

Studi Eksperimental Efisiensi Peleburan Aluminium pada Tungku *Crucible*

Dede Lia Zariat¹, Ismail², Misra Jaya³

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila

Jl. Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640, Jakarta, Indonesia

³Jurusan Permesinan Kapal, Politeknik Pelayaran Banten

Jl. Raya Karang Serang No. 1, Kabupaten Tangerang 15530, Banten, Indonesia

dedeliazariat@univpancasila.ac.id

Abstrak

Letak dan jenis *burner* yang tepat dapat meningkatkan efisiensi peleburan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh letak dan jenis *burner* yang digunakan dalam proses peleburan aluminium pada tungku *crucible*. Dua posisi (di atas dan di samping) dan dua tipe *burner* (*burner* jenis 1 dan *burner* jenis 2) digunakan pada pengujian eksperimental. Langkah proses eksperimen meliputi pengujian peleburan aluminium dengan memvariasikan letak dan jenis *burner* yang digunakan, dilanjutkan penuangan logam cair ke dalam cetakan, dan diteruskan pengujian kualitas produk. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa letak *burner* di samping dan *burner* jenis 1 paling optimal dapat meleburkan aluminium dalam waktu 1,4 jam dimana aluminium mencair secara sempurna. Letak *burner* di atas dan *burner* jenis 2 aluminium tidak mencair sempurna sehingga tidak dapat dilakukan penuangan ke dalam cetakan. Kebutuhan energi peleburan aluminium yaitu sebesar 551,25 kJ dengan efisiensi tungku 39,4%. Hasil uji kualitas produk menunjukkan komposisi kimia 98,2 % unsur aluminium dan 0,434% unsur seng (Zn) serta nilai kekerasan 33,4 HB dan nilai impak 0,21 J/mm².

Kata kunci: peleburan, letak dan jenis *burner*, aluminium paduan, tungku *crucible*

Abstract

The right location and type of burner can increase melting efficiency. This research was conducted to analyze the influence of the location and type of burner used in the aluminum smelting process in a crucible furnace. Two positions (above & to the side) and two burner types (burner type 1 & burner type 2) are used in experimental testing. The steps of the experimental process include testing aluminum melting by varying the location and type of burner used, followed by pouring liquid metal into the mold and continuing product quality testing. The experimental results show that the location of the burner on the side and the type 1 burner can optimally melt aluminum within 1.4 hours of aluminum melting completely, whereas the location of the burner above and the type 2 burner aluminum does not melt completely so that pouring cannot be made into the mold. The aluminum smelting energy requirement is 551.25 kJ with 39.4% furnace efficiency, product quality test results with chemical composition 98.2% aluminum element and 0.434% zinc element (Zn) and hardness value 33.4 HB and impact value 0.21 J / mm².

Keywords: smelting, location and type of burner, aluminum alloy, crucible furnace

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri peleburan dan pengecoran logam di Indonesia saat ini masih perlu ditingkatkan. Berdasarkan data statistik dari Badan Pusat Statistik (BPS) perkembangan industri logam pada tahun 2016, 2017 dan 2018 mengalami pertumbuhan sebesar 2,35%, 6,33% dan 7,65%, setiap tahun selisih pertumbuhan industri logam terus menurun, 4% dari tahun 2016 ke tahun 2017,

sedangkan 1,27% dari tahun 2017 ke tahun 2018. Padahal Indonesia berpotensi menjadi salah satu pasar terbesar di dunia. Industri pengecoran logam berskala kecil banyak yang terkendala perkembangannya, disebabkan oleh dapur peleburan logam yang tersedia di pasaran sangat mahal harganya dan susah untuk didapatkan karena harus diimpor dari luar negeri. Pemilihan jenis dapur yang digunakan harus sesuai dengan jenis logam yang dipilih dan juga sesuai dengan produk

yang diinginkan. Jenis dan klasifikasi dapur peleburan yang saat ini berkembang diantaranya adalah dapur *crucible*, dapur kupola, dapur busur listrik, dapur induksi, dapur konverter, dan dapur Thomas dan Bessemer. Bahan bakar yang digunakan juga beragam diantaranya batu bara, bahan bakar minyak, listrik, arang, bahkan bahan bakar berbentuk gas. Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi peleburan logam di antaranya adalah laju perpindahan panas atau banyaknya energi panas yang dibutuhkan pada saat proses peleburan. Perpindahan panas merupakan bentuk kalor yang berpindah dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah. Proses peleburan logam perpindahan panas merambat secara konduksi melewati *burner* di dalam ruang bakar pada tungku. Selain itu banyaknya panas yang dibutuhkan berpengaruh juga terhadap bahan bakar yang digunakan, pelapis dinding ruang bakar dan bahan penutup ruang bakar.

Penelitian sebelumnya Amir Zaki Mubarak [1] membangun tungku peleburan logam menggunakan bahan bakar gas LPG, letak *burner* di bagian bawah ruang bakar dan jenis *burner* standar kompor gas. Hasil penelitian diperoleh logam aluminium dapat melebur akan tetapi tidak mencair secara sempurna dan untuk mencairkan aluminium dengan *melting point* sekitar 660°C membutuhkan waktu 2 sampai 3 jam. Yuliyanti [2] merancang dan membuat dapur *crucible* berbahan bakar gas LPG, letak *burner* di samping ruang bakar dan jenis *burner* adalah *horng min burner* 3000 rpm. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan tungku 95 % dengan putaran *burner* 2000 rpm.

