

## PENGUJIAN AWAL KINERJA TUNGKU PENGECORAN LOGAM ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE DENGAN BAHAN BAKAR GAS LPG

\*Alaya Fadllu Hadi Mukhammad<sup>a</sup>, Didik Ariwibowo<sup>a</sup>, Yanuar Taufik Syarifudin<sup>b</sup>,  
Moh. Ammar Robbaani<sup>b</sup>, Zainal Arifin<sup>b</sup>, Yuliyanti<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Program Diploma Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang

<sup>b</sup>Mahasiswa Jurusan D3 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang

Jl. Prof. H. Sudarto, SH – Tembalang, Semarang

\*E-mail: alayad3tm@gmail.com

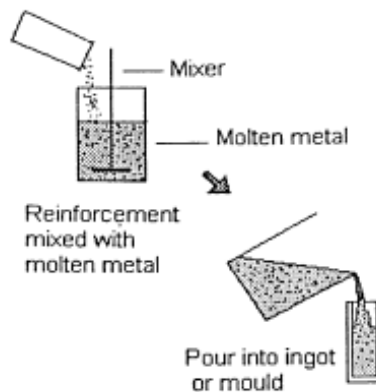
### ABSTRAK

*Aluminium Matrix Composite* (AMC) merupakan material alternatif yang memiliki banyak keunggulan diantaranya adalah kekuatan, kekakuan, modulus elastisitas dan ketahanan aus yang tinggi. Salah satu metode pembuatan AMC adalah *stirr casting* yang memerlukan tungku peleburan. Penelitian ini meliputi beberapa tahapan yaitu perancangan, pembuatan dan uji coba kinerja tungku di dalam melebur logam aluminium untuk pembuatan AMC. Desain dan pembuatan tungku telah dilakukan dengan baik. Hasil uji coba menunjukkan bahwa tungku mampu melebur 5 kg aluminium (800°C) dalam waktu 3000 detik pada  $\dot{m}_{fuel} = 0,00187$  kg/s dan AFR=31,85:1, dengan efektifitas 1,12 kg LPG/kg aluminium. Nilai efektifitas tertinggi diperoleh 1,04 kg LPG/kg aluminium pada  $\dot{m}_{fuel} = 0,00093$  kg/s dan AFR = 63.71 : 1 dengan waktu peleburan 5580 detik untuk mencapai temperatur 800°C.

**Kata kunci:** *Aluminium Matrix Composite, Stir casting, Tungku pengecoran*

### 1. PENDAHULUAN

Selama dua dekade terakhir material *Metal Matrix Composite (MMC)* khususnya yang berbasis aluminium (*Aluminium Matrix Composite/AMC*) telah diteliti pada berbagai aplikasi misalnya industri penerbangan dan automotif [1]. Hal ini dikarenakan AMC memiliki kekuatan spesifik dan kekakuan yang tinggi [2-3], selain itu modulus elastisitas dan ketahanan aus nya pun tinggi [4]. Pada dasarnya AMC merupakan komposit dengan matriks berupa logam aluminium dan penguat berupa keramik, atau logam lain seperti baja. Aluminium dipanaskan sampai ke titik lelehnya, lalu dicampur dengan SiC serbuk, selanjutnya dituang ke dalam cetakan [5]. Saat ini beberapa serbuk keramik sangat populer sebagai penguat dalam MMC seperti SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan graphite.



**Gambar 1.** Skema *Stirr casting* pada komposit hybrid Al-SiC [6]

AMC-SiC dapat diperoleh dengan beberapa metode diantaranya adalah *stirr casting, liquid metal infiltration, squeeze casting, spray decomposition dan powder metallurgy* [7]. Diantara beberapa teknik pembuatan AMC-SiC metode *stirr casting* merupakan metode paling cocok untuk skala industri [8] dikarenakan simple, fleksible dan ekonomis [9]. Prinsip utama dari *stirr casting* adalah aluminium cair dan serbuk penguat dicampur dalam sebuah tungku kemudian diaduk (Gambar 1) Temperatur aluminium cair yang direkomendasikan adalah antara 600-700 °C [4-5]. Selanjutnya serbuk SiC dimasukkan secara perlahan-lahan ke dalam aluminium cair.

