

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS TUNGKU KRUSIBEL PELEBURAN ALUMINIUM PADA LABORATORIUM

- 1,2) Dosen, Program Studi Teknik Mesin Universitas Dayanu Ikhsanuddin, Jl. Sultan Dayanu Ikhsanuddin no. 124 Baubau , Indonesia,
- 3) Mahasiswa, Program Studi Teknik Mesin Universitas Dayanu Ikhsanuddin, Jl. Sultan Dayanu Ikhsanuddin no. 124 Baubau , Indonesia,
- 4) Dosen, Program Studi Teknik Sipil Universitas Dayanu Ikhsanuddin, Jl. Sultan Dayanu Ikhsanuddin no. 124 Baubau , Indonesia.

Corresponding email ¹⁾ :
labaride@unidayan.ac.id

Received: 02.11.2022
Accepted: 03.12.2022
Published: 28.12.2022

©2022 Politala Press.
All Rights Reserved.

La Baride ¹⁾, Muhamad Iqbal Achmad ²⁾, La Andika ³⁾,
Noor Dhani ⁴⁾

Abstrak. Perpindahan panas memegang peranan penting dalam proses peleburan logam, sehingga perlu dilakukan analisis. Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perpindahan panas pada tungku peleburan berbahan bakar arang yang dilengkapi dengan blower di laboratorium teknik mesin Universitas Dayanu Ikhsanuddin. Metode eksperimen dalam penelitian ini dilakukan pada tungku krusibel yang dibakar dengan arang bakau dan dilengkapi dengan blower sebagai saluran untuk mensirkulasikan udara melalui tabung berukuran 2 inci. Berdasarkan hasil penelitian, kalor dari bahan bakar arang bakau sebesar 37985.364 kJ, kalor peleburan aluminium sebesar 1635,24 kJ, dan kalor yang diserap oleh dinding dan penutup tungku sebesar 29152,76 kJ. Panas yang keluar melalui penutup, cerobong asap, dan kerugian lainnya adalah 7197,37 kJ. Efisiensi tungku wadah berbahan bakar arang adalah 81,05%.

Kata Kunci: Arang Bakau, Aluminium, Kalor, Tungku Krusibel

Abstract. Heat transfer plays an essential role in the metal smelting process, so analysis needs to be carried out. This research aims to analyze the heat transfer in a charcoal-fueled crucible furnace equipped with a blower in the mechanical engineering laboratory at Dayanu Ikhsanuddin University. The experimental method in this study was carried out at a furnace crucible burned with mangrove charcoal and equipped with a blower as a channel to circulate air through a 2-inch tube. Based on the study's results, the heat from mangrove charcoal fuel is 37985.364kJ, the warmth of smelting aluminum is 1635.24kJ, and the heat absorbed by the walls and cover of the furnace is 29152.76kJ. The heat escaping through the surface, chimney, and other losses is 7197.37 kJ. The efficiency of the charcoal-fueled crucible furnace is 81.05%.

Keywords: Mangrove Charcoal, Aluminum, Heat, Crucibel Furnace.

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v9i2.214>

1. Pendahuluan

Tungku *krusibel* yang digunakan pada industri rumah tangga dan lembaga pendidikan sebagian besar berasal dari bahan impor yang harganya relatif mahal, sehingga mempengaruhi tingginya biaya investasi. Teknik Mesin Unidayan yang terlibat dalam kegiatan akademik telah merancang tungku *krusibel* yang digunakan untuk keperluan praktikum dan penelitian mahasiswa. Pada perancangan tungku *krusibel* perlu dipertimbangkan beberapa hal diantaranya biaya perawatan yang ekonomis, mudah pindahkan, mudah dibuat, sistem operasi sederhana, dan biaya operasional yang rendah [1].