Ella Sundari [3] merancang dan membuat dapur *crucible* berbahan bakar gas LPG, letak *burner* di samping ruang bakar dan jenis *burner nozzle* las gas asetilin. Dari hasil uji coba untuk melebur *aluminium scrap* seberat 30 kg secara sempurna diperlukan waktu 1 jam 37 menit dan bahan bakar yang digunakan adalah 3,60 kg dan efisiensi peleburan hanya 20 %. Ekpe E. Esor dkk [4], merancang dan fabrikasi tungku peleburan logam menggunakan bahan bakar gas butana, letak *burner* di samping ruang bakar dan jenis *burner nozzle* las gas asetilin. Hasil perhitungan menunjukkan efisiensi peleburan hanya 28,24 %. Nukman dkk [5], menganalisis kesetimbangan energi di dalam ruang bakar dapur *crucible* berbahan bakar batu bara, letak *burner* di samping ruang bakar dan jenis *burner nozzle* las gas asetilin. Hasil perhitungan menunjukkan efisiensi peleburan hanya 23,38 %. Konstantinos Salonitis, dkk [6] menganalisis *pre-heating* tungku dan *pre-heating* bahan uji, banyaknya bahan bakar, kebutuhan panas dan waktu lelehan adalah bagian dari faktor-faktor

untuk meningkatkan efisiensi energi dalam proses peleburan logam. Xinhua Liu, dkk [7], melakukan eksperimen dan analisis hasil peleburan tembaga melalui pengujian struktur mikro, terlihat terbentuknya pori-pori hasil coran tembaga, besar dan kecil pori-pori bergantung pada tinggi atau rendahnya suhu pengecoran. Ji-ming Wang, dkk [8] melakukan analisis pengaruh letak sudut *burner* pada tungku peleburan logam, dengan melakukan simulasi lalu membandingkan dengan hasil eksperimen yang sudah dilakukan sebelumnya. Amir, dkk [9] membuat tungku *crucible* menggunakan bahan bakar gas LPG, letak *burner* di bagian samping ruang bakar dan jenis *burner* pipa gas LPG. Untuk meleburkan 2 kg aluminium selama 60 menit proses peleburan membutuhkan 1,965 kg bahan bakar dan efisiensi peleburan hanya 24 %. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Arianto Leman S, dkk [10] dengan letak *burner* di samping dan jenis *burner* (*gas burner*), mampu memperbaiki performa tungku dan meningkatkan suhu dalam tungku serta meningkatkan efisiensi proses peleburan, dalam 60 menit membutuhkan 2,6 kg gas LPG.

Pada penelitian di atas [2]-[5] dan [8]-[10] posisi *burner* diletakkan pada posisi di samping, sehingga belum diketahui kinerja apabila *burner* diletakkan di atas, pada penelitian [8] *burner* memiliki sudut injeksi $\alpha < 90^{\circ}$, $\alpha = 90^{\circ}$ dan $\alpha > 90^{\circ}$ hasilnya *burner* dengan sudut injeksi $\alpha = 90^{\circ}$ lebih optimal. Pada penelitian ini, awalnya letak *burner* divariasikan di atas dan di samping. Kemudian dilanjutkan memvariasikan jenis *burner*, *burner* jenis 1 dan *burner* jenis 2. Beda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh letak dan jenis *burner* yang digunakan dalam proses peleburan aluminium pada tungku *crucible* untuk meningkatkan efisiensi peleburan yang dilakukan dengan eksperimental.

II. METODE PENELITIAN

A. Deskripsi Model Numerik

Efisiensi peleburan diperoleh secara matematik berdasarkan deskripsi model numerik di bawah ini. Jumlah panas atau kalor yang diperlukan dalam peleburan aluminium dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1, 2, 3 dan 4 [3].

$$Q_A = m_{al} \cdot c_{p1} \cdot \Delta T_1 \quad (1)$$

$$Q_B = m_{al} \cdot h \quad (2)$$

$$Q_C = m_{al} \cdot c_{p2} \cdot \Delta T_2 \quad (3)$$

$$Q_{lebur} = Q_A + Q_B + Q_C \quad (4)$$

dengan Q_A merupakan kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur aluminium padat dari suhu kamar hingga mencapai titik cair aluminium, Q_B adalah kalor yang dibutuhkan untuk merubah fase aluminium padat menjadi cair, dan Q_C merupakan kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur aluminium cair ke temperatur penuangan. Sedangkan m_{al} merupakan massa aluminium yang akan dilebur kg, c_{p1} adalah panas jenis aluminium padat, c_{p2} adalah panas jenis aluminium cair, h merupakan panas laten aluminium, ΔT_1 adalah perubahan suhu kamar ke titik cair aluminium, dan ΔT_2 merupakan perubahan suhu dari fase aluminium padat menjadi cair. Bahan tahan api yang digunakan adalah *cemen castable* yang merupakan isolasi yang tahan panas hingga suhu 1400°C . Kalor yang diterima *castable* dapat dihitung menggunakan persamaan 5 dan 6 [3].

$$Q_{castable} = m_c \cdot c_{p3} \cdot \Delta T_3 \quad (5)$$

$$m_c = \frac{\pi}{4} (D_{lc}^2 - D_{dc}^2) t_c \cdot \rho \quad (6)$$

dengan m_c merupakan massa *castable* yang menerima panas, D_{lc} adalah diameter luar *castable*, D_{dc} diameter dalam *castable*, t_c merupakan tinggi *castable* yang menerima panas, ρ adalah massa jenis *castable*, c_{p3} adalah panas jenis *castable* dan ΔT_3 merupakan perubahan suhu *castable*. Bahan isolasi yang digunakan adalah *insulating castable* yang tahan terhadap panas dengan suhu 1400°C . Kalor yang diterima *insulating castable* dapat dihitung menggunakan persamaan 7 dan 8 [3].

$$m_{ic} = \frac{\pi}{4} (D_{lic}^2 - D_{dic}^2) t_{ic} \cdot \rho \quad (7)$$

$$Q_{insulating} = m_{ic} \cdot c_{p5} \cdot \Delta T_5 \quad (8)$$

dengan m_{ic} merupakan massa *insulating*, c_{p4} panas jenis *insulating*, ΔT_4 perubahan suhu *insulating*, D_{lic} adalah diameter luar *insulating*, D_{dic} diameter dalam *insulating*, t_{ic} adalah tinggi *insulating* yang menerima panas dan ρ merupakan massa jenis *insulating*. Maka besarnya kalor tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan 9 dan 10 [3].