Dalam proses pembuatan AMC diperlukan tungku peleburan yang memadai. Dalam industri pengecoran aluminium skala rumah tangga hingga skala kecil umumnya menggunakan tungku yang dilengkapi dengan alat bakar (*burner*). Bahan bakar yang digunakan biasanya bahan bakar cair dan gas, dan jarang yang menggunakan bahan bakar padat seperti briket batubara, arang kayu, dan lain-lain. Hal ini karena penggunaan bahan bakar padat dirasakan kurang praktis dan memerlukan waktu peleburan yang relatif lama [10]. Semenjak adanya kebijakan konversi energi dari Pemerintah yaitu dari minyak tanah ke gas LPG, banyak industri rumah tangga hingga industri kecil, termasuk industri pengecoran aluminium, yang selama ini menggunakan minyak tanah beralih ke bahan bakar gas yang harganya lebih terjangkau. Sebelumnya Sundari (2011) melakukan Rancang Bangun Tungku Peleburan Aluminium berbahan bakar gas LPG dengan kapasitas 30 kg [11]. Dari hasil uji coba yang dilakukan diketahui bahwa untuk melebur aluminium *scrap* seberat 30 kg diperlukan waktu 1 jam 37 menit dan bahan bakar yang digunakan adalah 3,60 kg.

Rancang bangun ini dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu perancangan, pembuatan dan uji coba untuk mengetahui karakteristik kinerja tungku dengan bahan bakar gas LPG di dalam melebur logam aluminium sebelum proses pengadukan dengan logam keramik sehingga didapatkan parameter optimal peleburan logam aluminium. Pada tahapan ini pengaduk sengaja belum dipasang, agar kinerja tungku lebih terlihat.