Aluminium adalah logam ringan yang banyak digunakan tidak hanya di rumah tangga tetapi juga di berbagai alat transportasi baik darat, laut, udara dan bahan bangunan. Paduan aluminium mudah dilebur karena titik lelehnya yang rendah yaitu 660 °C. Oleh karena itu, pengecoran aluminium banyak digunakan pada industri kecil, menengah dan besar. Pada industri kecil dan menengah kebanyakan menggunakan tungku *krusibel* untuk meleburkan aluminium. Salah satu ciri khusus dari tungku *krusibel* dilihat dari penggunaan wadah yang disebut kowi untuk menempatkan logam yang akan dilebur. Tungku *krusibel* dapat dibedakan berdasarkan konstruksinya yaitu tungku dengan kowi tidak tetap, kowi tetap dan tungkik [2].

Sebelum digunakan sebagai kebutuhan dalam kehidupan sehari-hari, logam diolah menggunakan berbagai cara. Salah satunya dengan meleburkan logam. Setelah logam melebur, maka logam cair dituang ke dalam cetakan yang dibuat sesuai kebutuhan. Proses ini disebut proses pengecoran logam [3]

Pada proses peleburan aluminium terjadi perubahan energi dari bahan bakar menjadi energi panas. Energi panas bahan bakar dapat dilepas dan berubah menjadi energi yang lain. Proses pelepasan panas bahan bakar diakibatkan bereaksi dengan oksigen yang disebut proses pembakaran. Klasifikasi bahan bakar terdiri dari bahan bakar padat, cair dan gas [4].

Energi panas dari bahan bakar merambat pada bagian-bagian tungku maupun pada aluminium yang dilebur. Perpindahan energi dalam bentuk panas ini terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Perpindahan energi panas pada tungku peleburan aluminium akan menentukan lama peleburan, kalor yang terserap pada aluminium, dinding tungku dan efisiensi tungku.

Dari uraian diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perpindahan panas/kalor yang terjadi pada tungku *krusibel* peleburan aluminium berbahan bakar arang dengan penghembus udara blower pada Laboratorium Teknik Mesin Unidayan.

2. Tinjauan Pustaka

Pengujian tungku berbahan bakar arang untuk melebur 2,5 kg aluminium scrap, diketahui bahwa terjadi peningkatan temperatur yang stabil pada dinding luar tungku terhadap waktu. Pada pengujian tungku berbahan bakar gas dengan 3 variasi yaitu 2,5 kg, 3,75 kg dan 5 kg diperoleh semakin berat aluminium yang dilebur, maka waktu yang dibutuhkan juga semakin lambat. Berdasarkan kedua pengujian diketahui bahwa tungku berbahan bakar gas lebih cepat melebur aluminium dibandingkan tungku berbahan bakar arang [5].

Hasil pengujian tungku berbahan bakar tempurung kelapa diperoleh pengujian pertama sampai ketiga hasil pengocoran aluminium mengalami cacat yang disebabkan temperatur penuangan menurun, sedangkan pada pengujian keempat hasil pengecoran aluminium tidak mengalami cacat coran karena temperatur tuang mencapai suhu 900 °C. Pada peleburan 6 kg aluminium dibutuhkan waktu 31,44 menit, energi kalor 4.564,97 kJ, bahan bakar 6,6 kg dan efisiensi tungku sebesar 49% [6].

Posisi penempatan dan jenis *burner* dapat mempengaruhi meningkatkan efisiensi peleburan pada tungku *krusibel*. Berdasarkan hasil pengujian penempatan *burner* pada bagian samping tungku dan jenis *burner* pertama diperoleh kalor peleburan aluminium merata yaitu 551,25 kJ, efisiensi tungku 39,4 % dan waktu yang dibutuhkan 1,4 jam [7]

Analisis perpindahan panas pada tungku *krusibel* peleburan aluminium berbahan bakar arang kayu bakau dengan penghembus udara blower menggunakan persamaan sebagai berikut:

Panas peleburan aluminium [6]:

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

$$Q_p = m_{al} \cdot C_{p,ap} \cdot \Delta T_{ap} + m_{al} \cdot h_{la} + m_{al} \cdot C_{p,ac} \cdot \Delta T_{ac} \quad (2)$$

Keterangan:

- Q_p = Kalor untuk melebur aluminium (kJ)
- Q_1 = Kalor untuk menaikkan temperatur Aluminium (kJ)
- Q_2 = Kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur aluminium padat menjadi cair (kJ)
- Q_3 = Kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur aluminium cair pada temperatur tuang (kJ)
- m_{al} = Massa jenis aluminium (kg)
- $C_{p,ap}$ = Kalor jenis aluminium padat (kal/kg°C)
- ΔT_{ap} = Selisih temperatur cair aluminium dan suhu kamar (°C)
- h_{la} = Kalor latent aluminium (kal/kg)
- $C_{p,ac}$ = Kalor jenis aluminium cair (kal/kg°C)
- ΔT_{ac} = Selisih temperatur penuangan ke titik cair (°C)

Panas yang terserap pada dinding tungku [6]:

$$Q_{dt} = m_{tl} \cdot C_{p,tl} \cdot \Delta T_{tl} \quad (3)$$

Keterangan:

- m_{tl} = Massa tanah liat (kg)
- $C_{p,tl}$ = Panas jenis tanah liat (kal/kg°C)
- ΔT_{tl} = Perubahan suhu tanah liat (°C)

Kalor yang terserap pada kowi [6]:

$$Q_{kw} = m_{kw} \cdot C_{p,kw} \cdot \Delta T_{kw} \quad (4)$$

Keterangan:

- m_{kw} = Massa kowi (kg)
 Cp_{kw} = Kalor jenis kowi (kal/kg°C)
 ΔT_{kw} = Selisi temperatur kowi (°C)

Kalor yang terserap pada penutup [6]:

$$Q_{tt} = m_{tt} \cdot Cp_p \cdot \Delta T_{tt} \quad (5)$$

Keterangan:

- m_{tt} = Massa penutup (kg)
 Cp_{kw} = Panas jenis bahan penutup (kal/kg°C)
 ΔT_{tt} = Perubahan suhu penutup (°C)

Kalor total yang terserap [6]:

$$Q_{tot} = Q_p + Q_{dt} + Q_{kw} + Q_t \quad (6)$$

Laju aliran kalor pada penutup tungku [8]:

$$q_1 = U_m \times A_{tt} \times \Delta T_{tt} \quad (7)$$

$$U_m = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_0}} \quad (8)$$

Keterangan:

- U_m = Koefisien menyeluruh (W/ m² °C)
 A_{tt} = Bidang penutup tungku (m²)
 ΔT_{tt} = Selisih temperatur plat dan udara luar (°C)
 Δx = Tebal penutup tungku (m)
 h_1 = Koefisien konveksi pada ruang bakar (W/ m² °C)
 h_0 = Koefisien konveksi udara bebas (W/ m² °C)
 k = Konduktivitas plat penutup tungku (W/m²°C)

Laju aliran kalor pada cerobong [9]:

$$q_2 = h_2 \times A_c \times \Delta T_c \quad (9)$$

Keterangan:

- h_2 = Koefisien perpindahan konveksi (W/ m² °C)
 A_c = Luas bidang aliran kalor pada cerobong (m²)
 ΔT_c = Selisih temperatur udara panas yang masuk dan keluar cerobong

Laju aliran kalor total:

$$q_{tot} = q_1 + q_2 \quad (10)$$

Kalor bahan bakar arang:

$$Q_{ba} = m_{ba} \times HHV \quad (11)$$

Keterangan:

- m_{ba} = Massa bahan bakar (kg)
 LHV = Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

