

RANCANG BANGUN TUNGKU PENCAIRAN LOGAM ALUMINIUM BERKAPASITAS 2 KG DENGAN MEKANISME TAHANAN LISTRIK (PENGUJIAN PERFORMANSI)

Ismail Mukti Adi¹, Wahyu Purwo Raharjo², Eko Surojo²

¹Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

Furnace

Aluminium

Melting

Smelting

Crucible

Abstract :

This research aims to design and assemble aluminum melting furnace with a capacity of 2 kg of electrical energy. Electrical energy is used because it is more easily obtained than other fuels. The heating element wrapped around kowi a diameter of 140 mm and height 130 mm. Furnace wall coated with calcium silicate material that resists heat up to the temperature of 1000°C and outer walls coated steel plate. The furnace diameter of 285 mm with a height of 210 mm and a given holder for ease of pouring liquid aluminum by turning the lever so it does not need to raise the furnace and safe for workers.

Performance testing process is done by putting a heat sensor (thermocouple) on the heating element and also in the liquid metal. It is to know the heat emitted by the heating element and the heat received by the molten metal. Retrieval of data obtained from the temperature change with time. Heat furnace temperature can be set by using thermocontroller.

The results of these tests indicate that these tools provide a high temperature up to 800 °C. Use at temperatures of 750 °C resulted in 64.05% efficiency that is theoretically able to melt 2 kg of aluminum metal in a time 54,24 minutes and the actual time of 55 minutes at the temperature of 745°C molten metal. Electric power required furnace is 3385.3 W.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri terus berkembang mengikuti kemajuan teknologi dan kebutuhan yang ada, sehingga banyak teknologi yang digunakan dengan memanfaatkan dan mengkonversi sumber daya mineralnya, salah satunya adalah industri logam aluminium. Aluminium dapat digunakan dalam banyak hal seperti digunakan dalam bingkai jendela, badan pesawat terbang dan dapat juga ditemukan dalam berbagai peralatan rumah tangga. Aluminium dapat juga dibentuk menjadi lembaran, ditarik menjadi kawat dan diekstrusi menjadi batangan dengan bermacam-macam penampang.

Untuk menghasilkan kualitas aluminium yang baik diperlukan suatu pengerjaan pengecoran yang berkualitas. Penggunaan peralatan untuk pencairan logam ini semakin beragam, sehingga penggunaan sumber energi yang dipakai itu pun juga mulai dipertimbangkan. Bramanta (2008), merancang tungku krusible untuk pencairan aluminium dan paduannya berkapasitas 30 kg bahan bakar minyak tanah dengan T_{maks} 750°C. Proses pencairan logam secara bertahap dengan waktu pencairan selama 2,51 jam. Ighodalo, dkk (2011), mengevaluasi kinerja tungku pencairan logam jenis krusibel dengan bahan bakar arang kayu untuk daur ulang logam aluminium. Evaluasi ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja dari tungku tersebut. Sundari (2011), mengembangkan dapur krusibel pencairan skrap logam aluminium dengan bahan bakar gas dengan kapasitas 30 kg, waktu yang diperoleh 1 jam 37 menit dan bahan bakar LPG yang digunakan adalah 3,60 kg. Winarno (2013), membuat tungku pencairan aluminium menggunakan bahan bakar padat dengan sistem aliran udara paksa. Hasil pengujian dan analisa data dari tungku tersebut memiliki laju pencairan 2,6 kg/jam dan laju konsumsi bahan bakar sebesar 3,25 kg/jam.

Tungku yang digunakan memerlukan suhu dengan titik cair 660°C, akan tetapi bahan dari bijih aluminium tidak tersedia secara melimpah maka kebutuhan aluminium sebagian besar diperoleh dari pencairan kembali (*remelting*) skrap aluminium. Sebagian skrap aluminium dilebur dalam tungku dipanaskan oleh pembakaran bahan bakar fosil - gas alam, minyak, atau mungkin batubara. Namun, penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi untuk proses pencairan memiliki beberapa kelemahan. Selain efisiensinya yang lebih rendah, pembakaran menghasilkan partikel-partikel sisa asap yang mengkontaminasi aluminium cair. (Mark E. Schlesinger, 2013).

Untuk mengurangi hal tersebut maka diperlukan sebuah tungku dengan menggunakan energi listrik, seperti halnya tungku induksi namun dengan tungku tersebut tidak semua jenis logam aluminium/paduannya bisa dicairkan karena aluminium memiliki medan magnetnya yang sangat rendah dan juga pengaturan suhu

pada tungku induksi terhadap logam aluminium juga sulit sehingga digunakan sistem mekanisme tahanan listrik untuk pencairan tersebut. Untuk tidak memberikan beban listrik yang terlalu tinggi maka dibuat tungku dengan kapasitas yang kecil sebesar 2 kg. Penelitian ini tidak hanya untuk mengurangi beberapa kelemahan dari tungku yang sudah ada namun juga menunjukkan kinerja yang lebih maksimal.

2. TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi dari tungku listrik yang digunakan untuk mencairkan logam aluminium terhadap suhu dari elemen panas yang dikeluarkan.