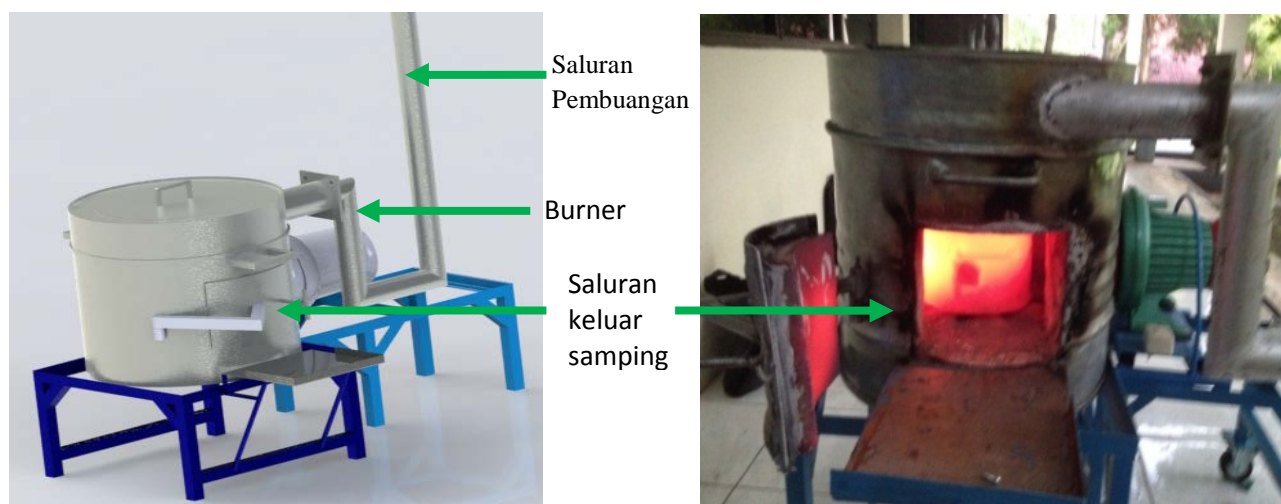
## 2. MATERIAL DAN METODOLOGI

### 2.1. Jalannya Penelitian

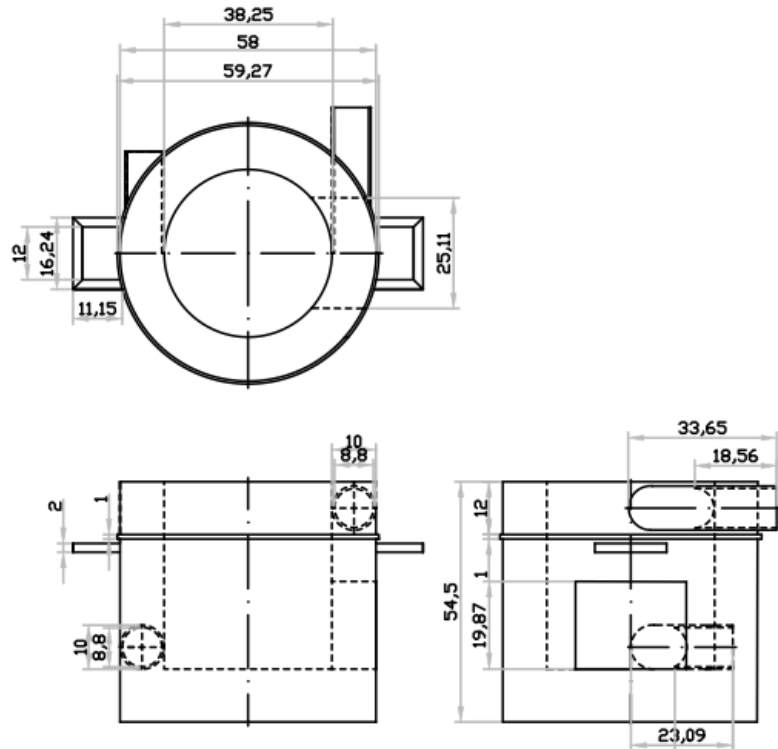
Perancangan dilakukan dengan melakukan studi pustaka baik dari internet dan laboratorium lain. Pembuatan tungku melalui proses manufaktur dengan menggabungkan beberapa bahan sesuai dengan *design* yang telah dibuat. Selanjutnya uji coba dilakukan dengan mevariasikan laju aliran massa bahan bakar pada udara konstan dengan logam aluminium yang dilebur sebanyak 5kg dan variasi massa aluminium (2.5, 3.75, 5 kg) dengan laju aliran massa bahan bakar dan udara tetap. Variasi laju aliran massa bahan bakar dilakukan dengan menvariasikan posisi bukaan katup bahan bakar pada aliran udara tetap yaitu putaran 3000 rpm. Pengukuran kenaikan temperatur peleburan aluminium dilakukan setiap 30 detik sampai dengan 800 °C. Termokople diletakkan di bagian tengah baik secara horisontal maupun vertikal.

### 2.2 Desain Tungku Peleburan AMC

Pada dasarnya tungku ini terdiri dari 4 bagian utama yaitu burner, ruang peleburan (*chamber*), rangka dan saluran pembuangan (Gambar 2). Tungku ini menggunakan bahan bakar gas LPG. Burner yang digunakan dalam tungku ini dilengkapi blower yang digerakkan elektromotor dengan daya 0,25 HP dengan putaran kerja 3000 rpm. Rangka terbuat dari baja karbon profil I, sedangkan saluran pembuangan berupa pipa. Ruang burner dilapisi dari batu bata biasa yang dilapisi dengan semen tahan api. Tungku ini dilengkapi dengan saluran untuk mengeluarkan logam cair dari samping untuk memudahkan mengeluarkan AMC dari samping. Hasil dari perancangan tungku listrik yang sudah dibuat memiliki tinggi 545 mm dan berdiameter luar 592.7 mm, seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Design dan uji coba Tungku Peleburan



Gambar 3. Dimensi Tungku (satuan dalam cm)

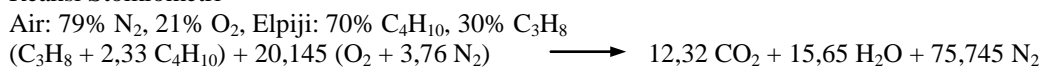
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Perhitungan Air Fuel Ratio

##### 3.1.1. Perhitungan Stoikiometri

Perhitungan stoikiometri berfungsi sebagai perhitungan teoritis yang merupakan dasar untuk menentukan *air fuel ratio* aktual.

