sebab itu plat pembatas dan kipas disisihkan. Tungku ini juga dapat digunakan dengan penggunaan pada penarikan skala besar, mengeringkan sianida, senyawa karbon dan nitrat.



Gambar 2.3 Pit Type Furnace

d. Bell Type Furnace.

Tungku ini sebenarnya adalah kebalikan dari pit type furnace. Tungku ini menggunakan pemanasan secara radiasi dan konveksi. Beban kerja terletak pada bagian dasar ditutup oleh kap plat besi.

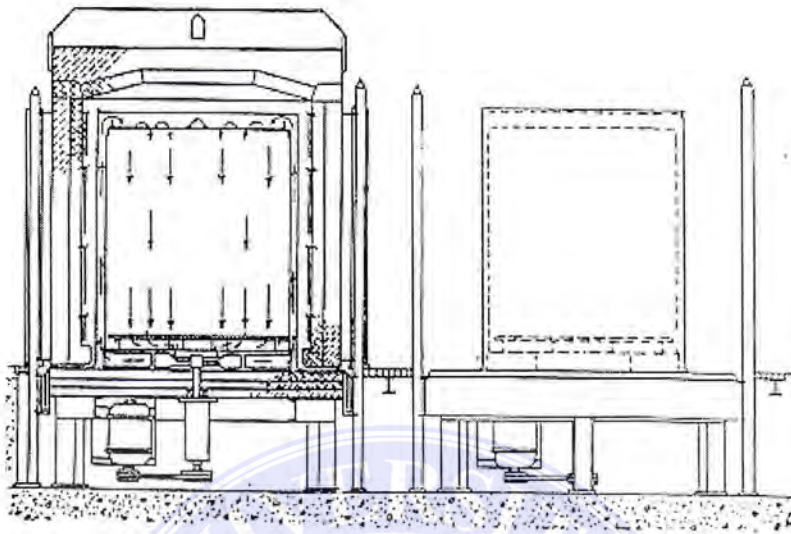
Elemen pemanas listrik tungku tersusun pada bagian dalam lebih rendah dari kap untuk pemanasan kemudian digerakkan ke posisi dasar yang lain sampai selesai pemanasan.

Jadi tungku tetap panas sehingga menghemat serta menyimpan energi, terutama cocok sekali untuk pemijaran yang ringan untuk tembaga, kepingan baja, serta untuk gulungan wayar atau kumparan. Temperatur yang digunakan biasanya  $1200\text{ }^{\circ}\text{F} \sim 1500\text{ }^{\circ}\text{F}$  ( $648.89\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 815.56\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) untuk pemijaran baja dan  $400\text{ }^{\circ}\text{F} \sim 900\text{ }^{\circ}\text{F}$  ( $204.4\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 482.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) untuk pemijaran tembaga.

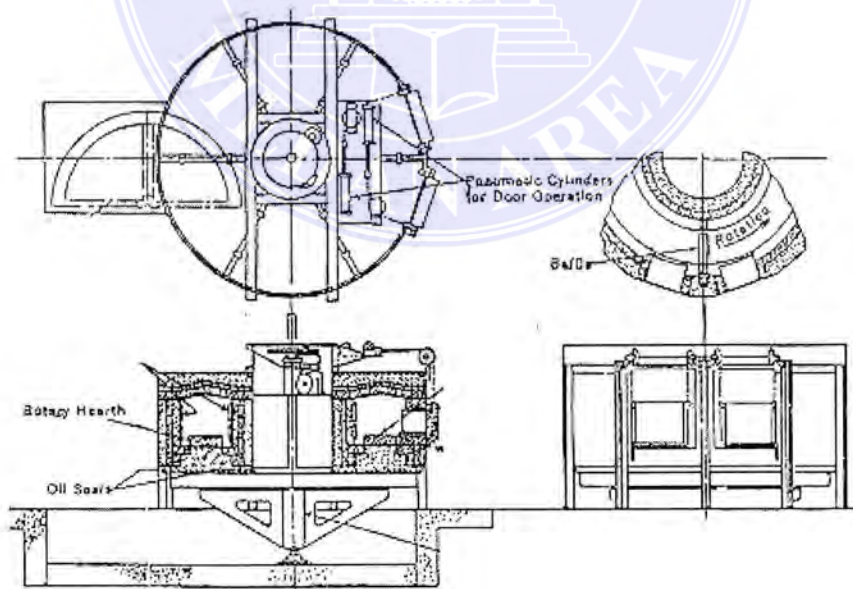
e. Rotary Hearth Furnace.

Tungku ini terutama sekali sesuai untuk pengerasan dan normalisasi baja ketika pengisian secara manual dan pengosongan materi bilamana diperlukan. Tungku ini berbentuk gelang dengan poros dibagian tengah. Pekerja berfungsi untuk pemindahan muatan ke pintu pengisian dan muatan dipanaskan dengan berputar yang berlawanan dengan arah jarum jam menuju pintu pengosongan.