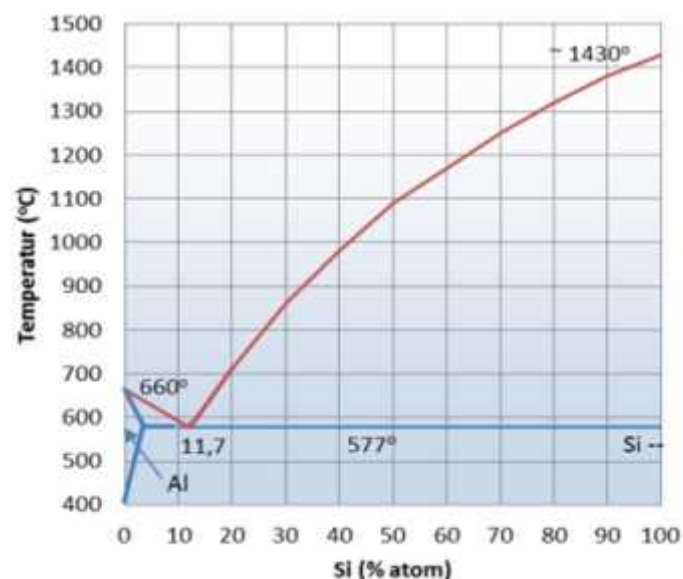
3. TINJAUAN PUSTAKA

Listrik telah digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk peleburan *skrap* aluminium untuk beberapa waktu. Pertama dapur listrik untuk peleburan *skrap* dipasang di Amerika Serikat pada tahun 1918 (Anderson, 1987) dan berada di Eropa segera sesudahnya. Tungku listrik memiliki keunggulan penting atas tungku bahan bakar fosil untuk mencairkan potongan aluminium. Yang paling penting adalah logam lebih bersih karena tidak ada produk pembakaran di lingkungan tungku listrik, kotoran logam yang ikut dilebur jauh lebih sedikit (Lessiter, 1997). Oleh karena itu, kerugian melebur lebih rendah (Hentschel dan Feldmann, 1982) dan kemurnian logam dapat ditingkatkan. Pengadukan dari tungku listrik meminimalkan gradien temperatur dalam melebur, meningkatkan konsistensi (Heine dan Gorss, 1991). Tungku listrik umumnya lebih efisien daripada menggunakan gas atau tungku berbahan bakar minyak (Fishman, 2002), terutama dalam ukuran yang lebih kecil. Meskipun tungku listrik lebih efisien, pada tungku listrik akan lebih sulit untuk menentukan kapasitas pencairan daripada dengan tungku reverberatory dalam skala besar (Groteke, 1997).

3.1 Proses Pencairan Aluminium (*Melting*)

Aluminium dipilih sebagai logam yang akan dilebur karena aluminium memiliki volume jenis besar dengan massa jenis kecil dan titik lebur 660°C , tetapi dalam proses pencairan suhu dinaikkan hingga 750°C , dengan tujuan saat proses penuangan diharapkan aluminium tidak membeku sebelum mengisi rongga-rongga cetakan. Namun ketersediaan bahan logam aluminium yang banyak ditemui berupa *skrap* maka perlu dipertimbangkan sifat fisiknya. *Skrap* banyak digunakan sebagai bahan pengecoran logam aluminium dan yang sering digunakan untuk didaur ulang adalah logam paduan Al-Si.

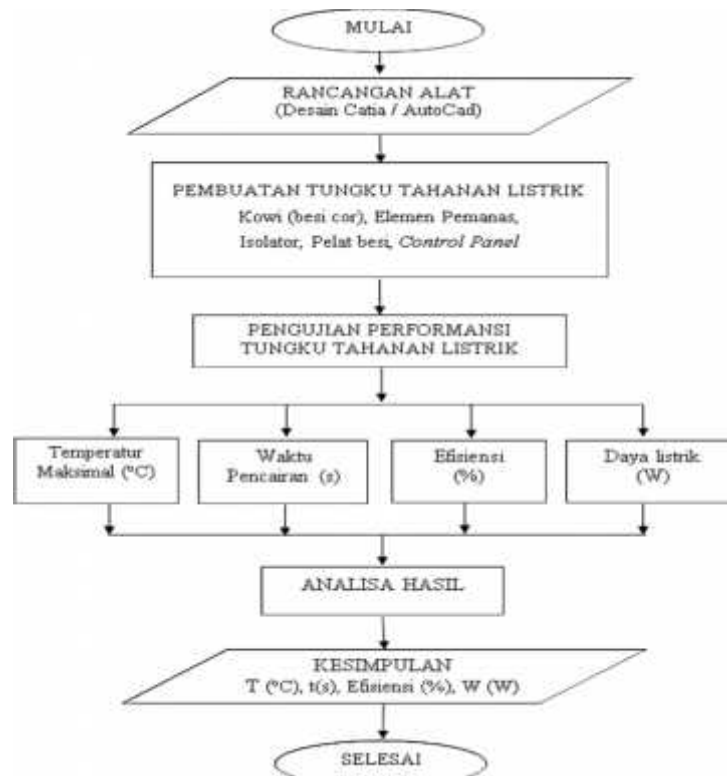
Diagram fasa Al-Si di samping (Gambar 3.1) mempunyai titik eutektik pada suhu 577°C , 11,7%Si, larutan padat terjadi pada sisi Al. Karena batas kelarutan padat sangat kecil maka pengerasan penuaan sukar diharapkan. Paduan Al-Si sangat baik untuk paduan coran, yang mempunyai permukaan bagus, tanpa kegetasan panas, tahanan korosi, ringan, koefisien pemuaian yang kecil dan juga dapat sebagai penghantar yang baik untuk listrik dan panas. Karena mempunyai kelebihan yang menyolok, paduan logam Al- 12% Si ini sangat banyak dipakai untuk paduan cor cetak. (Surdia, 2000)



Gambar 3.1. Diagram Fasa Al-Si (Surdia, 2000).