##### a. Reaksi Stoikiometri



##### b. Perhitungan Massa Bahan Bakar

$$\begin{aligned} m_{fuel} &= (1 \times kmol_{fuel}) (Mr_{fuel}) \\ &= (1 \times 3,33 \text{ kmol}) (102 \text{ kg/kmol}) \\ &= 339,66 \text{ kg} \end{aligned}$$

##### c. Perhitungan Massa Udara

$$\begin{aligned} m_{air} &= (20,145 \times kmol_{air}) (Mr_{air}) \\ &= (20,145 \times 4,76 \text{ kmol}) (30 \text{ kg/kmol}) \\ &= 2876,706 \text{ kg} \end{aligned}$$

##### d. Perhitungan AFR

$$\begin{aligned} AFR &= \frac{m_{air}}{m_{fuel}} \\ &= \frac{2876,706 \text{ kg}}{339,66 \text{ kg}} \\ &= 8,5 : 1 \end{aligned}$$

##### 3.1.2. Perhitungan Pengaruh Bahan Bakar Terhadap Peleburan Aluminium

Data Pendukung Di Lapangan

$$\begin{aligned} \dot{m}_{fuel} &= 6,72 \text{ kg/jam} = 0,00187 \text{ kg/s} \\ D &= 6 \text{ cm} \\ &= 0,06 \text{ m} \\ A &= 1/4 \pi D^2 \\ &= 0,785 \cdot (0,06 \text{ m})^2 \\ &= 0,002826 \text{ m}^2 \\ \rho_{air} &= 1,25 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- a. Putaran 3000 rpm, Bukaannya Katup Bahan Bakar Penuh, Massa 5 kg

Kecepatan udara pada putaran 3000 rpm adalah:

$$v = 60,6 \text{ km/jam} \\ = 60600 \text{ m/jam}$$

Besarnya laju aliran udara yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\dot{m}_{\text{air}} = v \times A \times \rho \\ = 60600 \text{ m/jam} \times 0,002826 \text{ m}^2 \times 1,25 \text{ kg/m}^3 \\ = 214,0695 \text{ kg/jam}$$

Maka, AFR untuk putaran 3000 rpm, bukannya katup bahan bakar penuh, dan massa Aluminium 5 kg adalah:

$$\text{AFR} = \frac{\dot{m}_{\text{air}}}{\dot{m}_{\text{fuel}}} \\ = \frac{214,0695 \text{ kg/jam}}{6,72 \text{ kg/jam}} \\ = 31,85 : 1$$

- b. Bukaannya Katup Bahan Bakar  $\frac{3}{4}$ , Putaran 3000 rpm, Massa 5 kg

Laju aliran bahan bakar pada kondisi bukannya katup  $\frac{3}{4}$  adalah:

$$\dot{m}_{\text{fuel}} = 5,04 \text{ kg/jam}$$

Maka, AFR untuk bukannya katup bahan bakar  $\frac{3}{4}$ , putaran 3000 rpm, dan massa 5 kg sebagai berikut:

$$\text{AFR} = \frac{\dot{m}_{\text{air}}}{\dot{m}_{\text{fuel}}} \\ = \frac{214,0695 \text{ kg/jam}}{5,04 \text{ kg/jam}} \\ = 42,47 : 1$$

- c. Bukaannya Katup Bahan Bakar  $\frac{1}{2}$ , Putaran 3000 rpm, Massa 5 kg

Laju aliran bahan bakar pada kondisi bukannya katup  $\frac{1}{2}$  adalah:

$$\dot{m}_{\text{fuel}} = 3,36 \text{ kg/jam}$$

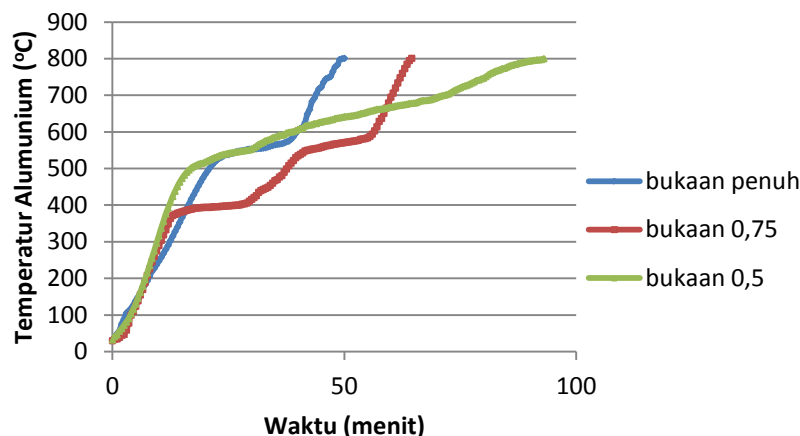
Maka, AFR untuk bukannya katup bahan bakar  $\frac{3}{4}$ , putaran 3000 rpm, dan massa 5 kg sebagai berikut:

$$\text{AFR} = \frac{\dot{m}_{\text{air}}}{\dot{m}_{\text{fuel}}} \\ = \frac{214,0695 \text{ kg/jam}}{3,36 \text{ kg/jam}} \\ = 63,71 : 1$$