$$Q_{pelat\ luar} = m_{pl} \cdot c_{p5} \cdot \Delta T_5 \quad (9)$$

$$m_{pl} = \pi \cdot D_{pl} \cdot t_{pl} \cdot \rho \quad (10)$$

dengan m_{pl} merupakan massa pelat luar, c_{p5} adalah panas jenis pelat luar, D_{pl} diameter plat luar, t_{pl} adalah tinggi pelat luar yang mengalami perubahan suhu, ρ massa jenis dinding pelat dan ΔT_5 merupakan perubahan suhu dinding pelat. Penutup tungku atau pelat atas cukup banyak menyerap

banyak panas di bagian atas tungku dapat dicari menggunakan persamaan 11 dan 12 [3].

$$Q_{tutup} = m_{pa} \cdot c_{p6} \cdot \Delta T_6 \quad (11)$$

$$m_{pa} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{pa}^2 \cdot x_{pa} \cdot \rho \quad (12)$$

dengan m_{pa} merupakan massa pelat atas, c_{p6} adalah panas jenis pelat atas, ΔT_6 perubahan suhu pelat atas, D_{pa} adalah diameter pelat atas, x_{pa} ketebalan pelat atas dan ρ merupakan massa jenis pelat atas. Banyaknya kalor total adalah jumlah kalor yang diserap oleh bahan tungku, dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 13 [3].

$$Q_{tot} = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (13)$$

dengan $Q_{castable}$ merupakan kalor yang diserap *castable*, $Q_{insulating}$ adalah kalor yang diserap *insulating*, $Q_{dinding\ plat\ luar}$ kalor yang diserap dinding plat luar dan $Q_{tutup\ atas}$ merupakan kalor yang diserap pelat atas. Efisiensi tungku dapat ditentukan dengan mengukur jumlah panas yang diserap oleh bahan tungku dengan menggunakan Persamaan 14 [3].

$$Efisiensi = \frac{\text{Panas dalam kowi}}{\text{Panas total} \times \text{waktu peleburan}} \times 100\% \quad (14)$$

B. Tahapan Penelitian

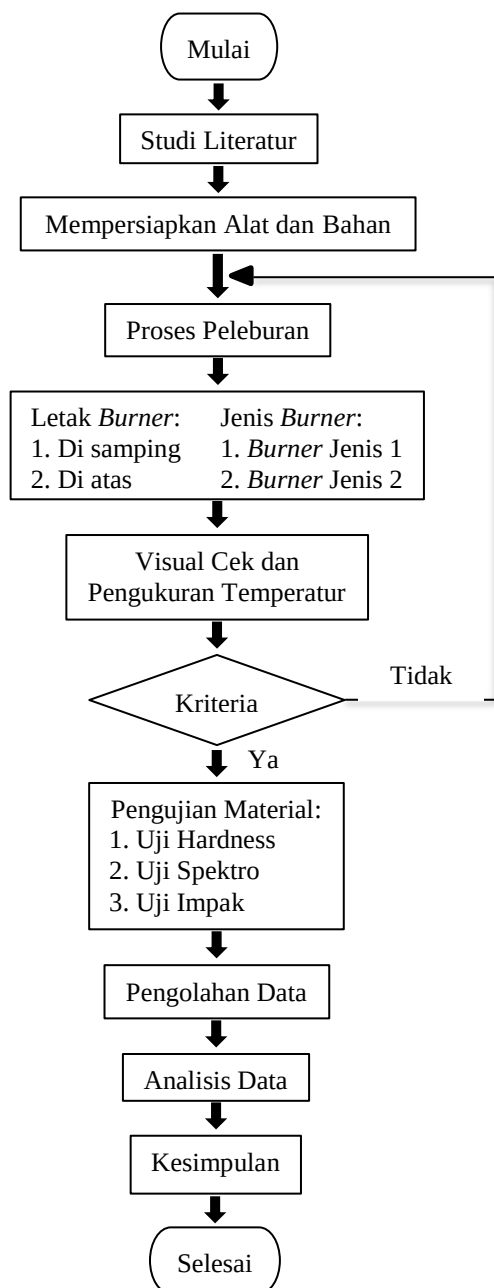
Langkah proses penelitian meliputi pengujian peleburan Aluminium dengan memvariasikan letak dan jenis *burner* pada Tungku *Crucible*, dilanjutkan dengan penuangan hasil peleburan ke dalam cetakan dan didinginkan pada suhu kamar, selanjutnya dilakukan pengujian kualitas hasil peleburan. Adapun diagram alir penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.

C. Tungku Peleburan

Tungku peleburan yang digunakan adalah tungku *crucible* yang berkapasitas 5 Kg cairan aluminium dan berbahan bakar gas LPG. Tungku dapat bekerja pada temperatur maksimum 1400°C . Pada penelitian ini letak dan jenis *burner* menjadi variabel bebas atau divariasikan. Letak *burner* akan divariasikan di samping dan di atas.

D. Alat Bakar

Dua jenis *burner* yang digunakan pada penelitian ini, *burner* jenis 1 dan *burner* jenis 2 dapat dilihat pada Gambar 2a dan 2b.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Spesifikasi *burner* jenis 1: termasuk *burner* tekanan tinggi (*high pressure*) yang terbuat dari material besi cor/besi tuang/babet dengan sistem api secara manual/sulut korek. Diameter kepala 60 mm, dengan dimensi panjang 48 cm, lebar 7 cm dan tinggi 7 cm, serta massa *burner* 3 kg. Sedangkan spesifikasi *burner* jenis 2: termasuk *burner* tekanan sedang (*medium pressure*), dengan sistem api secara manual/sulut korek. Diameter kepala 60 mm, dengan dimensi panjang 100 cm dan massa *burner* 2 kg.