4. METODE PENELITIAN

4.1 Diagram Alir



Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian.

4.2 Prosedur Penelitian

a. Pengaturan Suhu dengan *Thermocontroller*

Tungku tahan listrik dipanaskan dengan mengatur temperatur pada *thermocontroller* hingga suhu 700 – 750 °C.



Gambar 4.2. Indikator *thermocontrol*

b. Persiapan Spesimen Logam *Alumunium*

Logam alumunium yang sudah berupa potongan ditimbang seberat 2 kg dimasukkan ke dalam kowi (besi cor) pada tungku tahan listrik.



Gambar 4.3. Alumunium paduan (Al-Si)

c. Pengujian performansi tungku

Proses pengujian performansi dilakukan dengan meletakkan sensor panas (*thermocouple*) pada elemen pemanas dan juga di bagian cairan logam. Hal ini untuk mengetahui panas yang dikeluarkan oleh elemen pemanas dan panas yang diterima oleh logam cair. Pengambilan data diperoleh dari perubahan suhu terhadap waktu

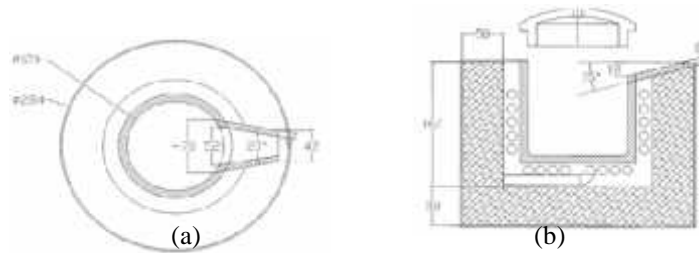


Gambar 4.4. Proses pengujian alat

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

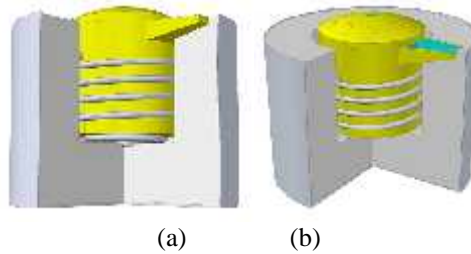
5.1 Hasil Perancangan Alat

Hasil dari perancangan tungku listrik yang sudah dibuat memiliki tinggi 214 mm dan berdiameter luar 284 mm, seperti yang terlihat pada gambar 5.1



Gambar 5.1. Dimensi tungku listrik : (a) tampak atas, (b) tampak samping.

Elemen pemanas yang digunakan terdiri dari 2 buah, elemen pemanas 2500W/230V terdapat melingkar pada sisi dinding luar kowi dan elemen pemanas 1200W/230V dibagian bawah kowi, sehingga panas yang diterima kowi lebih merata. Kemudian untuk menjaga panas elemen agar tidak banyak keluar diberi isolasi *calcium silicate* yang dipasang melingkar dibagian sisi dinding dan dibawah. Lapisan bagian terluar tungku dibuat dengan pelat *stainless steel* seperti pada Gambar 7.



Gambar 5.2. Tungku listrik potongan 3D : a) tampak samping, b) tampak atas

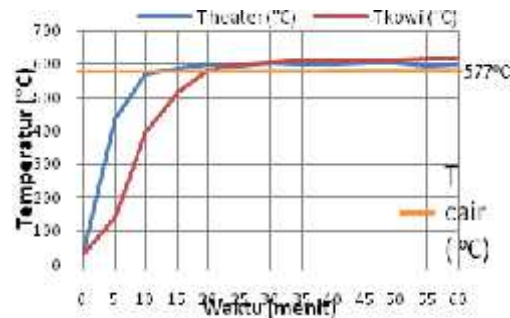


Gambar 5.3 Tungku tahanan listrik

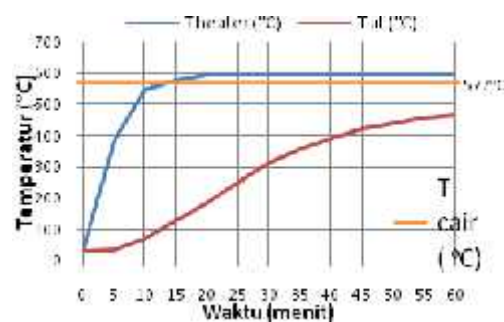
5.2 Hasil Pengujian Alat

5.2.1 Grafik distribusi proses pemanasan tungku tahan listrik

a. Pengaturan *thermocontroller* pada suhu 600 °C

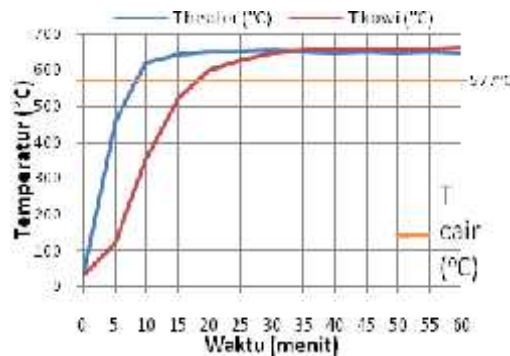


Gambar 5.4. Proses pemanasan tungku tahan listrik kondisi kowi kosong pada pengaturan suhu *thermocontroller* 600°C.

