

Analisis efektivitas laju panas pada furnace 1000°C dengan memperhatikan dimensi dinding wadah peleburan

Analysis effectiveness of heat rate in 1000°C furnace by considering the dimensions of walls melting container

Ahmad Zohari^{1*}, Ilham Taufik Maulana¹, Eka Bima Saputra¹, Adik Susilo Wardoyo²

^{1*} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Politeknik Gajah Tunggal, Indonesia, 15133

² Jurusan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Politeknik Gajah Tunggal, Indonesia, 15133

^{1,2} Jl. Gajah Tunggal No.16, RT.001/RW.002, Alam Jaya, Kec. Jatiuwung, Kota Tangerang, Banten 15133

*Koresponden Email: zohari2980@gmail.com

Artikel dikirim: 09/12/2022

Artikel direvisi: 18/12/2022

Artikel diterima: 19/12/2022

ABSTRAK

Industri peleburan logam semakin berkembang mulai dari peleburan dengan metode pembakaran hingga peleburan dengan memanfaatkan daya listrik. Temperatur ruang peleburan dapat mencapai nilai 1000°C dalam jangka waktu yang singkat dengan mengatur besar daya listrik yang masuk ke *heater* untuk diubah menjadi kalor. Akan tetapi, temperatur ruang peleburan juga dapat kembali menurun dalam waktu yang singkat apabila hambatan termal tidak mampu mengurangi laju perpindahan kalor dari ruang peleburan menuju luar ruangan. Jika hal itu terus terjadi, maka temperatur 1000°C pada mesin furnace tidak dapat tercapai sehingga proses peleburan tidak maksimal. Oleh karena itu, analisis terhadap faktor hambatan termal sangat diperlukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai hambatan termal pada dinding *furnace* sehingga temperatur ruang peleburan dapat dimaksimalkan. Metode yang dilakukan dengan mengumpulkan data yang bersumber dari referensi dan pengukuran langsung terhadap *furnace* untuk memperoleh data variasi dimensi dinding. Berdasarkan hasil penelitian, disimpulkan bahwa nilai hambatan termal yang diuji dipengaruhi oleh temperatur lingkungan ($T_2 = 25,8^\circ\text{C}$), temperatur ruang peleburan ($T_1 = 1000^\circ\text{C}$) dan konduktivitas termal pada batu sebesar $k = 4,78 \text{ J/s m}^\circ\text{C}$, serta luas dan tebal dinding yang bervariasi. Ketika tebal dinding semakin besar maka hambatan yang dihasilkan semakin besar. Nilai hambatan terbesar, yaitu 4,389R pada tebal dinding 150 mm. Sebaliknya ketika luas dinding yang digunakan semakin kecil maka hambatan yang dihasilkan semakin besar. Nilai hambatan terbesar 2,905R pada luas dinding 3600 mm². Dengan demikian, *furnace* dengan dimensi dinding yang memiliki nilai ketebalan yang besar dan luas yang kecil dapat menghasilkan hambatan termal yang optimal sehingga dapat memaksimalkan temperature ruang peleburan.

Kata kunci: Dimensi; hambatan termal; induksi; peleburan.

ABSTRACT

The metal smelting business is expanding, moving from combustion-based to electric-powered smelts. By adjusting the quantity of electrical power that enters the heater to be transformed into heat, the temperature of the melting chamber can quickly approach 1000°C. But if the thermal resistance is unable to slow down the rate of heat transfer from the smelting chamber to the outside, the temperature inside the smelting chamber can likewise fall quickly. If that keeps happening, the furnace machine's temperature of 1000°C cannot be reached, which makes the smelting process less than ideal. So that the temperature of the smelting chamber can be maximized, an examination of the thermal resistance factor is required in order to estimate the value of the thermal resistance on the wall. To obtain information on wall dimension fluctuation, the procedure involves gathering data from references and actual measurements of the furnace. Based on the findings, it was determined that the temperature



of the environment had an impact on the heat resistance values measured. ($T_2 = 25.8^\circ\text{C}$), the melting chamber's temperature ($T_1 = 1000^\circ\text{C}$), the fire brick's thermal conductivity at $k=4.78 \text{ J/s m}^\circ\text{C}$, as well as the variation area and wall thickness the resultant resistance increases with increasing wall thickness. The highest resistance rating is 4.389R with a 150 mm wall thickness. Otherwise, the resistance is higher when a smaller portion of the wall is employed. On a 3600 mm² wall area, the resistance value with the highest value is 2.905R. In order to increase the temperature of the smelting chamber, a furnace with wall dimensions that have a significant thickness value and a compact area can generate the best thermal resistance.