### 3.2. Hasil Pengujian

#### 3.2.1. Grafik Pengaruh Bukaannya Katup Bahan Bakar Terhadap Waktu Peleburan

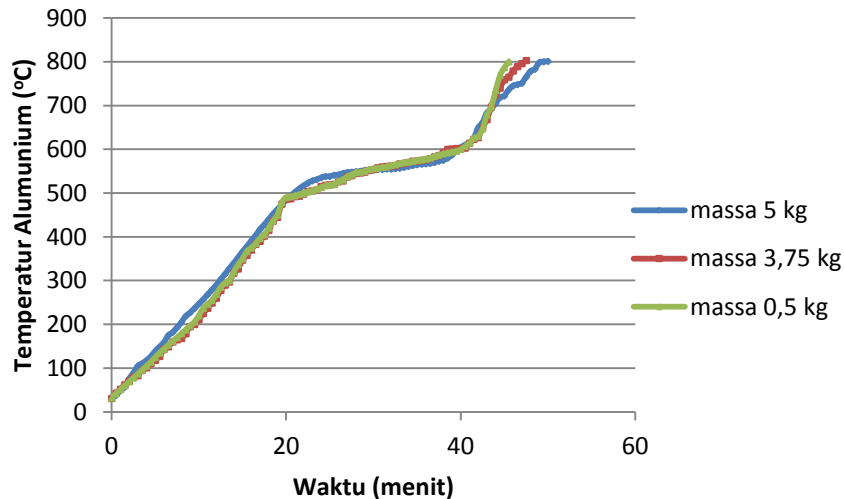
Peleburan aluminium dengan massa 5kg dengan variasi bukannya katup pada putaran 3000 rpm menunjukkan bahwa bukannya katup bahan bakar pada posisi terbuka penuh membutuhkan waktu yang paling singkat untuk mencapai temperatur 800°C yaitu 3000 detik, dan diikuti bukannya 0,75 yaitu 3870 detik dan terakhir bukannya 0,5 yaitu 5580 detik. Semakin besar bukannya katup maka  $\dot{m}_{\text{fuel}}$  pun semakin meningkat, sehingga laju aliran energi juga meningkat. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa energi kalor yang diserap logam aluminium mencapai temperatur 800°C adalah 5202 kJ, 4954.5 kJ dan 5130 kJ untuk variasi bukannya penuh, 0.75 dan 0.5.



Gambar 4. Grafik Kenaikan Temperatur Aluminium Terhadap Waktu Pada Variasi Bukaannya katup Bahan Bakar

Variasi bukaan katup bahan bakar dengan laju udara konstan menyebabkan variasi AFR. Hasil perhitungan AFR bukaan penuh, bukaan 0,75 dan bukaan 0,5 adalah 31,85:1, 42,47:1, dan 63,71:1 sedangkan AFR stoichiometri menunjukkan nilai 8,5:1. Kenaikan nilai AFR menunjukkan bahwa aliran energi per satuan waktu menurun sehingga diperlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai temperatur 800 °C. Nilai AFR optimal setiap sistem berbeda, setelah melewati titik optimal semakin tinggi nilai AFR kecenderungan sistem tidak efisien.

### 3.2.2. Grafik Pengaruh Variasi Massa Pada Bukaan Bahan Bakar Penuh dan Putaran Konstan



**Gambar 5.** Grafik Kenaikan Temperatur Aluminium Terhadap Waktu Pada Variasi Massa Aluminium

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi massa aluminium yang dilebur maka membutuhkan waktu yang lebih lama. Massa 5 kg membutuhkan waktu paling lama yaitu 3000 detik, sedangkan massa 3,75 kg membutuhkan waktu 2850 detik dan 0,5 kg membutuhkan waktu 2730 detik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa aluminium menyerap kalor 5202 kJ, 3871.12 kJ dan 2610 kJ untuk massa 5 kg, 3,75 kg dan 2,5 kg.