Pintu pengisian dan pengosongan berdekatan, sehingga pekerja dapat melakukan pengisian muatan dan pengosongan tanpa bergerak jauh. Pemanasan ini dilakukan dengan cara radiasi dimana elemen pemanas terletak pada bagian dalam tungku.



Gambar 2.4 Bell Type Furnace

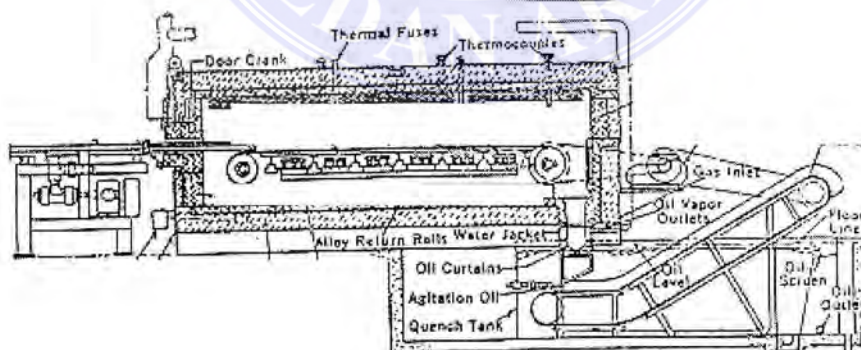


Gambar 2.5 Rotary Hearth Furnace

f. Cast Link Belt Conveyor Furnace.

Tungku ini sesuai untuk pengerasan baja secara terus menerus. Muatan diletakkan diatas tempat pengisian dan kemudian diletakkan pada lajur pengangkat pada tungku. Saat lajur membawa muatan melalui tungku kemudian menjatuhkan muatan pada corong pendingin lalu ke lajur pengangkut pendingin. Tungku ini pada umumnya digunakan untuk material kecil seperti baut, skrup, alat-alat kecil dan sejenis lahar.

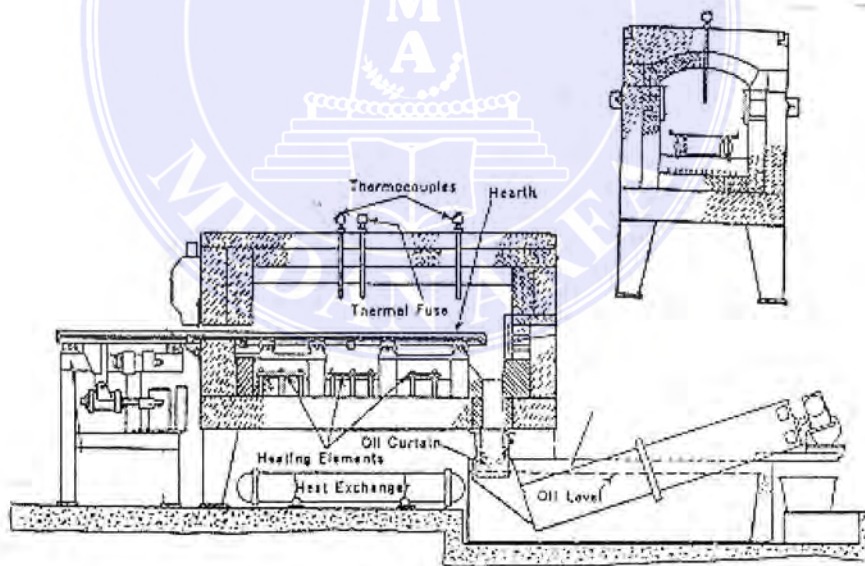
Pemanasan ini menggunakan cara radiasi dari elemen pemanas yang berada pada bagian atas dan bagian bawah dari lajur penghubung pencetakan. Suhu minyak pendingin dijaga dengan sirkulasi minyak yang melalui pendingin pada bagian tangki, yang dilengkapi dengan thermostat. Kecepatan berjalan dari lajur pengangkut pendingin dan lajur pengangkut pada tungku diatur melalui pengatur kecepatan.



Gambar 2.6 Cast Link Belt Conveyor Furnace

g. Shaker Heart Furnace.

Tungku ini digunakan untuk pengerasan secara terus-menerus untuk material yang kecil, baja golongan ringan seperti pisau, pegas/per, skrup kecil. Tungku ini menggunakan plat halus yang menengadiah pada bagian pinggir. Alat ini memberikan gerakan balasan yang tiba-tiba untuk mengurangi kecepatan lajur pengangkut pada gerakan maju sehingga gerakan mendorong maju dilakukan sedikit demi sedikit, dimana pada akhir dari plat perapian muatan akan jatuh ke pendingin.