Gambar 2. *Burner* jenis 1 (a) *burner* jenis 2 (b)

E. Alat Pengukuran dan Pengujian

Pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran temperatur, massa aluminium, dan waktu peleburan. Sedangkan pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan, pengujian ketangguhan (impak) dan pengujian komposisi kimia. Pengukuran temperatur menggunakan termometer non kontak atau *infrared termometers SANFIX IT-1500* yang telah dikalibrasi. Termometer non kontak mempunyai dua laser deteksi sehingga dapat mengukur distribusi temperatur beberapa titik, baik dinding-dinding, ruang bakar maupun cairan aluminium. Termometer non kontak dapat mengukur temperatur maksimum 1500⁰C dan dengan keakurasian $\pm 1,0^0\text{C}$ (1,8⁰F). Pengukuran massa aluminium menggunakan timbangan digital *CAMRY EK3650* dengan tingkat keakurasian mencapai 1 gram.

Sedangkan pengukuran waktu menggunakan *Stopwatch CASIO HS-3* dengan tingkat keakurasian 99,99%. Pengujian Kekerasan menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell Hardness Tester* model HR-150A dengan tingkat keakurasian 0,5 HR. Pengujian ketangguhan dilakukan menggunakan alat uji impact merk *Hung Ta tipe HT-8041A* model HC-30, dengan kapasitas 30 Kg.m. Sedangkan pengujian komposisi kimia menggunakan alat uji spektro merk *Oxford Instruments* model *Foundry Master Xline* dengan tingkat resolusi/keakurasian optik mencapai 13 pm/pixel.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Peleburan

Proses pengujian peleburan menggunakan tungku *crucible* dengan berbahan bakar LPG. Material yang dilebur adalah Aluminium paduan,

setiap proses peleburan Aluminium yang dilebur sebanyak 0,5 kg. Pengujian peleburan dilakukan dengan memvariasikan letak *burner* di samping dan di atas serta *burner* jenis 1 dan *burner* jenis 2. Hasil pengukuran pengujian untuk masing-masing posisi *burner* adalah seperti terdapat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengukuran suhu pada proses peleburan dengan letak *burner* di samping

Burner Jenis 1			
No.	Temperatur Tungku (°C)	Temperatur aluminium (°C)	Waktu Peleburan (detik)
1	200	35	0
2	375	300	240
3	488	400	420
4	595	500	600
5	678	600	720
6	780	700	1.080
7	970	820	5.100
Burner Jenis 2			
1	263	35	0
2	358	300	120
3	457	400	240
4	550	500	420
5	638	600	600
6	774	700	1.300
7	898	810	6.540

Tabel 2. Hasil pengukuran suhu pada proses peleburan dengan Letak *burner* di atas

Burner Jenis 1			
No.	Temperatur Tungku (°C)	Temperatur Aluminium (°C)	Waktu Peleburan (detik)
1	200	30	0
2	371	300	60
3	420	400	180
4	482	500	420
5	570	600	780
6	710	700	2.220
7	806	800	11.400
Burner Jenis 2			
1	420	35	0
2	430	300	60
3	435	400	120
4	460	500	240
5	544	600	460
6	624	700	8.700
7	600	640	20.040

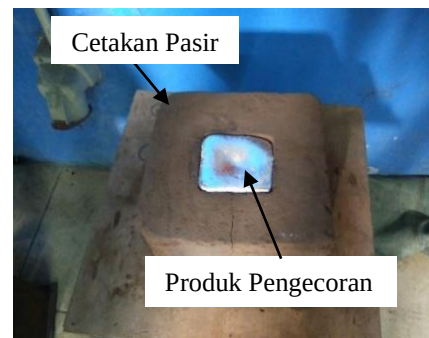
B. Penuangan Hasil Peleburan

Setelah aluminium mencair di dalam tungku dilakukan proses penuangan cairan aluminium ke dalam cetakan seperti ditunjukkan Gambar 3. Cetakan yang digunakan adalah cetakan pasir (*sand casting*), setelah proses penuangan selanjutnya proses pendinginan hasil pengecoran. Proses pendinginan hasil pengecoran dilakukan suhu kamar 25°C.

Pada saat proses peleburan benda uji 2 dengan letak *burner* di atas dan *burner* jenis 2, hasil peleburan tidak dapat dilakukan penuangan ke dalam cetakan. Hal ini karena temperatur cairan aluminium terus menurun dan cairan aluminium kembali membeku di dalam tungku *crucible* seperti dapat dilihat pada Gambar 4. Oleh karena itu, benda uji 2 tidak dilakukan visual cek dan uji kualitas produk.

C. Pengujian Kualitas

Langkah selanjutnya dilakukan visual cek terhadap hasil pengecoran yang sudah dingin untuk melihat hasil pengecoran secara fisiknya ada cacat atau tidak, kalau secara visual hasil pengecoran tidak cacat, maka dilanjutkan dengan pengujian kualitas hasil pengecoran. Pengujian kualitas hasil pengecoran dilakukan beberapa pengujian, di antaranya uji kekerasan untuk melihat nilai kekerasan pada benda uji hasil peleburan dan pengecoran, uji spektro (komposisi kimia) untuk mengetahui unsur apa saja yang terdapat dalam aluminium yang dileburkan dan uji impak untuk melihat keuletan dari ketangguhan benda uji hasil peleburan dan pengecoran.