Keywords: Dimensions; induction; thermal resistance; smelting.

1. PENDAHULUAN

Setiap industri selalu menginginkan hasil yang maksimal dengan pengeluaran yang tidak banyak. Berbagai strategi dan metode diterapkan dalam setiap prosesnya agar hasil yang didapatkan sesuai dengan harapan [1]. Kondisi ini menjadikan pelaku setiap industri berinovasi dan berupaya untuk menciptakan gagasan baru yang lebih sederhana dengan kualitas yang terus meningkat [2]. Salah satunya adalah inovasi di bidang industri peleburan logam. Seperti yang telah diketahui, dalam meleburkan beberapa jenis logam dibutuhkan temperatur yang cukup tinggi. Temperatur tersebut diperoleh dengan cara membuat suatu tungku pembakaran dengan panas yang sangat tinggi sehingga dapat meleburkan logam [3]. Panas tersebut dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar yang berada di dalam tungku peleburan. Untuk mencapai temperatur 1000°C dibutuhkan nyala api atau panas yang besar dan tentunya akan menimbulkan resiko apabila tidak berhati – hati.

Percobaan terus dilakukan hingga peleburan dengan memanfaatkan listrik ditemukan. Konsep ini sebelumnya telah diteliti selama dua tahun oleh V.V. Petrov pada tahun 1802 sampai tahun 1803. Metode ini berhasil diterapkan dan konsepnya telah diaplikasikan dalam peleburan logam pada tahun 1850-an. Pada tahun 1906, metode peleburan ini dikembangkan lagi oleh Dr. Paul Heroult (USA) untuk memproduksi baja tetapi masih terdapat kekurangan sehingga kurang ekonomis untuk peleburan baja per tahunnya.

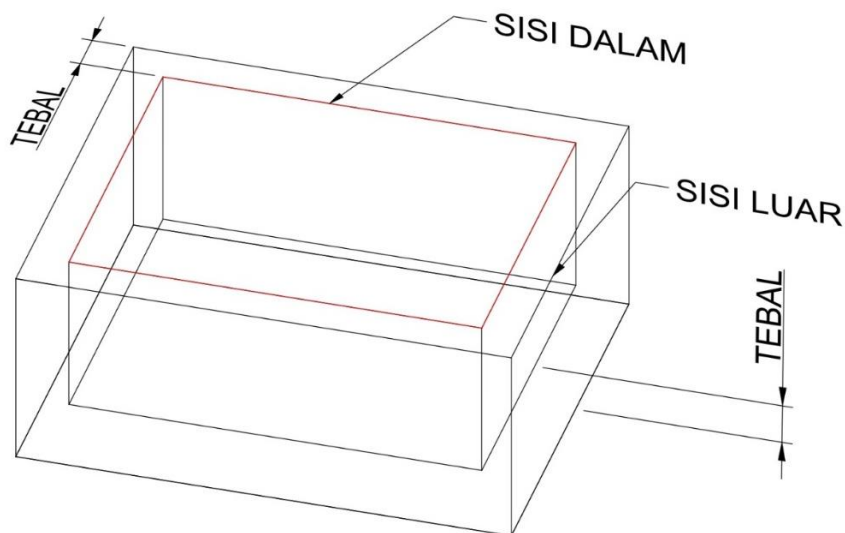
Analisis–analisis baru dilakukan untuk mengembangkan metode tersebut. Salah satunya adalah analisis terhadap pengaruh laju perpindahan kalor yang beresiko tinggi untuk meningkatkan kebutuhan energi listrik. Laju perpindahan kalor juga akan berpengaruh pada temperatur ruang yang akan digunakan untuk meleburkan logam. Temperatur ruang peleburan dapat mencapai nilai 1000°C dalam jangka waktu yang singkat dengan mengatur besar daya listrik yang masuk ke *heater* untuk diubah menjadi kalor. Akan tetapi, temperatur ruang peleburan juga dapat kembali menurun dalam waktu yang singkat apabila hambatan termal tidak mampu mengurangi laju perpindahan kalor dari ruang peleburan menuju luar ruangan. Perpindahan kalor mengakibatkan pertukaran suhu ruang dengan suhu lingkungan. Jika hal itu terus terjadi, maka temperatur 1000°C pada mesin furnace tidak dapat tercapai sehingga proses peleburan tidak maksimal untuk meleburkan logam. Dalam hal ini, laju perpindahan kalor dipengaruhi oleh temperatur ruang peleburan, temperatur lingkungan, konduktivitas termal material penyusun dinding, dan besar hambatan termal yang mengurangi laju perpindahan kalor. Adapun temperatur lingkungan yang standar untuk wilayah tropis berkisar pada angka 25,8 – 27,1 °C [4].