Gambar 2.7 Shaker Hearth Furnace

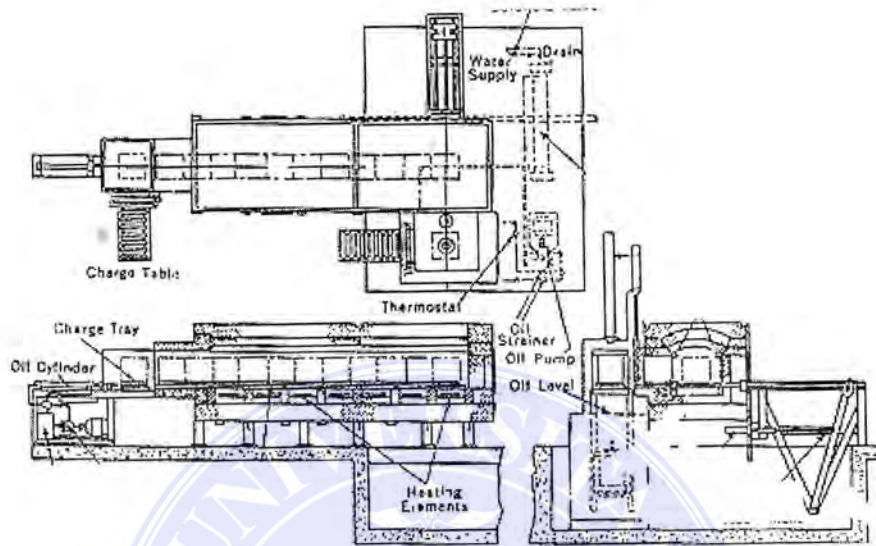
#### h. Hydraulic Pusher Furnace.

Tungku ini digunakan untuk pengerasan material baja seperti poros, roda gigi yang kecil, yang harus didinginkan untuk menghindari penyimpangan. Material-material umum yang lebih besar dapat juga ditangani oleh cast link belt furnace. Beban yang terdapat diatas jaringan alas cetakan didorong pada lajur melalui tungku, kemudian didorong bersilangan diatas meja ruang pendingin. Meja dan beban segera diturunkan kedalam cairan pendingin dengan menggunakan silinder udara yang menjaga agar tetap tidak bergoyang hingga pendingin selesai.

Keseluruhan rangkaian berjalan dengan waktu dan pengerjaan otomatis. Dimana pekerja hanya mengisi dan mengosongkan alas beban pada saat yang tepat. Tungku ini digunakan juga skala besar, pemijaran ringan pada tembaga dan produk baja serta pemasangan pematrian berat.

#### i. Mesh Belt Conveyor Furnace.

Tungku ini terutama sekali cocok untuk pemijaran, pematrian dan peleburan, yang kemudian dibawa dengan menggunakan lajur kawat jala melalui tungku dan ruang pendingin. Pemanasan ini berlangsung secara radiasi dari elemen pemanas yang terletak pada atap dan pada bagian bagian dapur. Variasi kecepatan Bergeraknya lajur pengangkut dan memendekkan jangkauan lajur juga disediakan.



Gambar 2.8 Hydraulic Pusher Furnace

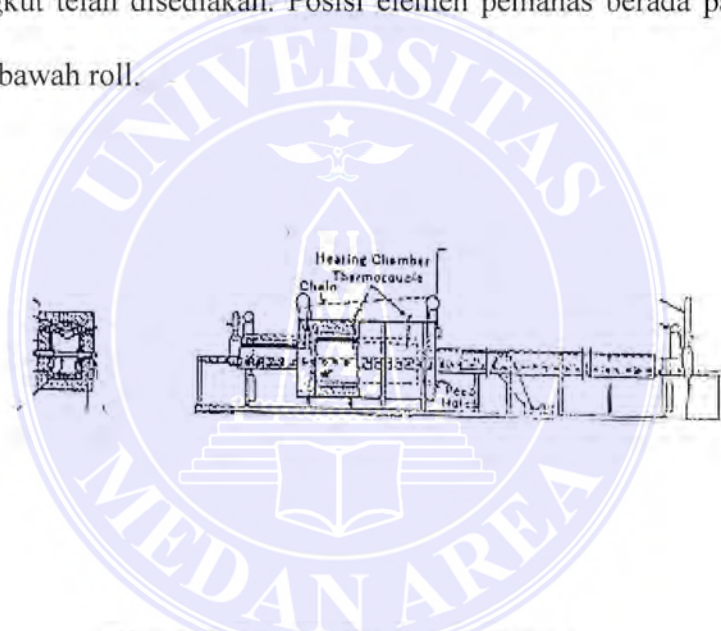


Gambar 2.9 Mesh Belt Conveyor Furnace



j. Roller Hearth Furnace.

Tungku ini digunakan untuk pemijaran, pematrian, normalisasi dan peleburan. Material dibawa dengan menggunakan alas yang berada diatas roll yang berjalan melalui tungku. Pada kondisi normal pintu belakang tertutup. Pengerjaan pengisian dan pengosongan material dilakukan secara otomatis. Variasi kecepatan bergerak lejur pengangkut telah disediakan. Posisi elemen pemanas berada pada bagian atas dan pada sisi bawah roll.