Gambar 3. Hasil penuangan cairan aluminium



Gambar 4. Hasil peleburan benda uji 2

D. Proses Peleburan

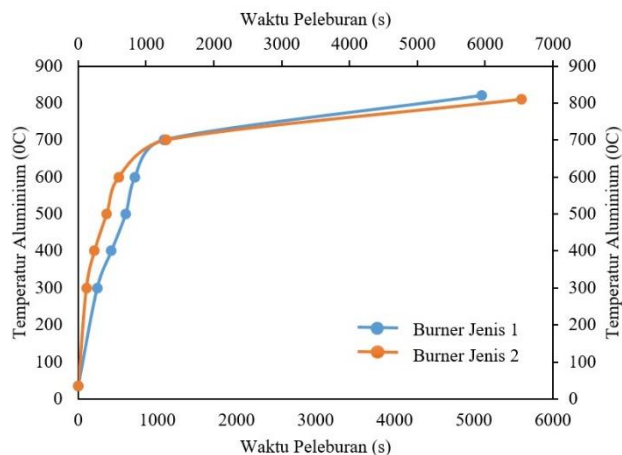
Gambar 5 adalah grafik distribusi temperatur dan waktu peleburan aluminium, pada grafik dapat dilihat perubahan temperatur sebanding dengan bertambahnya waktu peleburan, waktu peleburan aluminium relatif lebih singkat sebesar 1,4 jam ketika menggunakan *burner* jenis 1 dengan letak *burner* di samping dari pada menggunakan *burner* jenis 2 yang mencapai waktu peleburan 1,8 jam pada letak *burner* yang sama. Dapat disimpulkan bahwa letak *burner* di samping dan *burner* jenis 1 lebih optimal untuk meningkatkan efisiensi peleburan aluminium.

Gambar 6 adalah grafik distribusi temperatur dan waktu peleburan aluminium, pada grafik dapat dilihat perubahan temperatur sebanding dengan bertambahnya waktu peleburan, waktu peleburan aluminium relatif lebih singkat sebesar 3,2 jam ketika menggunakan *burner* jenis 1 dengan letak *burner* di atas dari pada menggunakan *burner* jenis 2 yang mencapai waktu peleburan 5,6 jam pada letak *burner* yang sama.

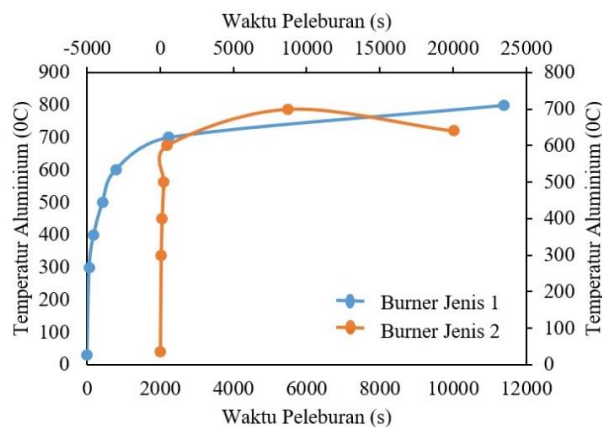
Ketika menggunakan *burner* jenis 1 aluminium mencair tidak sempurna, tetapi bisa dilakukan penuangan ke dalam cetakan. Sebaliknya menggunakan *burner* jenis 2 aluminium juga mencair tidak sempurna dan tidak dapat dilakukan penuangan ke dalam cetakan. Dapat disimpulkan bahwa letak *burner* di atas menggunakan *burner* jenis 1 lebih optimal untuk meningkatkan efisiensi peleburan aluminium. Berdasarkan pada model numerik dari (1) sampai (14) hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan kebutuhan energi, kerugian total energi dan efisiensi tungku. Pada letak *burner* di samping dan menggunakan *burner* jenis 1 diperoleh kebutuhan energi untuk meleburkan aluminium sebesar 551,25 kJ dengan efisiensi tungku 39,4 % artinya ada kerugian panas sebesar 999,44 kJ/h. Sebaliknya pada letak *burner* yang sama tapi jenis *burner* yang berbeda (*burner* jenis 2) didapat 546,75 kJ dengan efisiensi tungku 30,5 % dan kerugian panas total 998,31 kJ/h. Sedangkan pada letak *burner* di atas

dan menggunakan *burner* jenis 1 diperoleh kebutuhan energi untuk meleburkan aluminium sebesar 542,25 kJ dengan efisiensi tungku 17 % artinya ada kerugian panas sebesar 1004,04 kJ/h. Sebaliknya pada letak *burner* yang sama tapi jenis *burner* yang berbeda (*burner* jenis 2) didapat 497,25 kJ dengan efisiensi tungku 11 % dan kerugian panas total 805 kJ/h.



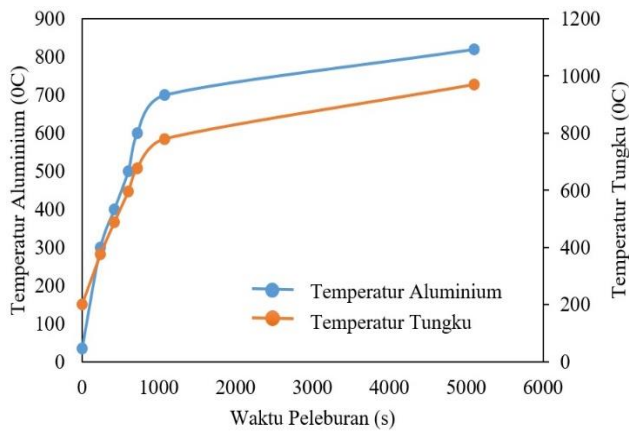
Gambar 5. Grafik distribusi temperatur dan waktu peleburan aluminium dengan letak *burner* di samping menggunakan *burner* jenis 1 dan *burner* jenis 2



