

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN DAPUR PELEBURAN ALUMINIUM BERBAHAN BAKAR GAS (LPG)

Eko Nugroho¹, Yudi Utomo²

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro^{1,2}
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Metro, Lampung
Email: exonugros@gmail.com¹, yudiotomo123@yahoo.com²

ABSTRAK

Industri pengecoran sangat dibutuhkan dalam pengembangan suatu produk, baik permesinan maupun produk rumah tangga. Dapur peleburan logam (*furnace*) merupakan suatu alat yang penting dalam menghasilkan suatu produk. Dapur peleburan logam yang tersedia di pasaran sangatlah mahal dan susah untuk mendapatkannya karena harus diimpor dari luar negeri, selain itu juga bahan bakar yang digunakan seperti batu bara, minyak tanah, listrik yang ketersedian terbatas dan memerlukan biaya yang cukup mahal. Menjawab permasalahan tersebut maka dalam penelitian ini perlu adanya perancangan dan pembuatan dapur peleburan alumunium yang sederhana, mudah pembuatannya, mudah dipindah – pindahkan (*portable*) dan yang paling penting adalah murah harganya sehingga dapat dijangkau oleh industri – industri pengecoran skala rumah tangga ataupun skala laboratorium. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat serta mengetahui kalor yang dibutuhkan untuk melebur alumunium, mengetahui lama waktu yang digunakan, serta mengetahui efesiensi termal pada dapur peleburan, dan kapasitas produksi. Metode penelitian ini adalah perancangan dan pembuatan dapur peleburan alumunium menggunakan metode pengujian dapur yaitu dengan melelehkan atau meleburkan alumunium bekas dengan menggunakan bahan bakar gas (LPG) yang dibantu udara dari blower yang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Metro. Hasil penelitian adalah kalor yang dibutuhkan untuk melebur alumunium 10 kg yaitu 10925,25 kJ, dengan waktu 1 jam 30 menit dan konsumsi bahan bakar yang digunakan adalah 4,9 kg dengan efesiensi dapur peleburan 4,42 % dan efesiensi termal dapur peleburan 97,8 %. Untuk kapasitas produksi yang dihasilkan dari dapur peleburan alumunium yaitu 9 kg dengan diameter cawan 200 mm dan tinggi 360 mm.

Kata Kunci: Dapur Peleburan, Alumunium, Bahan Bakar Gas (LPG), Efesiensi.

PENDAHULUAN

Proses Pengecoran (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam dapur peleburan kemudian dituang ke dalam rongga cetakan sehingga menghasilkan suatu produk cor (coran). Jenis dan klasifikasi dapur peleburan yang saat ini berkembang diantaranya adalah dapur krusibel, dapur kupola, dapur busur listrik, dapur induksi, dapur aliran langsung [1].

Bahan bakar yang biasa digunakan untuk proses pengecoran diantaranya batu bara, bahan bakar minyak, listrik, dan kokas yang ketersediaanya sangat terbatas dan

proses pembuatan serta pengoprasiannya pun membutuhkan biaya yang cukup besar sehingga kalangan industri pengecoran skala kecil tidak mampu bersaing dalam mutu, kualitas serta jumlah produksi yang dihasilkan.

Untuk menjawab permasalahan tersebut di atas maka perlu adanya perancangan dan pembuatan dapur peleburan alumunium menggunakan bahan bakar gas (LPG) dengan desain yang sederhana, mudah dipindah-pindahkan (*portable*) dengan menggunakan bahan bakar yang efisien serta mudah perawatannya, selain itu juga untuk

membantu para pengerajin industri-industri pengecoran logam skala kecil (*home industry*) dalam berkompetisi dengan produk impor.

Penelitian ini merancang dan membuat dapur peleburan berupa bentuk, ukuran, tata letak bahan isolasi yang dituangkan dalam gambar rancangan teknik. Untuk meleburkan aluminium penulis menggunakan bahan bakar gas (LPG) dengan bantuan udara dari blower untuk mendapatkan temperatur panas yang maksimal. Panas yang dihasilkan tidak semua digunakan untuk meleburkan aluminium melainkan panas tersebut diserap oleh cawan lebur, bata tahan api, panas yang terbuang akibat peleburan dan panas yang hilang secara cuma-cuma. Selanjutnya akan dilakukan pembuatan dapur sesuai dengan hasil rancangan dan pada akhirnya akan diuji untuk meleburkan aluminium.

TINJAUAN PUSTAKA

Dapur Peleburan

Adalah dapur yang berfungsi untuk merubah fase padat menjadi cair (meleburkan) dengan cara dipanaskan hingga mencapai titik cair tertentu. Proses ini dinamakan pencairan bahan. Cairan bahan ini dapat merupakan paduan dari beberapa bahan yang dilebur dan dipadu menjadi satu.

Secara detail proses peleburan memiliki fungsi sebagai berikut:

1. Mengubah fase padat bahan baku menjadi cair
2. Melakukan peleburan dan memadu bahan-bahan awal menjadi bahan yang sesuai dengan komposisi yang diinginkan.
3. Mengubah komposisi suatu bahan baku
4. Menggunakan perlakuan khusus untuk mengubah sifat bahan.

Berdasarkan energi yang digunakan, dapur yang sering digunakan untuk peleburan logam dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu :

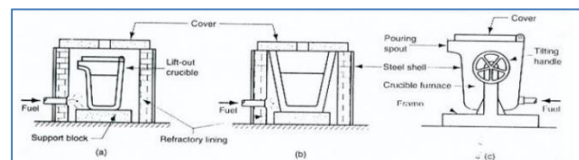
1. Dapur dengan media bahan bakar

- a. Dapur tinggi (*Blast furnace*)
 - b. Dapur kupola (*Cupola furnace*)
 - c. Dapur krusibel (*Crucible furnace*)
 - d. Dapur kowi
2. Dapur dengan energi listrik
 - a. Dapur induksi
 - b. Dapur busur api

Namun untuk jenis dapur tinggi dan dapur kupola sudah mulai jarang digunakan karena pertimbangan tertentu. Sedangkan bahan bakar yang digunakan untuk peleburan logam yaitu : minyak tanah, listrik, batu bara, kokas, gas, solar dan arang kayu.