Gambar 2.10 Roller Hearth Furnace

## BAB III

# HOLDING FURNACE

### 3.1. Prinsip Kerja Holding Furnace.

Pada dasarnya prinsip kerja holding furnace adalah untuk tetap menjaga temperatur molten ( cairan metal ) didalam dapur sehingga dapat mencapai temperatur pencetakan ( casting ) yaitu  $\pm 730$  °C. Pengaturan temperatur dapur dilakukan dengan memberikan energi panas yang berasal dari elemen heater.

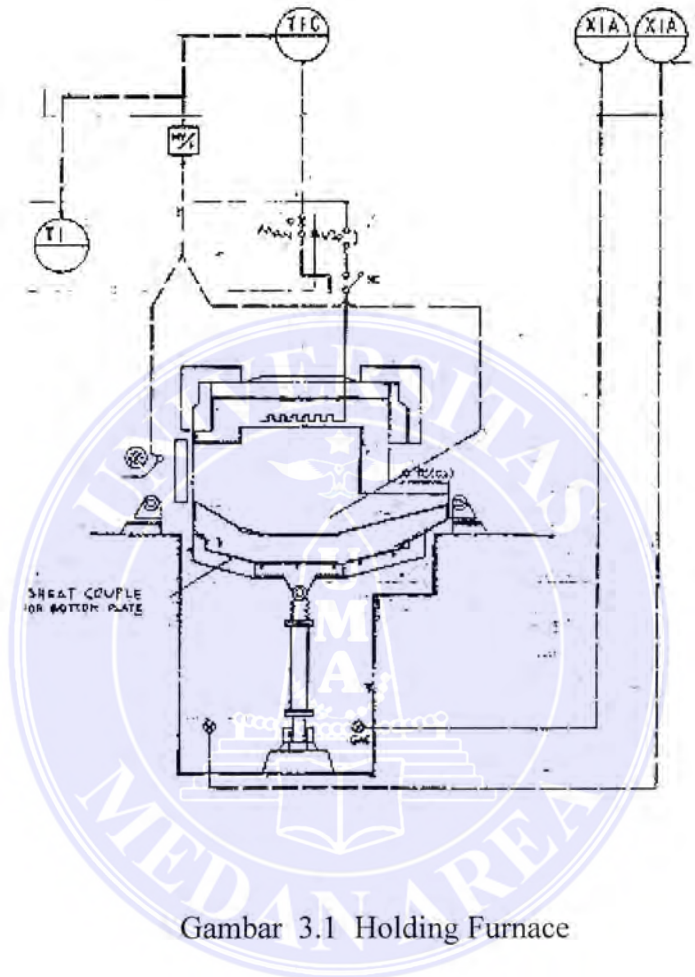
Adapun prinsip kerja holding furnace dalam mengatur temperatur dapur dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu :

1. Secara manual.
2. Secara otomatis.

#### 1. Pengaturan Secara Manual.

Pengaturan secara manual biasanya dilakukan pada proses heating-up dimana hubungan heater menggunakan  $\Delta - \Delta$ , bila diinginkan kenaikan temperatur yang cepat.

Prinsip kerjanya :



Gambar 3.1 Holding Furnace

- Sebelum heater dihidupkan, terlebih dahulu switch untuk hubungan heater (selector switch ) dibuat pada posisi  $\Delta$  dan posisi pintu furnace dalam keadaan tertutup, setelah itu barulah heater dapat di ON – kan.
- Proses pemanasan tengah berlangsung dimana temperatur akan naik secara bertahap. Kenaikan temperatur akan disensor oleh thermocouple yang telah dipasang didalam dapur, hasil sensoran ini akan memberikan sinyal pada

temperatur indikator dan sinyal tersebut diteruskan lagi ke temperatur controller yang kemudian akan dibandingkan dengan temperatur setting untuk pengontrolan.

- Bila temperatur dalam holding furnace belum mencapai harga settingnya maka proses heating – up akan terus berlangsung.
- Bila temperatur dalam holding furnace telah mencapai harga setting maka posisi select switch dipindahkan ke hubungan Y. Proses ini akan berhenti bila temperatur harga setting telah tercapai.

## 2. Pengaturan Secara Otomatis.

Pengaturan secara otomatis dilakukan setelah temperatur dalam holding furnace telah mencapai temperatur lebur aluminium ( $\pm 660\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Pengaturan temperatur ini dilakukan terus menerus sampai selesai proses casting.

Prinsip kerjanya :

- Sama halnya pada bentuk pengaturan secara manual, sebelum heater dinyalakan terlebih dahulu posisi selector switch dibuat pada posisi Y untuk masing-masing group heater, dan pintu dapur telah tertutup. Setelah itu heater baru dapat dinyalakan.
- Setelah heater dihidupkan maka temperatur dapur akan naik secara bertahap. Kenaikan temperatur ini dideteksi oleh sensor thermocouple yang berada didalam dapur dan memberikan sinyal ke indicating temperatur. Sinyal tersebut akan



diteruskan ke temperatur controller yang kemudian dibandingkan dengan temperatur setting.