### 3.3. Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar per kg Aluminium

- a. Putaran 3000 rpm, Bukaan Katup Bahan Bakar Penuh, Massa 5 kg

$$\dot{m}_{\text{fuel}} = 6.72 \text{ kg/jam} = 0,00187 \text{ kg/s}$$

$$\text{Waktu} = 50 \text{ menit} = 3000 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa LPG yang dibutuhkan} &= \dot{m}_{\text{fuel}} \times \text{waktu} \\ &= 0,00187 \text{ kg/s} \times 3000 \text{ s} \\ &= 5,61 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan bahan bakar/kg aluminium} &= \text{Massa LPG yang dibutuhkan/massa total aluminium} \\ &= 5,61 \text{ kg} / 5 \text{ kg} \\ &= 1,12 \text{ kg LPG/kg aluminium} \end{aligned}$$

- b. Putaran 3000 rpm, Bukaan Katup Bahan Bakar 3/4, Massa 5 kg

$$\dot{m}_{\text{fuel}} = 0,00140 \text{ kg/s}$$

$$\text{Waktu} = 64,5 \text{ menit} = 3870 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa LPG yang dibutuhkan} &= \dot{m}_{\text{fuel}} \times \text{waktu} \\ &= 0,00140 \text{ kg/s} \times 3.870 \text{ s} \\ &= 5,43 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan bahan bakar/kg aluminium} &= \text{Massa LPG yang dibutuhkan/massa total aluminium} \\ &= 5,43 \text{ kg} / 5 \text{ kg} \\ &= 1,08 \text{ kg LPG/kg aluminium} \end{aligned}$$

- c. Putaran 3000 rpm, Bukaan Katup Bahan Bakar 1/2, Massa 5 kg

$$\dot{m}_{\text{fuel}} = 0,00093 \text{ kg/s}$$

$$\text{Waktu} = 93 \text{ menit} = 5580 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa LPG yang dibutuhkan} &= \dot{m}_{\text{fuel}} \times \text{waktu} \\ &= 0,00093 \text{ kg/s} \times 5580 \text{ s} \\ &= 5,22 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan bahan bakar/kg aluminium} &= \text{Massa LPG yang dibutuhkan/massa total aluminium} \\ &= 5,22 \text{ kg} / 5 \text{ kg} \end{aligned}$$

- = 1,04 kg LPG/kg aluminium
- d. Putaran 3000 rpm, Buka-an Katup Bahan Bakar penuh, Massa 3,75 kg  
 $\dot{m}_{fuel} = 0,00187 \text{ kg/s}$   
 Waktu = 47,5 menit = 2850 s  
 Massa LPG yang dibutuhkan =  $\dot{m}_{fuel} \times \text{waktu}$   
 =  $0,00187 \text{ kg/s} \times 2850 \text{ s}$   
 = 5,33 kg  
 Kebutuhan bahan bakar/kg aluminium = Massa LPG yang dibutuhkan/massa total aluminium  
 =  $5,22 \text{ kg} / 3,75 \text{ kg}$   
 = 1,42 kg LPG/kg aluminium
- e. Putaran 3000 rpm, Buka-an Katup Bahan Bakar 1/2, Massa 2,5 kg  
 $\dot{m}_{fuel} = 0,00187 \text{ kg/s}$   
 Waktu = 45,5 menit = 2730 s  
 Massa LPG yang dibutuhkan =  $\dot{m}_{fuel} \times \text{waktu}$   
 =  $0,00187 \text{ kg/s} \times 2730 \text{ s}$   
 = 3,82 kg  
 Kebutuhan bahan bakar/kg aluminium = Massa LPG yang dibutuhkan/massa total aluminium  
 =  $3,82 \text{ kg} / 2,5 \text{ kg}$   
 = 1,53 kg LPG/kg aluminium