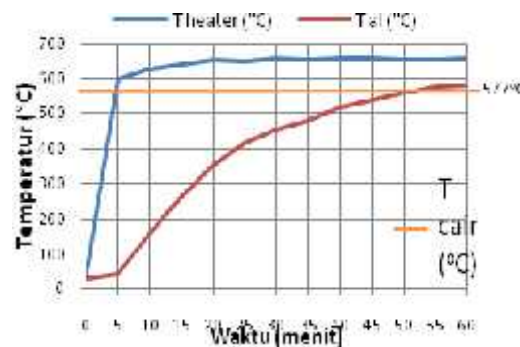


Gambar 5.5. Proses pemanasan tungku tahan listrik kondisi kowi terisi logam aluminium 2 kg pada pengaturan suhu *thermocontroller* 600°C.

b. Pengaturan *thermocontroller* pada suhu 650 °C



Gambar 5.6. Proses pemanasan tungku tahan listrik kondisi kowi kosong pada pengaturan suhu *thermocontroller* 650°C.

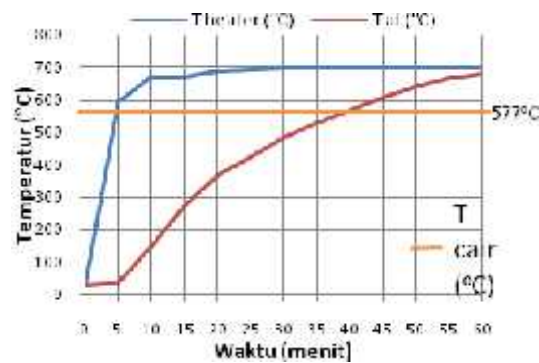


Gambar 5.7. Proses pemanasan tungku tahan listrik kondisi kowi terisi logam aluminium 2 kg pada pengaturan suhu *thermocontroller* 650°C.

c. Pengaturan *thermocontroller* pada suhu 700 °C

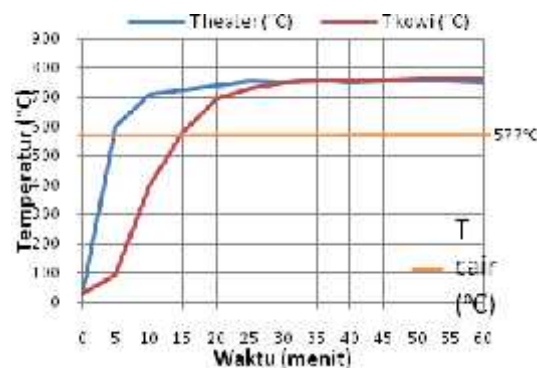


Gambar 5.8. Proses pemanasan tungku tahanan listrik kondisi kowi kosong pada pengaturan suhu *thermocontroller* 700 °C.

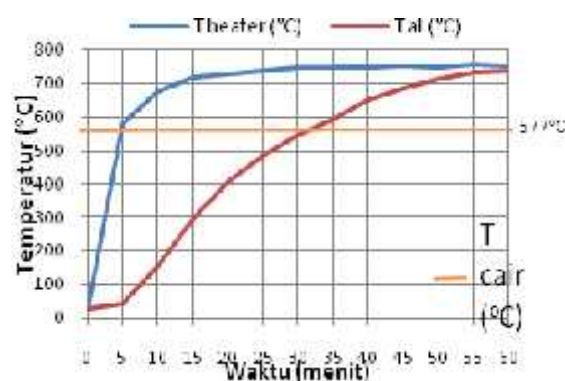


Gambar 5.9. Proses pemanasan tungku tahanan listrik kondisi kowi terisi logam aluminium 2 kg pada pengaturan suhu *thermocontroller* 700 °C.

d. Pengaturan *thermocontroller* pada suhu 750 °C

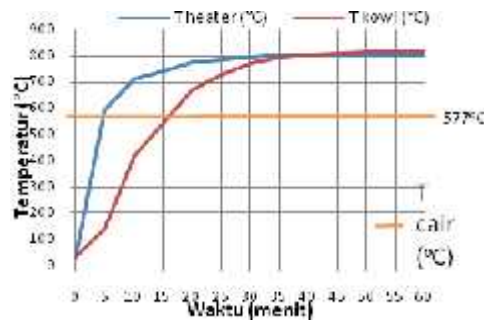


Gambar 5.10. Proses pemanasan tungku tahanan listrik kondisi kowi kosong pada pengaturan suhu *thermocontroller* 750 °C.