- Bila temperatur set-up belum tercapai, pemanasan akan terus berlangsung. Tetapi bila temperatur setting telah tercapai maka heater akan mati.
- Bila temperatur dapur mencapai temperatur setting low maka heater akan bekerja kembali. Proses ini akan bekerja terus menerus secara otomatis.

### 3.2. Heater ( Elemen Pemanas )

Heater merupakan komponen utama pada pemanasan tungku holding furnace. Komponen ini berbentuk suatu lempengan yang bahan dasarnya dapat terdiri dari

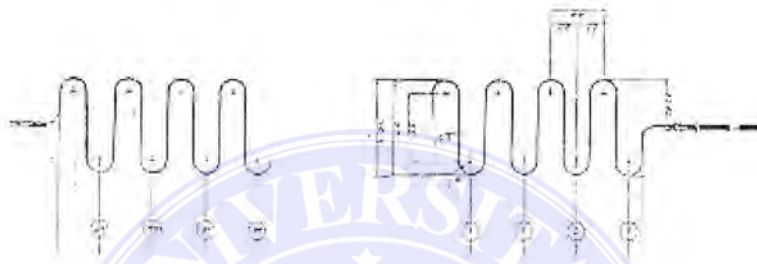
- Krom – Nikel
- Krom – Nikel – Besi
- Krom – Nikel – Aluminium

Dalam pemakaian yang digunakan pada holding furnace di PT Inalum adalah heater jenis Nikel – Krom ( Ni Cr ) dengan perbandingan komposisi 80 % dan 20 %.

Adapun syarat yang harus dipenuhi untuk elemen pemanas listrik adalah sebagai berikut:

1. Harus tahan lama pada suhu yang dikehendaki.
2. Sifat mekanisnya harus cukup 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 suhu harus kecil, sehingga arus kerjanya sedapat mungkin konstan.



Gambar 3.2 Element Heater

Bahan tersebut tahan panas karena membentuk lapisan oksida yang kuat pada permukaannya, sehingga tidak terjadi oksidasi yang lebih lanjut. Bahan-bahan tersebut juga dapat dipergunakan pada suhu  $1000^{\circ}\text{C} - 1200^{\circ}\text{C}$ .

Dalam suatu furnace terdapat 54 Element pemanas yang dibagi menjadi 2 group. Masing-masing group dapat dihubungkan secara delta ( $\Delta$ ) dan secara bintang ( $Y$ ). Setiap group terdiri dari 27 elemen pemanas dan tiap fasa mencatu 9 buah elemen pemanas. Masing-masing elemen pemanas tersebut mampu dialiri arus maksimum 200 Ampere.

Adapun spesifikasi heater yang digunakan di holding furnace PT. Inalum adalah seperti berikut :

- Tegangan sumber : AC 380 Volt
- Jenis heater : Ni Cr
- Frequency : 50 Hz
- Dimensi : 12,8433 m
- Massa heater : 475 gr / m
- Jumlah heater : 9 Buah
- Tahanan / meter : 0,01915  $\Omega$  / m
- Panas jenis aluminium : 0,215 cal/gr  $^{\circ}$ C = 900 J/Kg  $^{\circ}$ C
- Panas jenis NiCr : 0,106 cal/gr  $^{\circ}$ C = 445,2 J/Kg  $^{\circ}$ C

Dari spesifikasi heater diatas, diketahui tahanan untuk satu buah elemen pemanas adalah :

$$\begin{aligned}
 N1 \phi &= 9 \text{ heater} \\
 r &= 0,01915 \text{ } \Omega / \text{m} \\
 l &= 12,8433 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 R &= r \cdot l \cdot N \\
 &= 0,01915 \times 12,8433 \times 9 \\
 &= 2.214 \text{ } \Omega
 \end{aligned}$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 3/1/24

Besarnya arus yang melalui heater untuk :

- Hubungan delta (  $\Delta$  ) :

$$I(\Delta) = \frac{V}{R} = \frac{380 \text{ V}}{2.22 \Omega} = 171,15 \text{ Amp.}$$

$I(\Delta) < 200 \text{ Amp}$  (spesifikasi HF), sehingga masih memenuhi syarat untuk dilakukan.

- Hubungan bintang ( Y ) :

$$I(Y) = \frac{V}{R} = \frac{220 \text{ V}}{2.22 \Omega} = 100 \text{ Amp.}$$

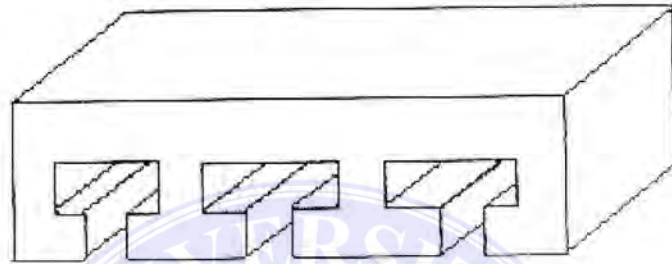
$I(Y) < 200 \text{ Amp}$ , sehingga masih memenuhi syarat untuk dilakukan

### 3.3. Batu Tahan Api ( Fire Brick )

Batu tahan api yang digunakan pada pemanasan di holding furnace adalah jenis CWR – 6, yang fungsinya untuk melapisi tungku yang terbuat dari besi sebagai



penampung cairan metal. Untuk brick bagian atas selain melapisi besi dari panas juga sebagai penyangga heater dan juga sebagai isolator.