Jika ditinjau kebutuhan massa bahan bakar untuk melebur per kg aluminium maka kombinasi yang paling efektif adalah massa aluminium 5 kg dengan  $\dot{m}_{fuel} = 0,00093 \text{ kg/s}$  AFR= 63,71:1 yaitu 1,04 kg LPG/kg aluminium. Penelitian Sundari (2011) menghasilkan efektifitas 0,12 kg LPG/kg aluminium maka tungku ini relatif tidak efisien. Hal itu selaras dengan perhitungan jika 1 kg LPG memiliki *High Heating Value (HHV)* =49000 kJ/kg [12] dan kalor yang dibutuhkan untuk 5130 kJ/5kg aluminium (1026kJ/kg aluminium) maka efisiensi thermal hanya 2%. Penelitian Rosen and Lee (2009), tungku peleburan berbahan bakar gas alam besarnya memiliki efisiensi 10% . Ketidakefisienan ini karena adanya banyak kebocoran panas khususnya di saluran samping sebagai tempat keluarnya logam coran (Gambar 6). Di beberapa titik juga terlihat merah menyala menunjukkan bahwa isolasi panas pada dinding kurang optimal.



Gambar 6. Kerugian kalor di saluran samping dan beberapa titik lainnya

#### 4. KESIMPULAN

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

- Tungku peleburan AMC yang telah didesain dan dibuat mampu beroperasi dengan baik dengan melebur aluminium kapasitas 5kg pada temperatur 800oC
- Tungku mampu melebur 5 kg aluminium(800oC) dalam waktu 3000 detik pada  $\dot{m}_{fuel} = 0,00187 \text{ kg/s}$  dan AFR=31,85:1, dengan efektifitas 1,12 kg LPG/kg aluminium.
- Nilai efektifitas tertinggi diperoleh 1,04 kg LPG/kg aluminium pada  $\dot{m}_{fuel} = 0,00093 \text{ kg/s}$  dan AFR=63.71 : 1 dengan waktu peleburan 5580 detik untuk mencapai temperatur 800oC.
- Hasil perhitungan nilai efisiensi thermal hanya mencapai 2%, hal ini dikarenakan banyak rugi-rugi kalor yang terjadi khususnya saluran samping yang didesain untuk mengeluarkan logam coran

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Roy, D., Basu, B., Mallick, A.B., Kumar, B.V.M., Ghosh, S., 2006. "Understanding the Unlubricated Friction and Wear Behavior of Fe-Aluminide Reinforced Al-Based in-situ Metal-Matrix Composite", *Composites: Part A* 37 1464–1472
- [2] Clyne, T.W., dan Withers, P.J.1993. "An introduction to metal-matrix composites". *UK: Cambridge University Press*.
- [3] Harrington, Jr. W.C. 1994. "Metal-matrix composite application". In: Ochiai S, editor. *Mechanical properties of metallic composites*. New York: Marcel-Dekkerp. 759–73.
- [4] Kumar, R., dan Dhiman, S., 2013. "Technical Report A study of sliding wear behaviors of Al-7075 alloy and Al-7075 hybrid composite by response surface methodology analysis". *Materials and Design* 50 351–359.
- [5] Simanjuntak, A.M., dan Abda, S., 2013. "Karakterisasi Komposit Matriks Logam Al-SiC Pada Produk Kanvas Rem Kereta Api" *Jurnal e-Dinamis*, Volume. 6, No.2
- [6] Hashim, J., Looney, L. Hashmi, M.S.J. 2002. "Particle distribution in cast metal matrix composites, Part 1", *J. Mater. Process. Technol.* 123 251–257
- [7] Nai, S.M.L., Gupta, M. 2002. "Influence of stirring speed on the synthesis of Al/SiC based functionally gradient materials" *Compos. Struct.* 57.227–233.
- [8] Prabu, S.B., Karunamoorthy, L., Kathiresan, S. Mohan, B. 2006. "Influence of Stirring Speed and Stirring Time on Distribution of Particles In Cast Metal Matrix Composite". *Journal of Materials Processing Technology* 171, 268–273
- [9] Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J., 1999. "Metal matrix composites: production by the stir casting method", *J. Mater. Process. Technol.* 92/93 1–7.
- [10] Winarno, J., 2013, Rancang Bangun Tungku Peleburan Aluminium Berbahan Bakar Padat dengan Sistem Aliran Udara Paksa, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Janabadra, Yogyakarta.
- [11] 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.
- [12] [www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx](http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx) diakses 26 Agustus 2016

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas pendanaan penelitian ini melalui skema Program Kreativitas Mahasiswa Tahun Anggaran 2016.