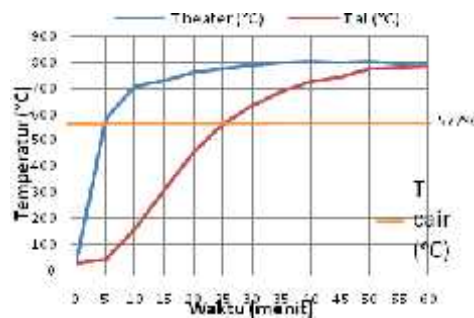


Gambar 5.11 Proses pemanasan tungku tahanan listrik kondisi kowi terisi logam aluminium 2 kg pada pengaturan suhu *thermocontroller* 750 °C.

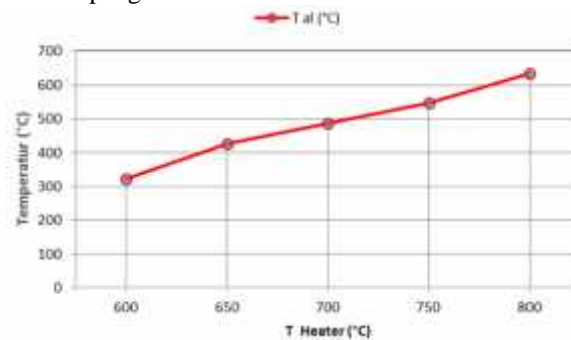
e. Pengaturan *thermocontroller* pada suhu 800 °C



Gambar 5.12 Proses pemanasan tungku tahanan listrik kondisi kowi kosong pada pengaturan suhu *thermocontroller* 800 °C.



Gambar 5.13. Proses pemanasan tungku tahanan listrik kondisi kowi terisi logam aluminium 2 kg pada pengaturan suhu *thermocontroller* 800 °C.

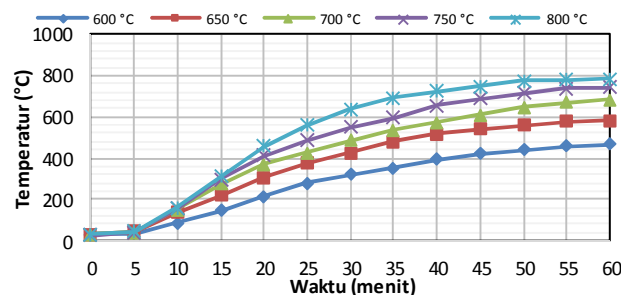


Gambar 5.14 Pencapaian suhu logam aluminium tiap parameter dengan waktu pemanasan yang sama ($t = 30$ menit).

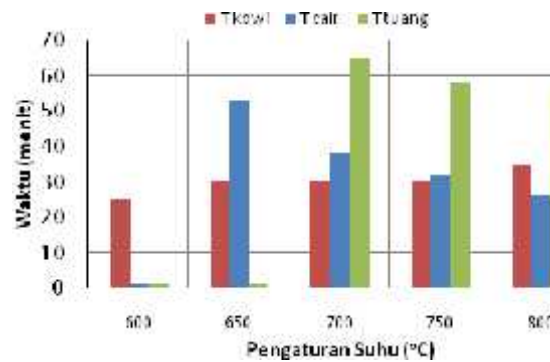
Suhu yang dihasilkan setiap parameter ketika kowi terisi 2 kg logam aluminium terlihat perbedaan suhu pencapaiannya di saat itu. Semakin besar parameter suhu yang digunakan maka semakin mudah untuk mencapai titik cair (577 °C) dari logam tersebut (Gambar 5.14).

5.2.2 Grafik distribusi proses pencairan logam aluminium.

Proses pencairan logam aluminium dari beberapa parameter ditunjukkan pada grafik dibawah (Gambar 5.15) dimana setiap parameter yang digunakan memiliki kemampuan yang berbeda untuk mencapai suhu yang diinginkan. Semakin tinggi suhu yang diatur maka semakin besar kemampuan untuk mencairkan logam ini.



Gambar 5.15. Proses pencairan logam Al 2kg



Gambar 5.16 Perbandingan waktu terhadap perubahan fasa tiap parameter suhu.

Waktu yang ditunjukkan pada grafik diatas (Gambar 5.16) terlihat bahwa untuk mencapai suhu kowi (T kowi) hanya memerlukan waktu sekitar 25–35 menit proses pemanasannya seperti pada grafik kondisi kowi kosong. Namun semakin tinggi pengaturannya semakin rendah pula pencapaian waktu terhadap titik cair (T cair) dari logam tersebut seperti pada grafik kondisi kowi terisi logam aluminium 2 kg kecuali saat pengaturan suhu 600°C ini masih belum mampu / sangat lama untuk mencapai ke titik cair (577 °C) dan juga suhu tersebut tidak cukup mencapai di titik tuang (T tuang). Pada suhu tuang (T tuang) diatas hanya beberapa pengaturan suhu yang mencapainya, semakin tinggi pengaturannya semakin cepat pula waktu yang akan diperlukan.