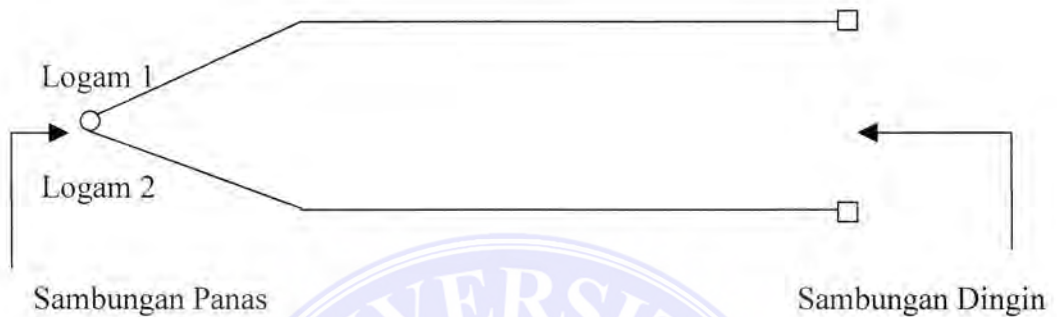
Gambar 3.3 Batu Tahan Api ( Fire Brick )

Adapun susunan roof brick pada furnace, tersusun atas 7 buah brick melebar dan 18 buah memanjang ( 18 x 7 ).

### 3.4. Thermocouple

Thermocouple adalah transducer temperatur tegangan yang secara langsung merubah energi thermal menjadi energi listrik. Secara garis besar thermocouple terbuat dari dua jenis logam yang berbeda. Thermocouple secara langsung akan mengubah energi panas menjadi tegangan listrik bila terdapat perbedaan temperature diantara dua sambungan panas ( hot junction ). Tegangan yang keluar dapat diukur pada sambungan dingin ( cold junction ) bila pada sambungan tersebut dibentuk sambungan pengukuran ( measuring junction ).

Ilustrasi struktur dasar sebuah thermocouple ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 3.4 Konstruksi Thermocouple

Berdasarkan komposisi bahan yang digunakan untuk membuat thermocouple, maka thermocouple dapat dibagi atas dua bagian besar yaitu :

- a. Thermocouple jenis base metal
- b. Thermocouple jenis rare metal

Adapun sifat dan karakteristik dari kedua jenis thermocouple tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Thermocouple jenis base metal.

Thermocouple ini terbuat dari kombinasi logam murni dan campuran besi, tembaga serta nikel. Digunakan untuk mendeteksi temperatur lebih rendah dari  $1.337^{\circ}\text{C}$ . Thermocouple jenis ini lebih mudah berkarat dibandingkan jenis rare metal. Keunggulannya dibandingkan dengan thermocouple jenis rare metal adalah

- Bahan pembentuknya yang lebih murah
- Tegangan yang dihasilkan lebih besar.

b. Thermocouple jenis rare metal.

Thermocouple ini terbuat dari kombinasi logam murni dengan campuran platinum dan rhodium. Digunakan untuk temperatur lebih kecil dari 1.822 °C. Harga thermocouple jenis ini lebih mahal dibandingkan dengan jenis base metal, memiliki sifat yang tidak mudah berkarat. Tegangan yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan jenis base metal.

Ada beberapa thermocouple yang umum dipakai dalam industri. Penggunaan jenis thermocouple tersebut disesuaikan dengan temperatur dimana thermocouple tersebut ditempatkan. Model thermocouple tersebut menurut standard JIS ( Japan Industrial Standard ) antara lain : PR, CA, IC, CRC dan lain-lain. Sedangkan menurut ANSI antara lain jenis : T, J, P, K, R dan lain-lain.

1. Thermocouple Model CA.

Thermocouple model CA termasuk jenis base metal. Terbuat dari bahan Cromel ( Nikel Chromium Alloy ) dan Alumel ( Nikel Aluminium Alloy ) dimana Cromel sebagai kutub positif (+) dan Alumel sebagai kutub negatif (-).