Dapur Krusibel

Adalah dapur yang paling tua digunakan. Krusibel adalah tempat yang berbentuk menyerupai cawan atau mangkuk digunakan untuk peleburan bahan non logam. Nama krusible diambil dari bentuk benda tersebut yang krus (diameter bagian bawah lebih kecil dibandingkan dengan bagian atas). Dapur ini mempunyai konstruksi paling sederhana, sangat fleksibel dan serba guna untuk peleburan skala kecil dan sedang. Bahan bakar dapur krusibel adalah gas, listrik dan bahan bakar minyak karena akan mudah mengawasi operasinya dan mudah dalam perawatannya.



Gambar 1. Tiga jenis dapur krusibel yang sering digunakan [2]

Perhitungan Dapur Peleburan

Dalam perancangan dan pembuatan dapur peleburan aluminium ada beberapa perhitungan yang akan dicari untuk mendapatkan efisiensi termal pada dapur peleburan. Adapun yang akan diperhitungkan adalah sebagai berikut :

- 1) Kalor Untuk Melebur Aluminium (Q_1)

Kalor yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_a + Q_b + Q_c \\
 &= (m_{al} \cdot C_{p1} \cdot \Delta T_1) + (m_{al} \cdot h) + \\
 &\quad (m_{al} \cdot C_{p2} \cdot \Delta T_2)
 \end{aligned}$$

Dengan :

Q_1 = kalor untuk melebur alumunium (kJ)

Q_a = kalor yang menaikkan suhu kamar menjadi suhu cair alumunium ($^{\circ}\text{C}$)

Q_b = kalor yang merubah fase alumunium padat menjadi cair ($^{\circ}\text{C}$)

Q_c = kalor yang menaikkan temperatur cair ke temperatur penuangan ($^{\circ}\text{C}$)

m_{al} = masa alumunium yang akan dilebur (kg)

C_{p1} = kalor jenis bahan alumunium padat = 0,215 kkal/kg $^{\circ}\text{C}$ [3]

C_{p2} = kalor jenis bahan alumunium cair = 0,26 kkal/kg $^{\circ}\text{C}$ [3]

h = kalor lebur atau kalor latent alumunium = 95 kkal/kg [3]

ΔT_1 = perubahan suhu dari suhu kamar menjadi suhu cair alumunium $^{\circ}\text{C}$

ΔT_2 = perubahan suhu dari suhu cair alumunium menjadi suhu penuangan $^{\circ}\text{C}$

2) Kalor yang Diserap Batu Tahan Api (Q_2)

Batu tahan api digunakan sebagai penahan panas (bahan isolator). Kalor yang diterima oleh bata tahan api selama proses peleburan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [4]:

$$Q_2 = m_b \cdot C_{pb} \cdot \Delta T_b$$

Dengan:

Q_2 = kalor yang diserap bata tahan api (kJ)

C_{pb} = panas jenis bata = 0,48 kkal/kg $^{\circ}\text{C}$ [3]

ΔT_b = perubahan suhu pada bata ($^{\circ}\text{C}$)

m_b = masa bata yang menerima panas (kg)

$$m_b = 1/4 \cdot \pi \cdot (D_{lb}^2 - D_{db}^2) \cdot t_b \cdot \rho$$

Diketahui:

D_{lb} = diameter luar bata (m)

D_{db} = diameter dalam bata (m)

t_b = tinggi bata yang menerima panas (m)

ρ = masa jenis bata = 1600 (kg/m³) [3]

3) Kalor yang Diserap Cawan Lebur (Q_3)

Cawan lebur adalah bagian yang paling besar mengalami perubahan suhu. Besar kalor yang diserap cawan lebur dapat dicari dengan rumus berikut [4]:

$$Q_3 = m_c \cdot C_{pc} \cdot \Delta T_c$$

Dengan:

Q_3 = kalor yang diserap cawan lebur (kJ)

C_{pc} = panas jenis cawan lebur = 0,46 kkal/kg $^{\circ}\text{C}$ [3]

ΔT_b = perubahan suhu pada cawan lebur ($^{\circ}\text{C}$)

m_c = masa cawan yang menerima panas (kg)

$$m_c = 1/4 \cdot \pi \cdot (D_{lc}^2 - D_{dc}^2) \cdot t_c \cdot \rho$$

Diketahui:

D_{lc} = diameter luar cawan lebur (m)

D_{dc} = diameter dalam cawan lebur (m)

t_c = tinggi cawan yang menerima panas (m)

ρ = masa jenis cawan = 7.833 (kg/m³) [4]

4) Kalor yang Diserap Dinding Plat Luar (Q_4)

Besar kalor yang diserap oleh dinding plat luar adalah [4]:

$$Q_4 = m_{pl} \cdot C_{ppl} \cdot \Delta T_{pl}$$

Dengan :

Q_4 = kalor yang diserap dinding plat luar (kJ)

C_{ppl} = panas jenis dinding plat luar = 0,46 kkal/kg $^{\circ}\text{C}$ [3]

ΔT_{pl} = perubahan suhu pada dinding plat luar ($^{\circ}\text{C}$)

m_{pl} = masa plat yang menerima panas (kg)

$$m_{pl} = \pi \cdot D_{pl} \cdot t_{pl} \cdot x_{pl} \cdot \rho$$

Diketahui:

D_{pl} = diameter plat luar (m)

t_{pl} = tinggi plat yang menerima panas (m)

x_{pl} = ketebalan dinding plat luar (m)

ρ = masa jenis plat luar = 7.833 (kg/m³) [4]