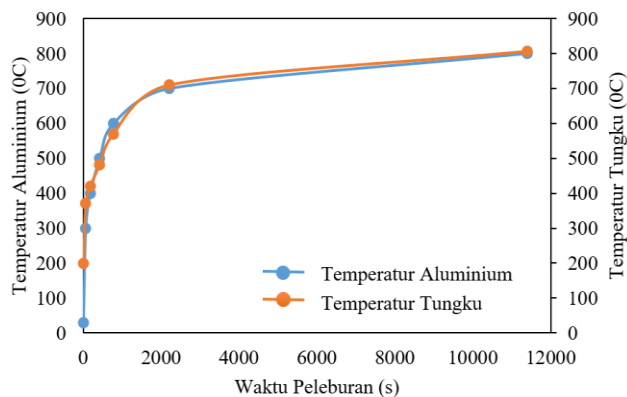
Gambar 6. Grafik distribusi temperatur dan waktu peleburan aluminium dengan letak *burner* di atas menggunakan *burner* jenis 1 dan *burner* jenis 2

Tabel 3. Hasil perhitungan kebutuhan energi, kerugian panas dan efisiensi tungku

No	Letak dan Jenis <i>Burner</i>	Kebutuhan Energi (kJ)	Kerugian Panas Total (kJ/h)	Efisiensi Tungku (%)
1	Di samping dan <i>burner</i> jenis 1	551,25	999,44	39,40
2	Di samping dan <i>burner</i> jenis 2	546,75	998,31	30,50
3	Di atas dan <i>burner</i> jenis 1	542,25	1004,04	17,00
4	Di atas dan <i>burner</i> jenis 2	497,25	805,00	11,00



Gambar 7. Grafik perubahan temperatur aluminium, temperatur tungku dan waktu peleburan dengan letak burner di samping dan burner jenis 1



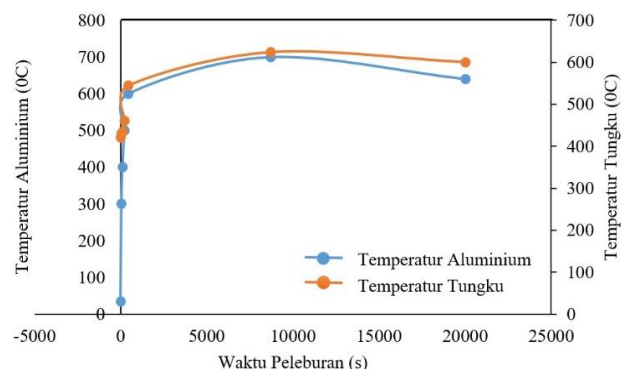
Gambar 8. Grafik perubahan temperatur aluminium, temperatur tungku dan waktu peleburan dengan letak burner di atas serta burner jenis 1.

Gambar 7 adalah grafik perubahan temperatur aluminium, temperatur tungku, dan waktu peleburan aluminium dengan letak burner di samping menggunakan burner jenis 1. Waktu peleburan aluminium mencapai 5100 detik (1,4 jam) dengan temperatur peleburan 820°C aluminium mencair sempurna. Di samping waktu peleburan yang relatif singkat juga terdapat perbedaan temperatur yang signifikan antara temperatur aluminium dan temperatur tungku, seperti pada saat temperatur aluminium mencapai 820°C temperatur tungku mencapai 970°C dengan selisih 150°C, hal ini disebabkan karena semburan api gas LPG secara langsung menuju ke dinding tungku. Pada mulanya temperatur aluminium lebih rendah dibandingkan dengan temperatur tungku, namun dalam waktu 240 detik temperatur aluminium sudah lebih tinggi dari pada temperatur tungku, dapat dilihat pada Gambar 9. Dengan perbedaan yang signifikan antara temperatur tungku dan temperatur aluminium membuat proses pelelehan aluminium lebih cepat. Sedangkan banyaknya bahan bakar gas yang dihabiskan pada proses peleburan 0,5 kg aluminium

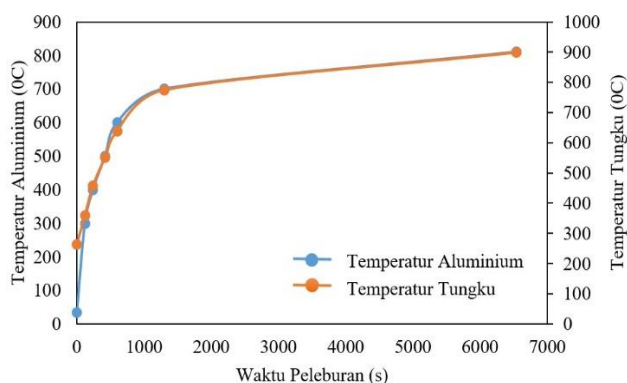
kurang lebih 1 kg gas LPG dan kebutuhan energi untuk peleburan sebesar 551,25 kJ.

Gambar 8 adalah grafik perubahan temperatur aluminium, temperatur tungku dan waktu peleburan dengan letak burner di atas serta burner jenis 1. Untuk meleburkan 0,5 kg aluminium diperlukan waktu 11.400 detik atau sebanding dengan 3,2 jam pada temperatur aluminium 800°C, itupun aluminium mencair tidak sempurna tetapi tetap bisa dilakukan pengecoran, artinya masih terdapat gumpalan-gumpalan pada dasar cawan tungku. Karena semburan api gas LPG langsung mengenai aluminium tidak ke dinding tungku, hal ini mengakibatkan perbedaan temperatur antara dinding tungku dan aluminium tidak signifikan, seperti pada saat temperatur aluminium 800°C temperatur tungku hanya 806°C hanya selisih 6°C saja. Kondisi ini menyebabkan proses peleburan aluminium menjadi lebih lama dan pemakaian bahan bakarpun lebih besar mencapai 1,5 kg gas LPG serta kebutuhan energi untuk peleburan sebesar 542,25 kJ. Sama halnya dengan Gambar 6, pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa waktu peleburan aluminium sebanding dengan temperatur aluminium, semakin tinggi temperatur aluminium maka waktu peleburan aluminium pun semakin meningkat.