Kalor *losses* pada celah penutup dan dasar tungku:

$$Q_{los} = Q_{bb} - (Q_{tot} + q_{tot}) \quad (12)$$

Kalor total yang terbuang pada proses peleburan:

$$Q_{ex} = Q_{los} + q_{tot} \quad (13)$$

Efisiensi tungku peleburan (η_{tp})

$$\eta_{tp} = \frac{Q_{bb} - Q_{ex}}{Q_{bb}} \times 100 \% \quad (14)$$

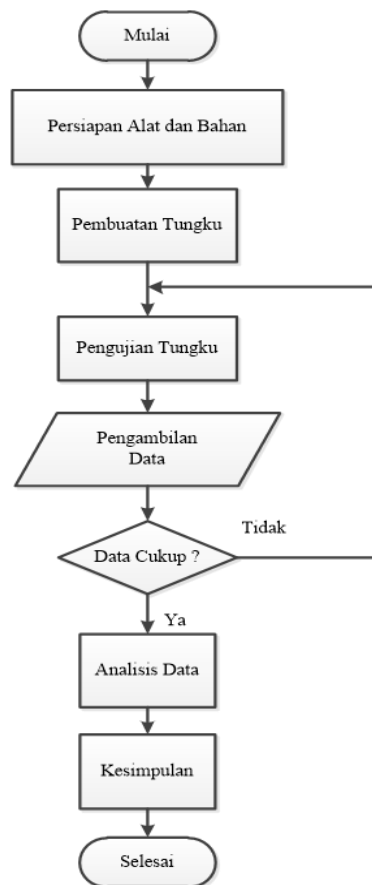
3. Metodologi

Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- Las listrik
- Gerinda tangan
- Mesin Bor
- *Blower* keong 2 inci
- *Termometer*
- *Anemometer*
- Timbangan
- Besi siku
- Besi plat
- Pipa besi
- Tanah liat
- Abu sekam padi
- Tanah liat
- Aluminium
- Arang kayu bakau.

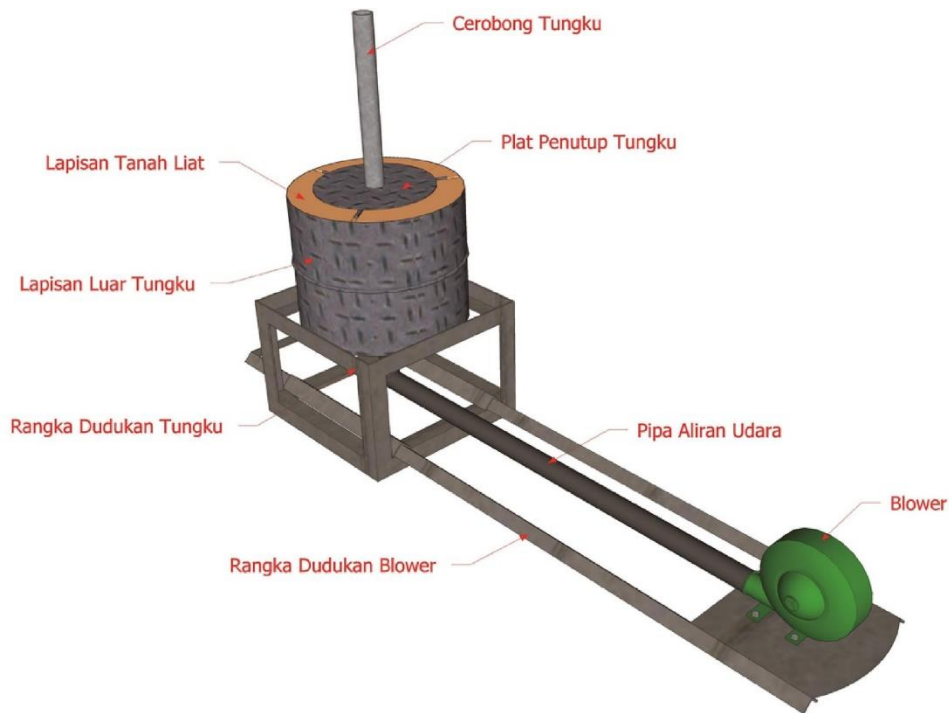
Diagram alir penelitian dilaksanakan sebagaimana Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Pembuatan Tungku *Krusibel*