5) Kalor yang Diserap Plat Atas (Q_5)

Dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_5 = m_{pa} \cdot C_{ppa} \cdot \Delta T_{pa} \quad [4]$$

Dengan :

Q_5 = kalor yang diserap plat atas (kJ)

C_{ppa} = panas jenis plat atas
= 0,46 (kkal/kg °C) [3]

ΔT_{pa} = perubahan suhu pada plat atas (°C)

m_{pa} = masa plat yang menerima panas (kg)

$$m_{pa} = \pi \cdot D_{pa} \cdot t_{pa} \cdot x_{pa} \cdot \rho$$

Diketahui:

D_{pa} = diameter plat atas (m)

t_{pa} = tinggi plat yang menerima panas (m)

x_{pa} = tebal plat atas (m)

ρ = masa jenis plat
= 7.833 (kg/m³) [4]

6) Kalor Total yang Diserap (Q_{total})

Banyaknya kalor total ialah jumlah keseluruhan kalor yang diserap oleh bahan dapur peleburan yaitu :

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

Diketahui :

Q_1 = kalor untuk melebur aluminium (kJ)

Q_2 = kalor yang diserap batu tahan api (kJ)

Q_3 = kalor yang diserap cawan lebur (kJ)

Q_4 = kalor yang diserap dinding plat luar (kJ)

Q_5 = kalor yang diserap plat atas (kJ)

7) Laju Aliran Panas Pada Dinding Dapur (q_1)

Laju aliran panas kedinding harus diperkecil semaksimal mungkin, agar tidak banyak panas yang terbuang. Laju aliran panas pada dinding dapat dicari dengan rumus sebagai berikut [4]:

$$q_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (\Delta T)}{\frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{K_{semen}} + \frac{\ln(\frac{r_3}{r_2})}{K_{bata}} + \frac{\ln(\frac{r_4}{r_3})}{K_{plat}}}$$

Diketahui:

q_1 = laju aliran panas pada dinding (Joule/sekon)

k = konduktivitas termal (W/m °C)

ΔT = perubahan suhu pada dinding (°C)

t = tinggi (m)

r_1 = jari – jari semen (m)

r_2 = jari – jari tebal semen (m)

r_3 = jari – jari bata (m)

r_4 = jari – jari plat luar (m)

8) Panas yang Terbuang Melalui Cerobong (q_2)

Panas yang keluar melalui plat atas akan keluar secara konduksi melalui plat dan keluar melalui konveksi keudara bebas. Laju aliran panas melalui plat ini dapat dihitung [4]:

$$q_2 = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Diketahui:

q_2 = laju aliran panas pada plat atas (kJ/jam)

A = luas permukaan plat atas (m²)
= 1/4 . π . d^2

ΔT = perubahan suhu pada plat atas (°C)

h = koefisien perpindahan panas (W/m² °C)

Re = $(\rho \cdot v \cdot d) / \mu$

Nu = 0,023 . $Re_d^{0,8}$. $Pr^{0,4}$ sehingga

h = $Nu \cdot k / d$

9) Panas yang Terbuang Melalui Cawan Lebur (q_3)

Panas yang keluar melalui lubang cawan lebur secara konveksi dapat dicari dengan [4]:

$$q_3 = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Diketahui:

q_3 = laju aliran panas pada cawan (kJ/jam)

A = luas permukaan cawan (m²)
= 1/4 . π . d_2^2

ΔT = perubahan suhu pada cawan (°C)

h = koefisien perpindahan panas (W/m² °C)

Re = $(\rho \cdot v \cdot d) / \mu$

Nu = 0,023 . $Re_d^{0,8}$. $Pr^{0,4}$ sehingga

h = $Nu \cdot k / d$

Banyak laju aliran kalor yang terbuang dalam proses peleburan ini adalah:
 $q_{total} = q_1 + q_2 + q_3$

Diketahui:

q_1 = laju aliran pada dinding (kJ/jam)

q_2 = panas yang terbuang melalui plat atas (kJ/jam)

q_3 = panas yang terbuang melalui cawan lebur (kJ/jam)

10) Waktu Peleburan

Untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk dapat meleburkan alumunium, maka harus mengetahui berapa besar laju aliran panas kecawan lebur. Laju aliran panas kecawan dapat dicari dengan rumus sebagai berikut [4]:

$$q_c = \frac{K_c \cdot A_c}{\Delta X_c} (T_{c2} - T_{c1})$$

Diketahui :

q_c = laju aliran kalor kecawan lebur (kJ/jam)

k_c = konduktivitas cawan lebur
= 54 (W/m^o C) [4]

ΔX_c = tebal cawan lebur (m)

T_{c1} = suhu bagian dalam cawan (°C)

T_{c2} = suhu bagian luar cawan (°C)

A_c = luas permukaan cawan lebur (m²)
= $1/4 \cdot \pi \cdot d^2$

Waktu yang dibutuhkan untuk melebur alumunium padat menjadi cair pada dapur peleburan ini, dapat diketahui dari besarnya angka perbandingan antara kalor yang dibutuhkan untuk melebur alumunium dengan laju aliran kalor yang diterima oleh cawan lebur, yaitu [4]:

$$t = \frac{Q_1}{q_c}$$

Diketahui :

t = waktu (jam)

Q_1 = kalor untuk melebur alumunium (kJ)

q_c = kalor yang diterima cawan lebur (kJ/jam)

11) Kapasitas Produksi Dapur Peleburan

Fungsi cawan lebur adalah tempat untuk logam cair selama proses peleburan berlangsung. Cawan lebur harus memiliki titik cair yang jauh lebih tinggi dari titik cair logam yang akan dilebur, sehingga kapasitas produksi dapat dicari dengan menimbang alumunium sebelum peleburan dan sesudah peleburan.