Spesifikasi kerja thermocouple sebagai berikut :

- Temperatur operasi : - 100 ° C s/d 1300 ° C.
- Sensitivitas : 0.041 mV / °C.
- Range emf : 0 s/d 55,89 mV

Thermocouple ini tidak dapat bekerja dengan baik diluar batas temperatur operasinya ( dibawah  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan diatas  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$  ). Sensitif terhadap kenaikan temperatur, dimana setiap kenaikan temperatur  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  akan menghasilkan tegangan emf sebesar  $0.041\text{ mV}$ . Jika Thermocouple dihubungkan ke media dengan temperatur  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  maka tegangan emf yang ditimbulkan pada cold junction sebesar :

$$\begin{aligned} V (\text{emf}) \text{ Cold Junction} &= \text{sensitifitas} \times \text{temperatur} \\ &= 0.041 \times 800 \\ &= 32,8 \text{ mV} \end{aligned}$$

## 2. Thermocouple Model PR.

Thermocouple model PR termasuk jenis rare metal, terbuat dari bahan platinum - rhodium. Rhodium sebagai kutub positif (+) dan platinum sebagai kutub negatif (-). Thermocouple jenis ini dapat digunakan untuk mengukur temperatur hingga  $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Spesifikasi thermocouple jenis PR ini adalah sebagai berikut :

- Temperatur operasi =  $0 \sim 1700\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Sensitifitas =  $\pm 0.010\text{ mV} / ^{\circ}\text{C}$
- Range emf =  $0 \sim 20,986\text{ mV}$

## 3. Extension Lead Kompensasi Thermocouple.

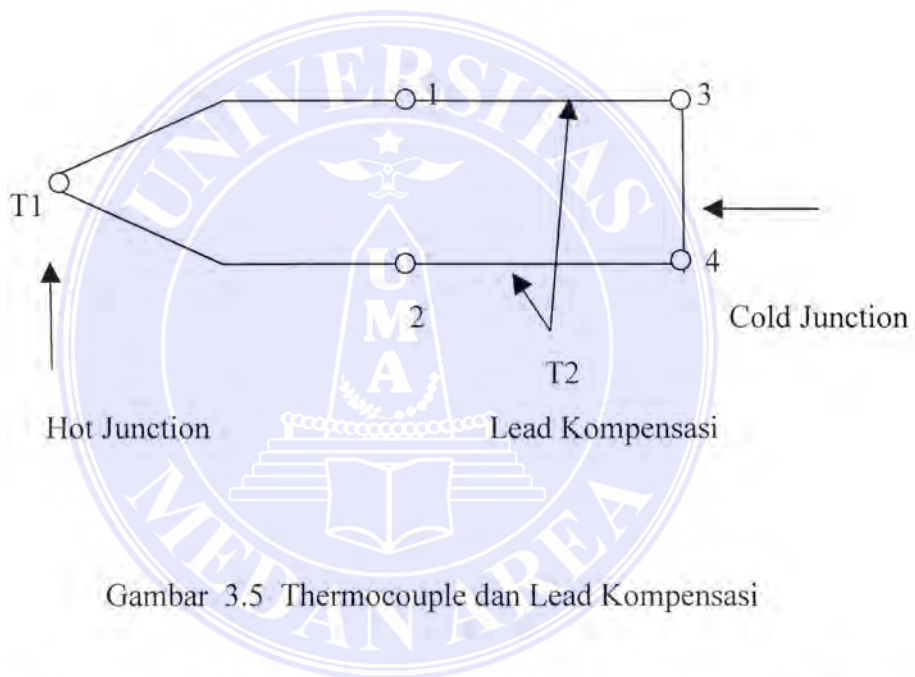
Instrumen atau alat pengukur yang digunakan untuk mengukur temperatur idealnya harus ditempatkan jauh dari hot junction sehingga tidak dipengaruhi oleh temperatur media yang diukur ataupun kondisi sekelilingnya.

Pemakaian extension lead yang agak panjang kurang baik karena dapat menyebabkan kesalahan pengukuran. Hal ini disebabkan beberapa hal seperti adanya resistansi pada extension lead tersebut atau karena sifat / karakteristik dari extension lead tersebut ( mudah rusak dan sangat sensitif terhadap perubahan temperatur ). Untuk mengatasi hal-hal tersebut diatas biasanya digunakan extension lead dengan karakteristik khusus. Tabel 3.1 dibawah ini merupakan contoh karakteristik dari extension lead yang umum digunakan.

Tabel 3.1 Karakteristik Extension Lead

Type	Coating	No. of Wire	Wire Diameter ( mm )
Heat Resistance	Glass yarn	7	0.65
	Glass yarn, Lead	7	0.65
General Purpose	Cotton, Rubber	7	0.65
	Lead, Cotton, Rubber	7	0.65
	Vinyl chloride	7	0.65
		4	0.65
	Chloroperene	7	0.65
		4	0.65

Penggunaan jenis extension lead yang tidak tepat juga akan menyebabkan kesalahan pengukuran. Untuk mengatasi kesalahan pengukuran tersebut digunakan lead kompensasi. Gambar 3.5 dibawah ini memperlihatkan hubungan thermocouple dan lead kompensasi.



Gambar 3.5 Thermocouple dan Lead Kompensasi

Dari gambar tersebut, jika emf yang dihasilkan pada sambungan 1 – 2 adalah sama dengan emf yang dihasilkan pada sambungan 3 – 4 maka pemakaian lead pengkompensasian tidak berpengaruh pada emf yang timbul disambungan dingin ( cold junction ). Dengan demikian nilai yang terukur tetap efektif. Tabel dibawah ini memperlihatkan variasi ukuran lead kompensasi.