Tungku *krusibel* berbahan bakar arang kayu bakau ini dilengkapi blower yang dihubungkan dengan pipa besi diameter 2 inci untuk menyalurkan udara menuju ruang bakar tungku. Lapisan luar tungku dibuat terbuat dari pelat besi dan bahan isolator terbuat dari tanah liat dan abu sekam padi. Kowi sebagai wadah aluminium yang akan dilebur dilengkapi dengan penutup. Hal ini dilakukan karena tungku tersebut berbahan bakar arang yang dapat menghasilkan partikel lain yang akan mengotori logam yang cair dalam tungku [10]. Tungku *krusibel* yang dibuat sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Tungku *Krusibel*

Spesifikasi tungku *krusibel* berbahan bakar arang pada penelitian diperlihatkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Data spesifikasi tungku *krusibel*

No	Uraian	Diameter Dalam (m)	Diameter Luar (m)	Tebal (m)	Tinggi (m)	Berat (kg)
1	Tanah liat	0,245	0,43	0,0925	0,37	44,85
2	Kowi	0,1025	0,1151	0,0063	0,145	3,9
3	Plat penutup	-	0,31	0,004	-	3,5
4	Cerobong	0,0416	0,0486	0,0035	0,44	3,5

Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data pengujian ekperimental tungku *krusibel* berbahan bakar arang dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Memasang alat ukur yang diperlukan saat pengujian
2. Masukan arang yang sudah ditimbang ke dalam ruang bakar
3. Nyalakan arang dengan minyak tanah sampai menjadi bara, tambahkan arang
4. Nyalakan blower.
5. Letakan kowi/cawan kedalam tungku *krusibel*
6. Masukan aluminium yang dilebur sebanyak 1,5 kg
7. Catat data awal dan akhir yang di ukur.
8. Catat waktu peleburan aluminium.
9. Setelah temperatur aluminium mencapai temperatur tuang keluarkan kowi dari tungku
10. Tuang aluminium cair ke pasir cetak.
11. Timbang sisa arang

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data hasil pengujian tampak bahwa tidak terjadi aliran panas dari ruang bakar ke dinding luar tungku dimana dinding tersebut tidak mengalami perubahan temperatur yang signifikan selama proses peleburan aluminium, sebaliknya temperatur pada bagian penutup tungku mengalami peningkatan yang signifikan sehingga mencapai 610,6 °C. Tingginya temperatur penutup tungku dapat menyebabkan kerugian panas pada proses peleburan aluminium. Data hasil pengujian peleburan 1,5 kg aluminium dapat diperlihatkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Pengambilan data pengujian

No.	Uraian	Temperatur (°C)	
		Awal	Akhir
1	Temperatur dinding luar	27,4	28,4
2	Temperatur dinding dalam	28,4	651,3
3	Temperatur ruang bakar	248,0	868,2
4	Temperatur penutup luar	69,5	610,6
5	Temperatur penutup dalam	190,4	749,2
6	Temperatur kowi	29	812,4
7	Temperatur cerobong	52,6	411,7
8	Temperatur aluminium	28,2	774,3
9	Jumlah arang yang digunakan (kg)	2,94	0,8
10	Lama peleburan (menit)	22	