12) Konsumsi Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan dalam proses peleburan alumunium adalah gas

(LPG) yang mempunyai nilai pembakaran tinggi yaitu 50400 kJ/kg. Maka jumlah bahan bakar yang dibutuhkan adalah perbandingan dari jumlah kalor yang dibutuhkan untuk melebur alumunium dan kalor yang terbuang dengan jumlah energi per masa bahan bakar yaitu [5]:

$$m_{bb} = \frac{Q_{lebur} + Q_{yang\ diserap}}{\text{nilai kalor bb}}$$

Diketahui:

m_{bb} = masa bahan bakar (kg)

Q_{lebur} = kalor yang diperlukan untuk melebur alumunium (kJ)

$Q_{yang\ diserap}$ = kalor yang diserap oleh bahan dapur (kJ)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada Agustus – September 2015 di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Dalam penelitian ini ada beberapa peralatan dan bahan yang akan digunakan untuk perancangan dan pembuatan dapur pelebur. Adapun alat yang digunakan adalah Burner, Pemantik api/mancis, Selang dan regulator gas, Termokopel, Cawan lebur, Blower, Gas (LPG), dan Ladle. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bata tahan api, Semen tahan api, Plat besi atau baja karbon, Plat besi, Aluminium scrap (piston bekas).

Dalam perencanaan dan pembuatan dapur peleburan ini akan dirancang sebagai berikut :

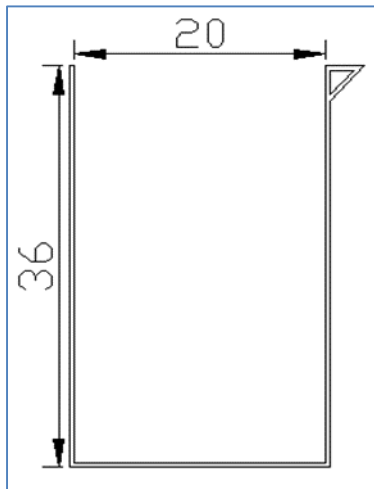
1. Konstruksi dapur

Dapur pelebur ini dirancang untuk melebur alumunium secara fisik, dapur ini memakai bahan bakar gas (LPG) untuk memanasi sebuah cawan lebur yang terletak ditengah – tengah yang dilapisi dengan bata tahan api, dimana antara cawan lebur dan bata tahan api tersebut terdapat ruang bakar.

2. Cawan lebur

Fungsi cawan lebur adalah untuk tempat mencairkan alumunium selama proses peleburan berlangsung. Cawan lebur harus memiliki titik cair yang lebih tinggi dari titik logam cair yang akan dilebur. Pada perencanaan ini cawan lebur yang dipakai

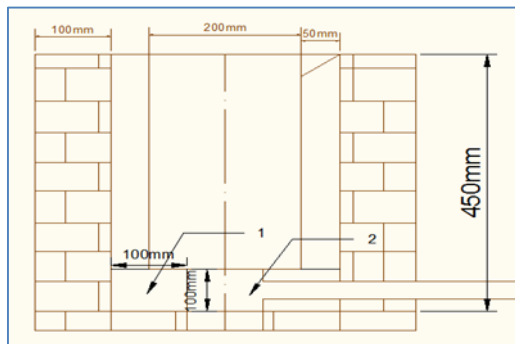
adalah pipa silinder yang terbuat dari baja karbon rendah dengan ukuran diameter 200 mm, tebal 3 mm dan tinggi 360 mm.



Gambar 2. Perancangan cawan lebur

3. Penumpu cawan lebur

Penumpu berfungsi untuk menumpu cawan lebur pada ruang bakar. Penumpu ini terbuat dari bata tahan api jenis SK 32 yang mampu menahan temperatur 1710°C sedangkan temperatur ruang bakar hanya mencapai sekitar 660°C. Pada penumpu cawan Penumpu yang digunakan berjumlah empat buah dengan ukuran tinggi 100 mm, lebar 100 mm.



Gambar 3. Perancangan penumpu cawan lebur

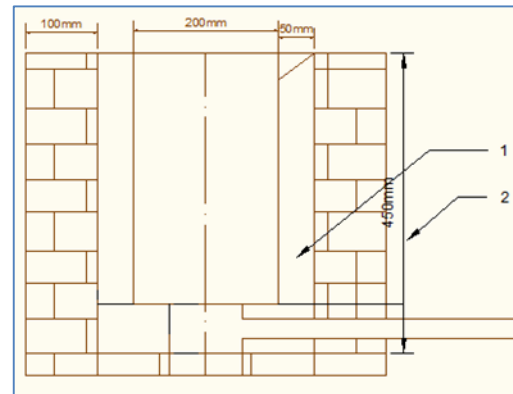
Keterangan:

- 1) Bata tahan api sebagai penumpu cawan lebur.
- 2) Ruang bakar pada bagian cawan lebur.

4. Ruang bakar

Adalah tempat dimana nyala api memanasi cawan lebur, ruang bakar ini dilapisi dengan campuran semen dan bata tahan api yang telah tersusun dengan rapi dengan lebar ruang bakar 50 mm, sedangkan

tinggi ruang bakar adalah tinggi cawan lebur ditambah tinggi dudukan cawan lebur yaitu 450 mm.



Gambar 4. Perancangan ruang bakar

Keterangan :

- 1) Ruang bakar
- 2) Tinggi ruang bakar

5. Tutup dapur

Fungsi tutup dapur yaitu untuk meredam panas saat proses peleburan. Pada tutup dapur terdapat lubang yang berfungsi untuk mengontrol material yang dilebur serta keluarnya panas, dan tuas angkat berfungsi sebagai pegangan saat tutup dibuka. Tutup terbuat dari baja plat tipis sebagai dinding penahanya, diameter luar 570 mm dan diameter dalam 100 mm.