5.2.3 Data pengukuran suhu pemanasan tungku tahanan listrik

Data pengukuran suhu yang diambil dari beberapa distribusi proses pemanasan tungku tahanan listrik ini pada saat pengaturan *thermocontroller* dengan suhu 750°C, dimana pada suhu tersebut dapat mencairkan logam aluminium dengan kapasitas 2 kg dengan suhu tuang mencapai 745°C, sehingga cukup untuk mempertahankan cairan logam ketika dilakukan penuangan agar tidak cepat mengeras/membeku pada saluran cetakan. Data pengukuran suhu pemanasan diperoleh dari suhu setiap bagian material tungku listrik tersebut.

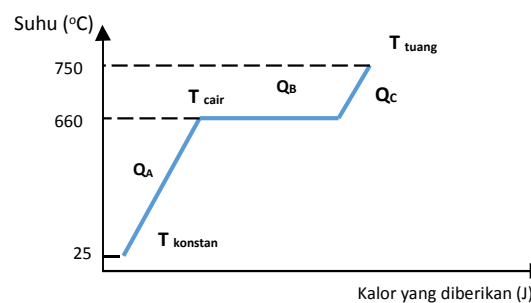
Tabel 5.1 Data hasil pengukuran suhu tungku listrik $T_{heater} = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$

No.	Material	T dalam (°C)	T luar (°C)
1.	Tutup tungku	515	340
2.	Dinding kowi	764	750
3.	Dinding isolator	750	240
4.	Pelat luar	240	86

5.3 Penghitungan Kinerja Tungku

Sebuah tungku listrik memerlukan perhitungan untuk mengetahui berbagai hal yang mempengaruhi dari kinerja tungku, antara lain :

5.3.1 Kalor yang dihasilkan dan Kalor yang hilang



Gambar 5.17 Asumsi Tahapan Peleburan Aluminium (Zemansky, 1994)

a. Kalor untuk mencairkan aluminium (Q_1)

Jumlah panas (Q) yang akan dipindahkan ke kowi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_A + Q_B + Q_C \\
 &= m_{al} \cdot C_{p1} \cdot (T_{cair} - T_{konstan}) + m_{al} \cdot h + \\
 &\quad m_{al} \cdot C_{p2} \cdot (T_{tuang} - T_{cair}) \\
 &= 2\text{kg} \cdot 900\text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \cdot (577-27)^{\circ}\text{C} + 2\text{kg} \cdot 396\text{ kJ/kg} + 2\text{kg} \cdot 900\text{ J/kg}^{\circ}\text{C} (745-577)^{\circ}\text{C} \\
 &= 2075,4\text{ kJ}
 \end{aligned}$$

dimana :

Q_A = Kalor untuk menaikkan suhu kamar menjadi suhu cair aluminium (J)

Q_B = Kalor untuk mencairkan aluminium (J)

Q_C = Kalor untuk menaikkan suhu (J)

m_{al} = Berat benda (kg)

C_p = Kalor jenis bahan (900 J/kg.°C)

h = Panas laten aluminium (396 kJ /kg)

T_1 = Perubahan suhu dari $T_{konstan}$ ke T_{cair} (°C)

T_2 = Perubahan suhu dari T_{cair} ke T_{tuang} (°C)

b. Kalor yang diserap tutup tungku (Q_2)

Penutup tungku cukup menyerap banyak panas dibagian atas tungku, dapat dicari sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_2 &= m_t \cdot C_{p3} \cdot T \\ &= 3 \text{ kg} \cdot 446 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot (515-340)^\circ\text{C} \\ &= 234,15 \text{ kJ} \end{aligned}$$

dimana :

m_t = berat tutup tungku (kg)

C_{p3} = kalor jenis bahan besi (446 J/kg.°C)

(Tabel A-3 *Properties of solid metals* hal. 868)

T = perubahan suhu (°C)

c. Kalor yang diserap dinding tungku / kowi (Q_3)

Besarnya kalor yang diserap kowi ini adalah :

$$\begin{aligned} Q_3 &= m_k \cdot C_{p3} \cdot T \\ &= 6 \text{ kg} \cdot 446 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot (764-750)^\circ\text{C} \\ &= 37,46 \text{ kJ} \end{aligned}$$

dimana:

m_k = berat kowi (kg)

d. Kalor yang diserap bahan tahan api (Q_4)

Bahan tahan api yang digunakan adalah *calcium silicate* yang merupakan isolasi yang tahan terhadap panas hingga suhu 1000°C. Kalor yang diterima bahan tersebut adalah :

$$\begin{aligned} Q_4 &= m_i \cdot C_{p4} \cdot T \\ &= \left[\left(\frac{1}{4} \left\{ (0,28\text{m})^2 - (0,23\text{m})^2 \right\} \cdot 0,16 \text{ m} \cdot 225 \text{ kg/m}^3 \right) + \left(\frac{1}{4} (0,28\text{m})^2 \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 225 \text{ kg/m}^3 \right) \right] \cdot 840 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot \\ &\quad (750-240)^\circ\text{C} \\ &= 604,63 \text{ kJ} \end{aligned}$$

dimana :

C_{p4} = kalor jenis bahan tahan api (840 J/kg.°C)(SKAMOL SUPER *calciumsilicate insulating*)

m_i = berat isolasi (kg)

D_{il} = diameter isolasi luar (m)

D_{id} = diameter isolasi dalam (m)

t_i = tinggi dinding yg mengalami T (m)

x_i = ketebalan dinding isolasi (m)