Gambar 9 adalah grafik perubahan temperatur aluminium, temperatur tungku dan waktu peleburan dengan letak burner di atas serta burner jenis 2. Untuk meleburkan 0,5 kg aluminium diperlukan waktu 20.040 detik atau sebanding dengan 5,6 jam pada temperatur aluminium 640°C, aluminium hanya meleleh, artinya setelah meleleh aluminium kembali padat karena temperatur tungku terjadi penurunan secara signifikan. Seperti pada kondisi Gambar 9, semburan api gas LPG langsung mengenai aluminium tidak ke dinding tungku, hal



Gambar 9. Grafik perubahan temperatur aluminium, temperatur tungku, dan waktu peleburan dengan letak burner di atas serta burner jenis 2



Gambar 10. Grafik perubahan temperatur aluminium, temperatur tungku, dan waktu peleburan dengan letak burner di samping dan burner jenis 2

Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan Brinell

No.	Benda uji	Kekerasan HB					Kekerasan rata-rata
		1	2	3	4	5	
1	1	25	34	50	33	25	33,4
2	3	27	41	26	28	33	30,8
3	4	24	26	44	28	24	29,2

ini mengakibatkan perbedaan temperatur antara dinding tungku dan aluminium tidak signifikan, seperti pada saat temperatur aluminium 640°C temperatur tungku hanya 600°C hanya selisih 40°C saja dan temperatur tungku lebih rendah dari pada temperatur aluminium. Kondisi ini juga menyebabkan proses peleburan aluminium menjadi lebih lama dan pemakaian bahan bakarpun lebih besar mencapai 1,3 kg gas LPG dan kebutuhan energi untuk peleburan sebesar 497,25 kJ.

Gambar 10 adalah grafik perubahan temperatur aluminium, temperatur tungku dan waktu peleburan dengan letak burner di samping serta burner jenis 2. Pada kondisi ini waktu peleburan aluminium mencapai 6.540 detik atau sebanding dengan 1,8 jam dengan temperatur peleburan 810°C aluminium mencair secara sempurna. Di samping waktu peleburan yang relatif singkat juga terdapat perbedaan temperatur yang cukup besar antara temperatur aluminium dan temperatur tungku, seperti pada saat temperatur aluminium mencapai 810°C temperatur tungku mencapai 898°C dengan selisih 88°C , hal ini disebabkan karena semburan api gas LPG secara langsung menuju ke dinding tungku. Pada mulanya temperatur aluminium lebih rendah dibandingkan dengan temperatur tungku, namun dalam waktu 120 detik temperatur aluminium sudah lebih tinggi dari pada temperatur tungku, seperti terlihat pada Gambar 10. Dengan perbedaan yang cukup besar antara temperatur tungku dan temperatur aluminium membuat proses pelelehan aluminium lebih cepat. Sedangkan banyaknya bahan bakar gas yang dihabiskan pada

proses peleburan 0,5 kg aluminium kurang lebih 1 kg gas LPG dan kebutuhan energi untuk peleburan sebesar 546,75 kJ.

Pada Gambar 12 di atas dapat dilihat bahwa waktu peleburan aluminium sebanding dengan temperatur aluminium, semakin tinggi temperatur aluminium maka waktu peleburan aluminiumpun semakin meningkat. Kondisi Gambar 10 sama dengan Gambar 6 hanya saja jenis burner yang pakai berbeda, tetapi letak burner sama yaitu di samping tungku.

B. Hasil Uji Kualitas Produk

Setelah aluminium mencair di dalam tungku dilakukan proses penuangan cairan aluminium ke dalam cetakan. Cetakan yang digunakan adalah cetakan pasir (*sand casting*), setelah proses penuangan selanjutnya proses pendinginan hasil peleburan. Proses pendinginan hasil peleburan dilakukan pada suhu kamar 25°C . Setelah benda uji dingin barulah dilakukan pengujian kualitas terhadap benda uji. Sebelum dilakukan uji kualitas, benda uji terlebih dahulu dilakukan visual cek, secara fisik ada cacat atau tidak. Setelah visual cek dilanjutkan pengujian kualitas hasil peleburan, di antaranya uji kekerasan untuk melihat nilai kekerasan pada benda uji hasil peleburan, uji spektro (komposisi kimia) untuk mengetahui unsur apa saja yang terdapat dalam aluminium yang dileburkan dan uji impak untuk melihat keuletan dari ketangguhan dari benda uji hasil peleburan. Benda uji terdiri dari: benda uji 1 (letak burner di samping dan burner jenis 1), benda uji 3 (letak burner di atas dan burner jenis 1), dan benda uji 4 (letak burner di samping dan burner jenis 2), sedangkan benda uji 2 (letak burner di atas dan burner jenis 2) tidak dapat dilakukan uji kualitas produk.

Pengujian kekerasan produk menggunakan metode *brinell* dengan indenter bola baja 1/16 inch dan beban 60 kg. Tabel 4 memperlihatkan nilai kekerasan masing-masing benda uji, nilai kekerasan rata-rata tertinggi adalah benda uji 1 dengan letak burner di samping dan burner jenis 1 besarnya rata-rata kekerasan 33,4 HB.

Pengujian spektro adalah untuk menentukan komposisi kimia di dalam benda uji hasil peleburan dan pengecoran.