6. Dinding luar

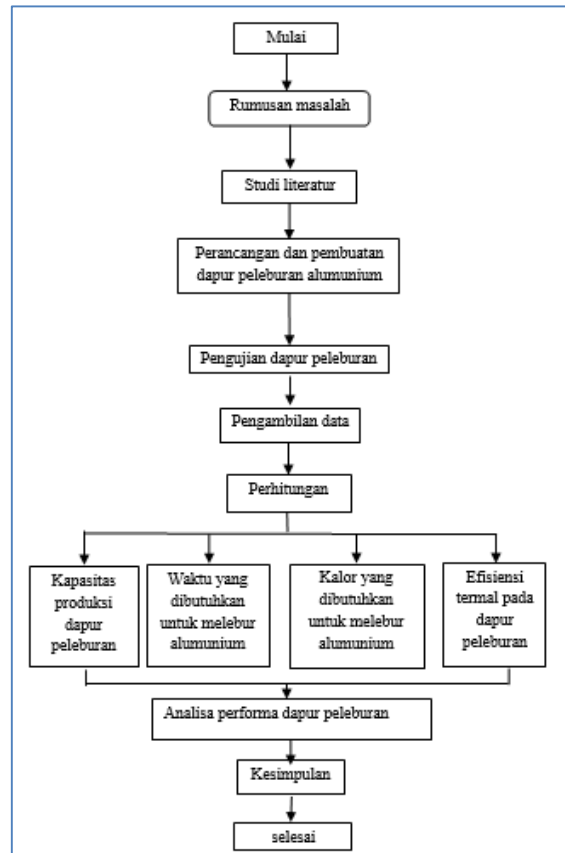
Fungsi dinding luar adalah sebagai penahan yang mengelilingi bata tahan api sehingga panas yang keluar cukup sedikit. Dinding luar dapur terbuat dari baja plat tipis yang dirol membentuk silinder dengan diameter 500 mm, tinggi 500 mm. Untuk dinding pada bagian bawah sama menggunakan baja plat tipis dengan diameter 500 mm.

Langkah – langkah dalam melakukan pengujian pada penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan dapur terlebih dahulu, kemudian menghubungkan burner bahan bakar gas tersebut kesaluran masuk bahan bakar. Sebelum itu diperiksa terlebih dahulu apakah selang bahan bakar sudah terpasang dengan baik.

- 2) Memasukkan cawan lebur ke dalam dapur dengan terlebih dahulu memeriksa cawan lebur apakah terjadi kebocoran dan membersihkan cawan lebur dari kotoran, ini dimaksudkan agar kualitas alumunium pada proses peleburan tidak tercampur dengan kotoran ataupun benda yang akan dilebur.
- 3) Mengatur jumlah bahan bakar gas dan udara yang akan digunakan untuk proses peleburan alumunium, lalu menghidupkan api menggunakan pemantik. Langkah ini bertujuan agar pada saat proses peleburan tidak menghabiskan bahan bakar terlalu banyak dan mempercepat proses peleburan.
- 4) Proses awal pemanasan cawan lebur, memasukkan alumunium kedalam cawan lebur kemudian menutup agar pemanasan yang terjadi di dalam cawan tersebut tidak menyebar keluar sehingga panas di dalam cawan akan cepat meleburkan alumunium dan lebih efisiensi waktu. Pada langkah ini alumunium ditimbang terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam cawan lebur
- 5) Ketika cawan lebur sudah panas dan berwarna merah, alumunium akan menyusut dan terjadi proses peleburan alumunium di dalam cawan lebur tersebut, jika alumunium sudah mencair, maka sisa alumunium dibuang dan alumunium diaduk secara terus menerus. Pada saat inilah proses pengecoran dapat dilakukan pada cetakan yang telah disiapkan sebelumnya.
- 6) Pengambilan data dilakukan selama proses peleburan terjadi pada dapur peleburan adalah dengan menganalisa perpindahan kalor yang terjadi, waktu yang dibutuhkan untuk melebur alumunium, kalor yang dibutuhkan untuk melebur alumunium, jumlah bahan bakar yang digunakan dan efisiensi dapur peleburan.

Metode penelitian secara singkat ditunjukkan pada gambar diagram alir berikut.



Gambar 5. Diagram Alir Perancangan Dapur Peleburan Alumunium

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dapur peleburan dilakukan dengan cara melebur alumunium bekas menggunakan bahan bakar gas (LPG) dengan laju aliran 2,3 m/s dibantu dengan suplai udara dari blower dengan laju aliran 7,3 m/s untuk mendapatkan temperatur maksimal. Berikut spesifikasi dapur peleburan dan data hasil peleburan alumunium.

Diameter luar dapur	= 570 mm
Diameter dalam dapur	= 330 mm
Tinggi dapur	= 520 mm
Tebal semen tahan api	= 5 mm
Tebal plat dapur	= 2 mm
Diameter luar cawan	= 206 mm
Diameter dalam cawan	= 200 mm
Tinggi cawan lebur	= 360 mm
Bahan bakar	= LPG 12kg

Suplai udara = Blower

Tinjau pada penelitian yang dilakukan selama proses peleburan aluminium menggunakan bahan bakar gas (LPG) dapat disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Temperatur rata – rata pada setiap bagian material dapur peleburan

Waktu (mnt)	cawan		bata		dinding		atas		bawah		cero bon g	Al
	dalam	luar	dalam	luar	dalam	luar	dalam	luar	dalam	luar		
0	30,0	29,0	29,3	29,7	28,3	31,3	30,0	32,7	33,7	32,7	31,7	28,3
10	248,0	213,3	220,3	85,7	111,7	59,7	128,0	81,7	310,7	66,3	308,3	412,3
20	304,0	266,0	301,3	203,3	186,0	76,3	233,3	104,0	316,0	77,0	414,3	442,3
30	388,3	344,0	345,7	223,3	256,7	109,3	292,3	137,3	322,0	83,7	450,3	524,0
40	486,0	409,0	372,7	280,3	321,7	111,7	301,7	145,7	343,3	89,7	455,3	573,0
50	567,0	450,7	380,0	286,7	323,0	148,7	322,7	180,0	362,0	90,7	458,0	592,0
60	654,0	483,7	391,7	312,0	326,7	152,3	330,7	196,7	373,3	97,3	517,0	634,7
70	684,7	550,0	429,7	317,7	332,7	177,0	355,0	219,0	377,3	104,3	567,3	646,7
80	734,0	588,7	454,3	332,3	342,7	195,0	385,0	192,7	397,3	112,3	601,7	716,0
90	772,0	594,0	476,7	337,7	418,0	198,0	429,3	229,3	440,0	156,7	658,0	730,3

Data pada tabel 1 selanjutnya digunakan untuk menghitung laju aliran kalor pada setiap bahan material dapur peleburan dan banyaknya jumlah kalor yang terserap oleh bahan material.