= massa jenis bahan isolasi (225 kg/m³)

(SKAMOL SUPER *calcium silicate insulating*)

e. Kalor yang diserap dinding pelat luar (Q_5)

Bidang yang mengalami perubahan suhu pada dinding luar sama dengan yang dialami dinding yang mengalami perubahan suhu. Maka besarnya kalor tersebut adalah:

$$\begin{aligned} Q_5 &= m_p \cdot C_{p5} \cdot T \\ &= \left[\left(\frac{1}{4} \cdot 0,284 \text{ m} \cdot 0,21 \text{ m} \cdot 0,002 \text{ m} \cdot 7900 \text{ kg/m}^3 \right) + \left(\frac{1}{4} \cdot (0,28\text{m})^2 \cdot 0,002 \text{ m} \cdot 7900 \text{ kg/m}^3 \right) \right] \cdot 477 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot \\ &\quad (240-86)^\circ\text{C} \\ &= 288,689 \text{ kJ} \end{aligned}$$

dimana :

C_{p5} = kalor jenis bahan pelat stainless = 477 J /kg.°C

(Tabel A-3 *Properties of solid metals* hal. 869)

m_p = berat pelat yang menerima panas (kg)

D_{pL} = diameter pelat luar (m)

D_{pd} = diameter pelat dalam (m)

D_L = diameter pelat lubang atas (m)

t_b = tinggi pelat yang mengalami T (m)
 x_p = ketebalan dinding pelat (m)
 ρ = massa jenis dinding pelat = 7900 kg/m^3
 (Tabel A-3 *Properties of solid metals* hal. 869)

f. Kalor total yang diserap (Q_{total})

Banyaknya kalor total ialah jumlah dari keseluruhan kalor yang terserap oleh bahan tungku, yaitu:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{total}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \\
 &= 2075,4 \text{ kJ} + 234,15 \text{ kJ} + 37,46 \text{ kJ} + 604,63 \text{ kJ} + 288,689 \text{ kJ} \\
 &= 3240,33 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

5.3.2 Efficiency tungku

Efisiensi tungku dapat ditentukan dengan mengukur jumlah panas yang diserap kowi dan membaginya dengan jumlah total kalor yang dipakai.

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi termal} &= \frac{\text{Panas dalam kowi}}{\text{Panas total}} \times 100\% \\
 &= \frac{2075,4 \text{ kJ}}{3240,33 \text{ kJ}} \times 100\% \\
 &= 64,05\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5.2 Efisiensi beberapa perancangan tungku

Tungku	Kutipan	Bahan logam	Bahan bakar	Efisiensi
Dapur kowi	Bramanta (2008)	Alumunium	Minyak	8,5 %
Dapur kowi	Ighodalo, dkk (2011)	Alumunium	Arang	11,3 %
Dapur kowi	E. Sundari (2011)	Alumunium	Gas	18,35 %
Dapur kowi	Joko Winarno (2013)	Alumunium	Batu bara	5,45 %

5.3.3 Waktu Pencairan Logam

Untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk dapat meleburkan alumunium harus mengetahui berapa besar laju aliran panas ke kowi. Laju aliran panas ke kowi dapat dicari dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}
 q_3 &= - \frac{k \cdot A}{\Delta x} (T_2 - T_1) \\
 &= - \frac{51,9 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot [(\frac{1}{4} \pi (0,12 \text{ m})^2) + (\pi \cdot 0,14 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m})]}{0,01 \text{ m}} \times (740 - 750)^\circ\text{C} \\
 &= 1427,25 \text{ W} = 5138,1 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

dimana :

k = konduktifitas kowi ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)
 A = luas permukaan kowi (m^2)
 T_1 = Suhu bagian dalam kowi ($^\circ\text{C}$)
 T_2 = Suhu bagian luar kowi ($^\circ\text{C}$)
 x = ketebalan kowi (m)

Waktu yang dibutuhkan untuk logam alumunium padat menjadi cair, yaitu :

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{Q_1}{q_3} = \frac{2075,4 \text{ kJ}}{5138,1 \text{ kJ/jam}} \\
 &= 0,404 \text{ jam} = 24,24 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

dimana :

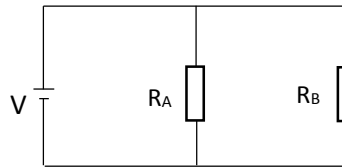
t = waktu lebur (menit)
 Q_1 = kalor yang dibutuhkan untuk mencairkan Al (J)
 q_3 = laju aliran panas (J/jam)

Sehingga total dari proses pemanasan hingga pencairan logam aluminium dengan menjumlahkan waktu pemanasan ketika elemen pemanas mencapai suhu konstan 750°C dan ditambah dengan waktu pencairan logam aluminium mencapai suhu 745°C , yaitu :

$$t = 30 \text{ menit} + 24,24 \text{ menit} = 54,24 \text{ menit}$$

5.3.4 Daya Listrik Tungku

Tungku listrik inielemen pemanas dirangkai secara paralel:



Gambar 5.18 Rangkaian elemen pemanas secara paralel

a. Daya pada elemen pemanas $2500\text{W}/230\text{V}$

Elemen ini memiliki hambatan sebagai berikut :

$$R_A = \frac{V^2}{W} = \frac{(230 \text{ V})^2}{2500 \text{ W}} = 21,16 \Omega$$