Tabel 3.2 Variasi Ukuran Lead Compensasi

Type of Thermocouple Lead	No. of Wire	Resistance ( per meter both way )
PR Compensation Lead Wire	7	0.038 Ω
	4	0.087 Ω
CA, CC Compensation Lead Wire	7	0.243 Ω
	4	0.425 Ω
IC Compensation Lead Wire	7	0.300 Ω
	4	0.500 Ω

#### 4. Conduit Tube ( Tabung ) Thermocouple

Tabung thermocouple juga berperan penting dalam pengukuran suhu, karena tabung inilah yang langsung bersentuhan dengan media yang diukur. Ada beberapa jenis tabung thermocouple yang terbuat dari bahan yang tahan terhadap korosi dan temperatur tinggi, seperti carbon steel, stainless steel, incolmel, hastelloy dan lain-lain.

Untuk pemakaian di melting furnace dan holding furnace digunakan tabung yang tahan terhadap korosi sehingga tidak mudah berkarat dan keropos. Untuk memperpanjang masa pakai tabung thermocouple, permukaannya harus sering dilapisi dengan bahan coating. Walaupun telah dilakukan pemberian lapisan coating, hal inipun tidak dapat memperpanjang masa pakai untuk waktu yang lama, sehingga tabung thermocouple yang lama harus diganti dengan yang baru.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Setelah menyelesaikan tulisan ini, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :

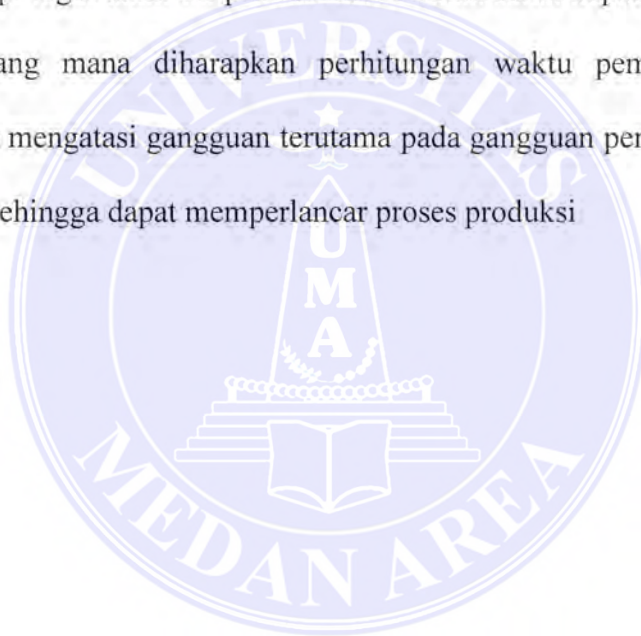
1. Holding Furnace merupakan tungku penampung aluminium cair ( molten ) yang dibawa dari Reduction Plant yang berfungsi sebagai :
  - Tempat pembersihan aluminium cair
  - Menjaga aluminium cair (molten) hingga tetap berada pada temperatur cetak 730 ° C.
2. Holding Furnace terdiri dari heater yang berfungsi sebagai pemanas dan batu tahan api serta didukung oleh alat instrumen yakni thermocouple sebagai sensor panas dan temperatur indicating controller sebagai pengatur ON-OFF heater.
3. Perubahan hubungan heater pada holding furnace akan menghasilkan waktu pemanasan yang berbeda untuk masing-masing hubungan.
4. Perhitungan waktu pemanasan ini digunakan apabila terjadi drop temperatur pada molten (aluminium cair ) setelah dilakukannya proses skimming-off.



5. Dengan mengetahui waktu pemanasan untuk hubungan heater tertentu diharapkan jadwal pencetakan ingot ( aluminium batangan ) dapat tercapai sehingga proses produksi dapat terlaksana dengan lancar.

## 5.2.Saran

Untuk melengkapi tugas akhir ini penulis memberikan saran kepada perusahaan yang bersangkutan yang mana diharapkan perhitungan waktu pemanasan ini dapat digunakan untuk mengatasi gangguan terutama pada gangguan penurunan temperatur aluminium cair sehingga dapat memperlancar proses produksi



## DAFTAR PUSTAKA

1. Dr. Uppal S. L. N. D. E. E., Electrical Power, 1980. Khanna Publisher Delhi 6.
2. Halliday David & Resnick Robert, Fisika Jilid I, 1990 Erlangga
3. Gupta, JB, A Course in Electrical Power
4. Theraja, BL, A Text Book of Technology 1987, Nirja Construction & Development Co. ( P ) Ltd.
5. Pender Harold, Phd. SeD & Del Marwilliam A. F. C. C. I, Electrical Engineers Hand Book 1949 John Willey & Sons Inc.
6. Maintenance manual for Casting Plan, PT Inalum