1) Kalor untuk Melebur Aluminium (Q_1)
Banyaknya kalor untuk melebur aluminium adalah;

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_a + Q_b + Q_c \\
 &= (m_{al} \cdot Cp_1 \cdot \Delta T_1) + (m_{al} \cdot h) + (m_{al} \cdot Cp_2 \cdot \Delta T_2) \\
 &= (10 \text{ kg} \cdot 0,215 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} \cdot 663 \text{ } ^\circ\text{C}) + \\
 &= (10 \text{ kg} \cdot 95 \text{ kkal/kg}) + (10 \text{ kg} \cdot 0,26 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} \cdot 90 \text{ } ^\circ\text{C}) \\
 &= 1425,45 \text{ kkal} + 950 \text{ kkal} + 234 \text{ kkal} \\
 &= 2609,45 \text{ kkal} \\
 &= 10925,25 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

2) Kalor yang diserap Batu Tahan Api (Q_2)

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= m_b \cdot Cp_b \cdot \Delta T_b \\
 m_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (D_{lb}^2 - D_{db}^2) \cdot t_b \cdot \rho \\
 m_b &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,57^2 \text{ m} - 0,33^2 \text{ m}) \cdot \\
 &= 0,52 \text{ m} \cdot 1600 \text{ kg/m}^3 \\
 m_b &= 0,785 \cdot (0,32 \text{ m} - 0,11 \text{ m}) \cdot 832 \text{ kg/m}^2 \\
 m_b &= 137,15 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Sehingga banyaknya panas yang diserap bata tahan api adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= 137,15 \text{ kg} \cdot 0,84 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} \cdot 447,4 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 Q_2 &= 51543,16 \text{ kkal} \\
 Q_2 &= 215800,9 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

3) Kalor yang diserap Cawan Lebur (Q_3)

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= m_c \cdot Cp_c \cdot \Delta T_c \\
 m_c &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (D_{lc}^2 - D_{dc}^2) \cdot t_c \cdot \rho \\
 m_b &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,206^2 \text{ m} - 0,2^2 \text{ m}) \cdot \\
 &= 0,36 \text{ m} \cdot 7833 \text{ kg/m}^3 \\
 m_b &= 0,785 \cdot (0,043 \text{ m} - 0,04 \text{ m}) \cdot \\
 &= 2819,88 \text{ kg/m}^2 \\
 m_b &= 6,64 \text{ kg} \\
 \text{Maka kalor yang diserap cawan lebur:} \\
 Q_3 &= 6.64 \text{ kg} \cdot 0,46 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} \cdot 742 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 Q_3 &= 2266,36 \text{ kkal} \\
 Q_3 &= 9488,79 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

4) Kalor yang diserap Dinding Plat Luar (Q_4)

$$\begin{aligned}
 Q_4 &= m_{pl} \cdot Cp_{pl} \cdot \Delta T_{pl} \\
 m_{pl} &= \pi \cdot D_{pl} \cdot t_{pl} \cdot x_{pl} \cdot \rho \\
 m_{pl} &= 3,14 \cdot 0,57 \text{ m} \cdot 0,52 \text{ m} \cdot \\
 &= 0,002 \text{ m} \cdot 7833 \text{ kg/m}^3 \\
 m_{pl} &= 14,58 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Sehingga banyaknya kalor yang diserap oleh dinding plat luar adalah:

$$\begin{aligned}
 Q_4 &= 14,58 \text{ kg} \cdot 0,46 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} \cdot 389,7 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 Q_4 &= 2613,63 \text{ kkal} \\
 Q_4 &= 10942,7 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

5) Kalor yang diserap Plat Atas (Q_5)

Banyaknya kalor yang diserap plat atas :

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= m_{pa} \cdot Cp_{pa} \cdot \Delta T_{pa} \\
 \text{Berat plat yang mengalami perubahan suhu} \\
 \text{adalah:} \\
 m_{pa} &= \pi \cdot D_{pa} \cdot t_{pa} \cdot x_{pa} \cdot \rho \\
 m_{pa} &= 3,14 \cdot 0,57 \text{ m} \cdot 0,045 \text{ m} \cdot 0,002 \text{ m} \\
 &= 7833 \text{ kg/m}^3 \\
 m_{pa} &= 1,26 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Sehingga kalor yang diserap plat atas selama peleburan adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= 1,26 \text{ kg} \cdot 0,46 \text{ kkal/kg } ^\circ\text{C} \cdot 399,3 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 Q_5 &= 231,4 \text{ kkal} \\
 Q_5 &= 968,82 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

6) Kalor Total yang diserap (Q_{total})

Jumlah keseluruhan kalor yang diserap oleh bahan dapur peleburan adalah:

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$$Q_{total} = 10925,25 \text{ kJ} + 215800,9 \text{ kJ} + 9488,79 \text{ kJ} + 10942,7 \text{ kJ} + 968,82 \text{ kJ}$$

$$Q_{total} = 248126,46 \text{ kJ}$$

7) Laju Aliran Panas Konveksi pada Dinding Dapur (q_1)