Pada tegangan listrik 220 V maka :

$$W_A = \frac{V^2}{R} = \frac{(220 \text{ V})^2}{21,16 \Omega} = 2287,3 \text{ W}$$

b. Daya pada elemen pemanas $1200\text{W}/230\text{V}$

Elemen ini memiliki hambatan sebagai berikut :

$$R_B = \frac{V^2}{W} = \frac{(230 \text{ V})^2}{1200 \text{ W}} = 44,08 \Omega$$

Pada tegangan listrik 220 V maka :

$$W_B = \frac{V^2}{R} = \frac{(220 \text{ V})^2}{44,08 \Omega} = 1098 \text{ W}$$

c. Total daya yang digunakan pada tungku listrik :

$$\begin{aligned} W_T &= W_A + W_B \\ &= 2287,3 \text{ W} + 1098 \text{ W} \\ &= 3385,3 \text{ W} \end{aligned}$$

dimana :

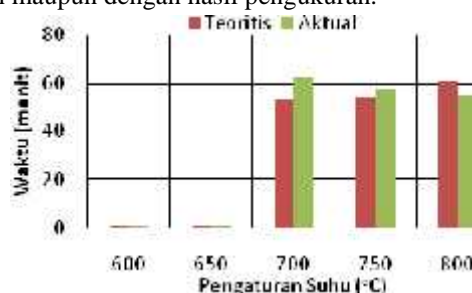
W = Daya listrik (W)

V = Tegangan (V)

R = Hambatan (Ω)

5.4 Hasil Analisa Data

Untuk mengetahui kinerja tungku yang sebenarnya maka perlu juga membandingkan waktu yang digunakan baik dari perhitungan maupun dengan hasil pengukuran.



Gambar 5.19 Perbandingan waktu pencairan logam aluminium 2 kg secara teoritis dan aktual.

Perbedaan antara waktu pencairan secara teoritis dan aktual seperti yang ditunjukkan pada grafik diatas tidak memiliki selisih yang terlalu jauh (Gambar 5.19). Sehingga rancang bangun yang dilakukan dengan tungku ini sudah sesuai dengan performansinya.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisa data, maka dapat disimpulkan performansi dari tungku listrik tersebut sebagai berikut :

1. Tungku tahanan listrik ini dapat menghasilkan suhu hingga 800°C .

2. Proses pencairan 2 kg logam Al dengan pengaturan suhu 750°C tungku ini secara aktual memerlukan waktu total 58 menit sedangkan secara teoritis hanya 54,24 menit.
3. Efisiensi tungku 64,05 % dengan daya listrik 3385,3 W.
4. Perbedaan waktu hasil pengukuran dan perhitungan bisa disebabkan karena :
 - a. Komposisi paduan logam aluminium tidak homogen.
 - b. Pengukuran kurang cermat.
 - c. Konstanta perhitungan belum sesuai jenis logam.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, R.J., *Melting and Casting Aluminium*, Lindsay Publications, (reprint of 1925 original), Bradley, IL, 1987, p. 427.
- Bala, K.C. 1998. Design and Development of Sand Muller and Standard Sand Rammer. M. Eng. Thesis, Mechanical Engineering Department, Federal University of Technology, Minna, Nigeria.
- BCS, Incorporated, 2005, *Advanced Melting Technologies: Energy Saving Concepts and Opportunities for the Metal Casting Industry*.
- Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, India. *Energy Efficiency in Thermal Utilities*. 2005
- Bramanta, 2008, Rancangan Dapur Pelebur Untuk Melebur Aluminium Dan Paduannya Dengan Kapasitas 30kg Untuk Keperluan Lab. Foundry, USU, Medan.
- European Commission, *Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry*. 2005
- Fishman, O.S., 2002. Direct electric heat melting furnaces for aluminum and other non-ferrous metals, *Aluminium World*, 2(2), 41.
- Gilchrist J. D. Fuels, *Furnaces and Refractories*, Pergamon Press, 1977.
- Groteke, D.E., 1997, Aluminum crucible melt shop considerations, *Modern Casting*, 87(12), 47.
- Ighodalo, O.A., dkk, 2011, *Performance Evaluation Of The Local Charcoal-Fired Furnace For Recycling Aluminium*, Journal Of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS) 2 (3) 448– 450.
- Lessiter, M.J., 1997, Aluminum crucible melting: small foundry ‘models’, *Modern Casting*, 87(12), 50.
- Mark E. Schlesinger, 2013. *Aluminum Recycling*, second edition, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Smith, L., 1993, Efficient use of electric furnaces in the non-ferrous foundry, *Foundryman*, 86(4), 131.
- Sundari, E., 2011, Rancang Bangun Dapur Peleburan Aluminium Bahan Bakar Gas, *Jurnal Austenit*, Volume 3 Nomor 1, April 2011, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Siwijaya.
- Surdia, Tata., 2000, *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramita, Jakarta
- Winarno, J., 2013, Rancang Bangun Tungku Peleburan Aluminium Berbahan Bakar Padat dengan Sistem Aliran Udara Paksa, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Janabadra, Yogyakarta.