Dari hasil analisis diperoleh kalor yang dihasilkan bahan bakar arang kayu bakau sebesar 37985,36 kJ. Kalor maksimum yang terserap terjadi pada bagian dinding tungku yang terbuat dari campuran tanah liat dan abu sekam padi sebesar 26812,14 kJ, sedangkan kalor yang terbuang maksimum terjadi pada cerobong sebesar 4173,08 kJ. Kalor loses lain terjadi pada bagian tungku lainnya diantaranya pada bagian dasar tungku yang dipasang dengan pipa penghembus udara sebesar 2304,56 kJ, sedangkan efisiensi tungku yang mencapai 81,05 %. Data hasil perhitungan selengkapnya diperlihatkan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil analisis

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kalor untuk melebur aluminium	1635,24	kJ
2	Kalor yang terserap pada dinding	26812,41	kJ
3	Kalor yang terserap pada kowi	1402,36	kJ
4	Kalor yang terserap pada penutup	937,99	kJ
5	Total Kalor yang terserap	30788,0	kJ
6	Kalor yang terbuang pada penutup	719,73	kJ
7	Kalor yang terbuang pada cerobong	4173,08	kJ
8	Kalor bahan bakar	37985,36	kJ
9	Kalor loses lain	2304,56	kJ
10	Total kalor yang keluar pada peleburan	7197,37	kJ
11	Efisiensi	81,05	%

5. Kesimpulan

Kalor yang dihasilkan oleh arang kayu bakau yaitu 37985,364 kJ, kalor untuk melebur aluminium yaitu sebanyak 1635,24 kJ, kalor yang diserap dinding, kowi dan penutup sebesar 29152,76 kJ. Kalor yang keluar melalui penutup, cerobong dan *loses* lainnya sebesar 7197,37 kJ. Tungku *krusibel* berbahan bakar arang ini layak digunakan untuk melebur 1,5 kg aluminium dengan efisiensi sebesar 81,05%.

Daftar Pustaka

- [1] A. Aminur *et al.*, "Rancang bangun dan uji coba tungku *krusibel* dari tabung gas bekas dengan menggunakan sumber panas gas LPG," *JIT (Jurnal Teknologi Terapan)*, vol. 6, no. 2, pp. 118-124, September 2020.
- [2] A. Leman, Tiwan, and Mujiyono. "Tungku *krusibel* dengan economizer untuk praktik pengecoran di jurusan pendidikan teknik mesin FT UNY," *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 21-27, April 2017.
- [3] 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, pp. 256-260, 2018.

- [4] S.S. Prathama, and R. Trisno, “Analisa nilai kalor dan laju pembakaran pelet kayu akasia sebagai bahan bakar alternatif pada tungku pembakaran,” *Prosiding SEMRESTEK (Seminar Rekayasa Teknologi)*, pp. 17-21, November 2021
- [5] T. Wahyudi, S. Arief, and Rendi, “Analisis tungku peleburan aluminium menggunakan bahan bakar arang dan gas,” *E-Print Repository Universitas Islam Kalimantan*, 2019.
- [6] A. Rachmat, and M. Sulaeman, “Pembuatan tungku peleburan aluminium dengan pemanfaatan limbah tempurung kelapa sebagai bahan bakar”. *Jurnal J-Ensitem*, vol. 07, no. 01, pp. 491–499, November 2020.
- [7] D. L. Zariatun, I. Ismail, and M. Jaya, “Studi eksperimental efisiensi peleburan aluminium pada tungku *crucible*,” *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 4, no. 2, pp. 209-218, Desember 2019.
- [8] J.P. Holman, and E. Jasjfi, “Perpindahan Kalor”, 6th.ed, Jakarta, Erlangga, 1994.
- [9] R.A. Koestoer, “Perpindahan Kalor untuk Mahasiswa Teknik”, 1th.ed, Jakarta, Salemba Teknika, 2002.
- [10] A. Wiyono, D. Riatna, and I. Nurkholis, “Studi eksperimen efisiensi tungku peleburan aluminium dengan briket tempurung kelapa melalui *force convection*,” *Prosiding KITT (Konferensi Ilmiah Teknologi Texmaco)* vol. 1, pp. 289–296, 2018.