Laju aliran panas konveksi pada dinding dapur dapat dihitung sebagai berikut :

$$q_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \Delta T}{\ln \frac{(\frac{r_2}{r_1})}{K_{semen}} + \ln \frac{(\frac{r_3}{r_2})}{K_{bata}} + \ln \frac{(\frac{r_4}{r_3})}{K_{plat}}}$$

$$= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,52 \text{ m} \cdot 389 \text{ }^\circ\text{C}}{\ln(\frac{0,17 \text{ m}}{0,16 \text{ m}}) + \frac{\ln(\frac{0,29 \text{ m}}{0,17 \text{ m}})}{0,60 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{\ln(\frac{0,292 \text{ m}}{0,29 \text{ m}})}{54 \text{ W/m}^\circ\text{C}}}$$

$$= \frac{1270,3 \text{ m}^\circ\text{C}}{0,958 \text{ W/m}^\circ\text{C}}$$

$$= 1325,99 \text{ Watt}$$

$$= 4773,56 \text{ kJ/jam}$$

8) Panas yang Terbuang Melalui Cerobong (q_2)

Besar laju aliran panas konveksi yang keluar melalui plat atau pembuangan adalah sebagai berikut :

$$q_2 \text{ konv} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

$$663 \text{ }^\circ\text{C} - 37 \text{ }^\circ\text{C} = 626 \text{ }^\circ\text{C} = 899,15 \text{ K}$$

Dari tabel sifat- sifat udara pada tekanan atmosfer didapat sebagai berikut :

Rumus interpolasi = $\frac{\text{selisih } T}{\text{selisih } T \text{ pada tabel}} \times (\text{selisih angka yang dicari}) + \text{angka } T \text{ terkecil}$

$$\rho = \frac{850 \text{ K} - 899,15 \text{ K}}{850 \text{ K} - 900 \text{ K}} \times (0,3925 - 0,4149) + 0,4149$$

$$= 0,3929 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = \frac{850 \text{ K} - 899,15 \text{ K}}{850 \text{ K} - 900 \text{ K}} \times (3,899 - 3,765) + 3,765$$

$$= 3,89 \text{ kg/m.s} \times 10^{-5}$$

$$k = \frac{850 \text{ K} - 899,15 \text{ K}}{850 \text{ K} - 900 \text{ K}} \times (0,06279 - 0,06028) + 0,06028$$

$$= 0,06274 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$p_r = 0,694$$

$$Re = \frac{0,3929 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5,3 \text{ m/s} \cdot 0,1 \text{ m}}{3,89 \text{ kg/m.s} \times 10^{-5}} = 5347$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

$$= (0,023) \cdot (5347)^{0,8} \cdot (0,694)^{0,4}$$

$$= 19,087$$

$$h = \frac{19,087 \cdot 0,06274 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0,1 \text{ m}} = 11,975 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$q_2 = 11,975 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot 626 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 74,96 \text{ Watt}$$

$$= 269,856 \text{ kJ/jam}$$

9) Panas yang Terbuang Melalui Cawan Lebur (q_3)

Panas yang keluar melalui lubang cawan lebur secara konveksi adalah sebagai berikut:

$$q_3 \text{ konv} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Selisih T cawan $775 \text{ }^\circ\text{C} - 27 \text{ }^\circ\text{C} = 748 \text{ }^\circ\text{C}$

$$= 1021,15 \text{ K}$$

Dari tabel sifat- sifat udara pada tekanan atmosfer didapat sebagai berikut :

$$\rho = \frac{1000 \text{ K} - 1021,15 \text{ K}}{1000 \text{ K} - 1100 \text{ K}} \times (0,3204 - 0,3524) + 0,3524$$

$$= 0,345 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = \frac{1000 \text{ K} - 1021,15 \text{ K}}{1000 \text{ K} - 1100 \text{ K}} \times (4,44 - 4,152) + 4,152$$

$$= 4,212 \text{ kg/m.s} \times 10^{-5}$$

$$k = \frac{1000 \text{ K} - 1021,15 \text{ K}}{1000 \text{ K} - 1100 \text{ K}} \times (0,0732 - 0,06752) + 0,06752$$

$$= 0,068656 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$p_r = \frac{1000 \text{ K} - 1021,15 \text{ K}}{1000 \text{ K} - 1100 \text{ K}} \times (0,704 - 0,702) + 0,702$$

$$= 0,70242$$

$$Re = \frac{0,345 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,2 \text{ m}}{4,212 \text{ kg/m.s} \times 10^{-5}} = 196,58$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

$$= (0,023) \cdot (196,58)^{0,8} \cdot (0,70242)^{0,4}$$

$$= 1,352$$

$$h = \frac{1,352 \cdot 0,068656 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0,2 \text{ m}} = 0,464 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$q_3 = 0,464 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 748 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 96,6416 \text{ Watt}$$

$$= 347,909 \text{ kJ/jam}$$

Jumlah laju aliran panas konveksi yang terbuang dalam proses peleburan ini adalah:

$$q_{total} = q_1 + q_2 + q_3$$

$$q_{total} = 4773,56 \text{ kJ/jam} + 269,856 \text{ kJ/jam} + 347,909 \text{ kJ/jam}$$

$$q_{total} = 5391,31 \text{ kJ/jam}$$

10) Waktu Peleburan

Untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk dapat melebur aluminium adalah :

$$q_c = \frac{K_c \cdot A_c}{\Delta X_c} (T_{c2} - T_{c1})$$

$$A_c = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} = 0,03 \text{ m}^2$$

Sehingga laju aliran keawan adalah :

$$q_c = \frac{54 \text{ W/m}^2 \cdot 0,03 \text{ m}^2}{0,003 \text{ m}} \cdot (750 \text{ }^\circ\text{C} - 745 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$q_c = 2700 \text{ Watt}$$

$$q_c = 9720 \text{ kJ/jam}$$

Waktu yang digunakan untuk melebur aluminium dapat diketahui dari besarnya angka perbandingan antara kalor yang dibutuhkan untuk melebur aluminium dengan laju aliran kalor yang diterima oleh cawan lebur, yaitu:

$$t = \frac{Q_1}{q_c}$$

$$t = \frac{10925,25 \text{ kJ}}{9720 \text{ kJ/jam}}$$

$$t = 1,30 \text{ jam} = 90 \text{ menit}$$

11) Kapasitas Produksi Dapur Peleburan

Kapasitas produksi dapur peleburan yang dihasilkan dengan melebur aluminium 10 kg adalah 9 kg aluminium dengan waktu 90 menit.