Tabel 5. Hasil pengujian spektro

No	Unsur	Banyaknya (%)		
		Benda Uji 1	Benda Uji 3	Benda Uji 4
1	Al	98,200	98,200	98,200
2	Si	0,1610	0,1840	0,3800
3	Fe	0,3180	0,4040	0,3810
4	Cu	0,3270	0,2760	0,1620
5	Mn	0,0187	0,0763	0,0671
6	Mg	0,0697	0,5940	0,4780
7	Zn	0,4340	0,1130	0,1100
8	Cr	0,0024	0,0394	0,0355
9	Ni	0,0103	0,0078	0,0149
10	Ti	0,0170	0,0132	0,0214
11	Be	0,0002	0,0002	0,0002
12	Ca	0,0106	0,0100	0,0080
13	Li	0,0001	0,0001	0,0001
14	Pb	0,0143	0,0032	0,0049
15	Sn	0,0523	0,0065	0,0162
16	Sr	0,0002	0,0002	0,0002
17	V	0,0097	0,0091	0,0119
18	Na	0,0025	0,0020	0,0005
19	Bi	0,0050	0,0050	0,0050
20	Zr	0,0024	0,0023	0,0065
21	B	0,0021	0,0012	0,0025
22	Ga	0,0120	0,0135	0,0127
23	Cd	0,0010	0,0010	0,0010
24	Co	0,0030	0,0030	0,0030
25	Ag	0,0010	0,0010	0,0010
26	Hg	0,0190	0,0030	0,0030
27	In	0,0107	0,0100	0,0072
28	Sb	0,3390	0,0599	0,1070
29	Ce	0,0023	0,0010	0,0010
30	La	0,0048	0,0010	0,0010
31	Mo	0,0051	0,0047	0,0044
32	Sc	0,0020	0,0020	0,0020

Tabel 6. Hasil pengujian impact

No	Benda Uji	Nilai Impact
1.	Benda Uji 1	0,21
2.	Benda Uji 3	0,12
3.	Benda Uji 4	0,19

Tabel 5 menjelaskan hasil pengujian komposisi kimia atau uji spektro. Ketiga benda uji 1 unsur aluminium (Al) paling banyak besarnya 98,2% dan unsur seng (Zn) 0,434%, benda uji 3 unsur aluminium (Al) paling banyak besarnya 98,2% dan unsur Magnesium (Mg) sebesar 0,594%, serta benda uji 4 unsur aluminium (Al) paling banyak besarnya 98,2% dan unsur Magnesium (Mg) 0,478%. Jadi dapat disimpulkan bahwa benda uji 1 adalah aluminium paduan Seng (AlZn), benda uji 3 adalah aluminium paduan Magnesium (AlMg) dan benda uji 4 adalah paduan aluminium dengan Magnesium (AlMg).

Pengujian impact adalah untuk mengetahui harga impact suatu bahan yang diakibatkan oleh gaya kejut. Tabel 6 memperlihatkan Harga Impact (HI) masing-masing benda uji, harga impact tertinggi adalah benda uji 1 dengan letak *burner* di samping & *burner* jenis 1 besarnya harga impact adalah 0,21 joule/mm.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa letak dan jenis burner yang paling optimal untuk meningkatkan efisiensi peleburan pada tungku *crucible* adalah di samping dan *burner* jenis 1. Dengan letak *burner* di samping dan *burner* jenis 1 didapat besarnya energi panas yang dibutuhkan untuk meleburkan aluminium secara sempurna (merata) sebesar 551,25 kJ dengan efisiensi tungku sebesar 39,4 % dan lamanya proses peleburan 1,4 jam. Sedangkan hasil uji kualitas produk seperti uji spektro didapat 98,2 % unsur aluminium (Al) dan 0,434 % (Zn) unsur seng (Zn), uji kekerasan didapat 33,4 kekerasan HB dan 0.21 J/mm² untuk uji impact atau ketangguhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan keuangan dari hibah penelitian tim pascasarjana Universitas Pancasila dari nomor hibah: 003/SP2H/DRPM/II/2016 dan 214/SP2H/LT/DRPM/III/2016 dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A. Z. Mubarak, "Perancangan dan Pembuatan Dapur Peleburan Logam dengan Menggunakan Bahan Bakar Gas (LPG)," *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*, vol. 1, no. 3, pp. 128-132, (2013).
- [2] Y. Yulianti and A. F. H. Mukhammad, "Rancang Bangun Tungku Peleburan Aluminium Skala Laboratorium," *Tugas Akhir Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*, 2016.

- [3] E. Sundari, "Rancang Bangun Dapur Peleburan Aluminium Bahan Bakar Gas," *AUSTENIT*, vol. 3, no. 1, 2011.
- [4] E. E. Esor, Y. S. Babtunde, A. Felix, and F. O. Mustapha, "Design and Fabrication of Aluminium Melting Furnace using Locally Available Materials," *Journal of Scientific and Engineering Research*, vol. 2, no. 3, 2015.
- [5] N. Nukman, A. Mataram, and I. Yani, "Peleburan Scrap Aluminium pada Tungku Krusibel berbahan Bakar Batubara Hasil Proses Aglomerasi Air-Minyak Sawit," *Mechanical*, vol. 6, no. 1, 2015.
- [6] K. Salonitis, M. Jolly, and B. Zeng, "Simulation based energy and resource efficient casting process chain selection: A case study," *Procedia Manufacturing*, vol. 8, pp. 67-74, 2017.
- [7] X. Liu, X. Li, Y. Jiang, and J. Xie, "Effect of casting temperature on porous structure of lotus-type porous copper," *Procedia Engineering*, vol. 27, pp. 490-501, 2012.
- [8] J. M. Wang, X. U. Peng, H. J. Yan, J. M. Zhou, S. X. Li, G. C. Gui, and W. K. Li, "Burner effects on melting process of regenerative aluminum melting furnace," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 23, no. 10, pp. 3125-3136, 2013.
- [9] A. Amir, Y. Sushendi, and A. Budiman, "Proses Pembuatan Tungku Krusibel dan Peleburan Aluminium 2 kg/jam Menggunakan Bahan Bakar Gas LPG," *Prosiding KITT (Konferensi Ilmiah Teknologi Texmaco)*, vol. 1, 2018.
- [10] A. L. Soemowidagdo, "Tungku Krusibel dengan Economizer untuk Praktik Pengecoran di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT UNY," *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, vol. 2, no. 1, 2017.