Perpindahan kalor yang berlangsung pada dinding (batu dan semen tahan api) penyusun furnace merupakan proses perpindahan kalor secara konduksi, yang berarti sangat bergantung pada konduktivitas termal dan juga hambatan termal. Pengukuran konduktivitas termal terhadap komposit (campuran batu dengan semen tahan api) telah dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh peneliti lain, diantaranya [5]–[7], [5] meneliti variasi komposisi bata ringan menggunakan jaringan syaraf tiruan guna memprediksi sifat termal bata ringan tersebut [6]. Meneliti perubahan nilai konduktivitas termal pada bata ringan dengan menggunakan sebuah *crude palm oil* sebagai bahan penyimpanan kalor atau panas [7]. Mengukur konduktivitas termal material bata api menggunakan sistem *hoteplate* berbasis arduino.



Selain itu, penulis juga menganalisis suatu penelitian dan menjadi sumber acuan mengenai nilai konduktivitas termal pada batu yaitu sebesar $4,78 \text{ J/s m}^\circ\text{C}$ [8]. Berdasarkan data konduktivitas termal yang telah diperoleh, maka faktor selanjutnya yang perlu dikaji adalah besarnya hambatan termal yang terjadi.

Hambatan termal merupakan kemampuan suatu bahan untuk menghambat laju perpindahan kalor yang mengalir karena perbedaan temperatur antara sisinya [9]. Besarnya hambatan termal ditentukan oleh luas dinding peleburan dan jarak antar sisi dalam dengan sisi luar (tebal dinding). Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap pengaruh dimensi (tebal dan luas dinding) dengan tujuan untuk mengetahui nilai dari hambatan termal pada dinding *furnace* yang mana dapat memaksimalkan temperatur ruang peleburan.



Gambar 1. Dimensi dinding *furnace*

Gambar 1 ditampilkan tebal dan sisi dinding yang akan menjadi variasi perhitungan hambatan termal. Sisi dinding dibagi menjadi dua, yaitu sisi dalam dan sisi luar dinding, yang mana digunakan untuk mencari luas dinding. Adapun pengertian tebal dinding dalam penelitian ini merujuk pada jarak antar sisi luar dan sisi dalam dinding peleburan, sedangkan pengertian luas dinding merupakan selisih antara luas sisi luar dan luas sisi dalam dinding.

2. METODE.

Mekanisme proses perpindahan panas di dalam dinding *furnace* terjadi secara konduksi, yang berarti sangat melibatkan konduktivitas termal untuk mengetahui seberapa cepat dan seberapa besar suhu material dapat menghantarkan panas [10]. Konduktivitas panas diartikan sebagai kemampuan suatu materi untuk menghantarkan panas, merupakan salah satu parameter yang diperlukan dalam sifat karakteristik suatu material [11]. Harga konduktivitas termal pada bahan dinding telah diperoleh dari pengujian oleh peneliti lain sehingga analisis yang dilakukan adalah pengaruh dimensi luas dan tebal dinding terhadap hambatan termal yang terjadi untuk mengurangi laju perpindahan kalor [12].