12) Konsumsi Bahan Bakar

Jumlah bahan bakar yang digunakan selama proses peleburan adalah:

$$m_{bb} = \frac{Q_{lebur} + Q_{total \text{ yang terserap}}}{\text{nilai bahan bakar}}$$

$$= \frac{10925,25 \text{ kJ} + 237201,21 \text{ kJ}}{50400 \text{ kJ/kg}}$$

$$= 4,9 \text{ kg}$$

13) Efisiensi Termal Peleburan Aluminium

$$\eta = \frac{Q_{\text{aluminium}}}{Q_{\text{in}}} \cdot 100 \%$$

$$= \frac{10925,25}{246960} \cdot 100 \%$$

$$= 4,42 \%$$

14) Efisiensi Termal Dapur Peleburan

Efisiensi termal dapur peleburan adalah:

$$\eta = \frac{Q_{\text{use}}}{Q_{\text{in}}} \cdot 100 \%$$

$$= \frac{261588,05}{246960} \cdot 100 \%$$

$$= 97,8 \%$$

Setelah melakukan pengujian dan perhitungan adapun pembahasan dapur peleburan aluminium adalah sebagai berikut:

- 1) Hasil perhitungan banyaknya kalor untuk meleburkan aluminium 10 kg yaitu 10925,25 kJ.
- 2) Dari hasil pengujian dapur peleburan aluminium didapat waktu 1,39 jam untuk meleburkan aluminium 10 kg dengan laju aliran udara 7,3 m/s dan laju aliran bahan bakar gas 2,3 m/s. Laju aliran udara dan bahan bakar gas sangat berpengaruh terhadap waktu yang dibutuhkan untuk meleburkan aluminium, semakin besar laju aliran udara dan bahan bakar maka konsumsi pemakaian bahan bakar semakin boros selain itu juga banyak kalor yang terbuang. Dari hasil perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk melebur aluminium padat menjadi cair dapat yaitu 1,30 jam.
- 3) Dari hasil perhitungan efisiensi termal peleburan aluminium yaitu 4,42 % hal tersebut kurang efisien dikarenakan banyaknya kalor yang terbuang ke udara bebas melalui plat atas, ruang bakar, dan kalor yang terserap bahan isolasi, dan ruang bakar yang terlalu lebar. Maka untuk itu perlu dipersempit ruang bakar sehingga panas yang keluar tidak terlalu banyak.
- 4) Dari hasil perhitungan efisiensi termal dapur peleburan yaitu 97,8 %, didapat dari banyaknya kalor yang digunakan pada dapur peleburan dibagi dengan kalor yang masuk artinya banyak kalor yang diserap oleh dapur peleburan berbanding lurus dengan jumlah kalor yang masuk.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pembahasan dalam perancangan dan pembuatan dapur peleburan yang telah

dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Jenis dapur yang digunakan yaitu dapur berbentuk silinder
2. Kebutuhan kalor
 - a. Kalor yang digunakan untuk melebur alumunium yaitu : 10925,25 kJ
 - b. Kalor total yang diserap dapur yaitu : 248126,46 kJ
 - c. Kalor total yang terbuang pada dapur yaitu : 5391,31 kJ/jam
3. Waktu yang digunakan untuk meleburkan alumunium 10 kg adalah 90 menit
4. Kapasitas produksi dapur peleburan yang dihasilkan yaitu 9 kg dengan waktu 90 menit.
5. Konsumsi bahan bakar yang digunakan adalah 4,9 kg
6. Efisiensi termal peleburan alumunium 4,42 %
7. Efisiensi termal dapur peleburan 97,8 %

SARAN

1. Untuk mendapatkan efisiensi dapur peleburan yang baik perlu dipersempit pada ruang bahan bakar supaya panas yang keluar tidak terlalu banyak dan jarak nyala api dengan cawan lebur jangan terlalu dekat.
2. Dalam menentukan pemakaian bahan bakar perlu adanya alat yang lebih spesifik untuk dapur peleburan dengan bahan bakar gas (LPG) hal ini dilakukan untuk bertujuan menghemat bahan bakar dan efisiensi pada dapur peleburan alumunium.
3. Pada saat pengoperasian dapur, pemanasan dilakukan bertahap sebelum beroperasi penuh untuk menghindari kerusakan pada batu tahan api dan cawan lebur. Kondisi suhu dapur peleburan juga tidak melebihi 750 °C untuk menghindari kerusakan pada cawan lebur yang mengalami perubahan struktur dan akhirnya retak bila dibebani panas yang terlalu tinggi.
4. Perlu adanya pembuatan cetakan untuk menuang alumunium menggunakan pasir

silika dengan bentonit untuk mendapatkan hasil cetakan yang lebih baik.

5. Perlu dilakukan perbandingan jumlah udara dengan bahan bakar (AFR).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Logam*. Direktorat Pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta.
- [2]. Groover, M. 2000. *Fundamental of Modern Manufacturing*. Bradley, University, New York.
- [3]. Litheal, 1982. *Metal Working Teknologi*. Mc Graw Hill Inc, New York.
- [4]. Holman, JP. 1997. *Heat Transfer*. Cetakan Kedua Erlangga, Jakarta.
- [5]. Culp Jr, Darwin Sitompul. 1976. *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Mc Graw Hill, New York.