Sebelum dilakukan analisis pengaruh dimensi dinding terhadap harga hambatan termal, terlebih dahulu dilakukan suatu pengumpulan data yang bersumber dari referensi terkait untuk memperoleh data variasi dimensi dinding *furnace* induction 1000°C . Selain itu, pengukuran secara langsung juga dilakukan terhadap tungku peleburan *furnace* induction 1000°C yang dirancang oleh peneliti. Hasil pengumpulan data dan pengukuran dimensi berupa tebal dan luas dinding ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi dimensi dinding

Sampel	Tebal (mm)	Luas (mm ²)
A	50	8650
B	50	4500
C	50	6900
D	45	7150
E	50	7150
F	90	7150
Pengukuran I	130	7150
Pengukuran II	65	7150
Pengukuran III	50	3600
Pengukuran IV	150	7150

Hasil pengumpulan data dari referensi terkait dan pengukuran data pada sisi 1, sisi 2, sisi 3 dan sisi 4 dinding *furnace induction* 1000°C di *workshop* politeknik gajah tunggal, diperoleh variasi ukuran lebar dan luas dalam satuan milimeter (mm). Pengumpulan data dan pengukuran dimensi dinding dilakukan karena hambatan termal dihasilkan oleh konduktivitas termal yang terdapat pada dinding. Proses perpindahan kalor yang terjadi disebut perpindahan panas konduksi. Perpindahan kalor yang melalui perantara (dinding), dimana zat perantaranya tidak ikut berpindah. Dalam arti lain perpindahan kalor pada suatu zat tanpa disertai dengan perpindahan partikel-partikelnya [13]. Hukum dasar untuk proses perpindahan panas konduksi adalah Hukum Fourier sebagai berikut [14], [15].

$$q_k = \frac{[-\Delta T]}{\Delta x} kA \text{ atau } q_k = \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} kA \tag{1}$$

Bila aliran panas dinyatakan dengan analogi listrik menjadi:

$$q_k = \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} kA \tag{2}$$

Hubungan hambatan termal dengan aliran panas:

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{q_k} \tag{3}$$

Jika perbedaan suhu dijabarkan maka :

$$R_{th} = \frac{T_2 - T_1}{q_k} \tag{4}$$

Metode penelitian yang digunakan adalah teknik pengumpulan data dan teknik analisis data berupa perhitungan hambatan termal dengan konduktivitas $k = 4,78 \text{ J/s m } ^\circ\text{C}$, temperature lingkungan ($T_2 = 25,8 \text{ } ^\circ\text{C}$) dan temperatur ruang peleburan ($T_1 = 1000 \text{ } ^\circ\text{C}$). Langkah - langkah yang dilakukan dalam kegiatan penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.

a) Studi pustaka

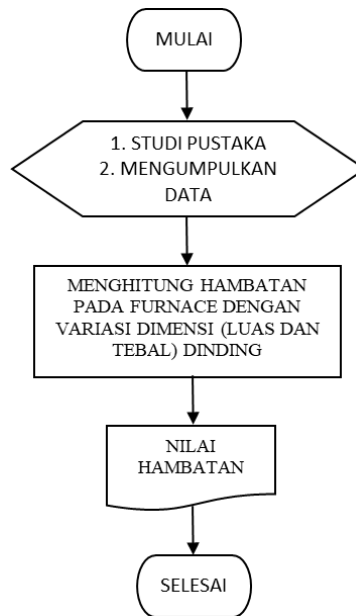
Pada tahap ini dilakukan studi pustaka mengenai hambatan termal yang terjadi selama proses *hardening induction furnace*.

b) Menghitung hambatan termal

Pada tahap ini dilakukan perhitungan pada tiap variasi dimensi ruangan *furnace* untuk mengetahui nilai hambatan termal..

c) Nilai hambatan termal

Pada tahap ini, akan didapatkan nilai hambatan termal pada masing-masing dimensi ruangan dan dapat menentukan dimensi terbaik yang akan diaplikasikan pada pembuatan *furnace* sehingga akan didapatkan pemanasan maksimal.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari hasil perhitungan hambatan termal pada tebal dan luas yang bervariasi digunakan untuk membuat analisis data. Persamaan yang digunakan adalah analogi aliran panas dengan aliran listrik Persamaan (2) dan (3). Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Variasi tebal dinding

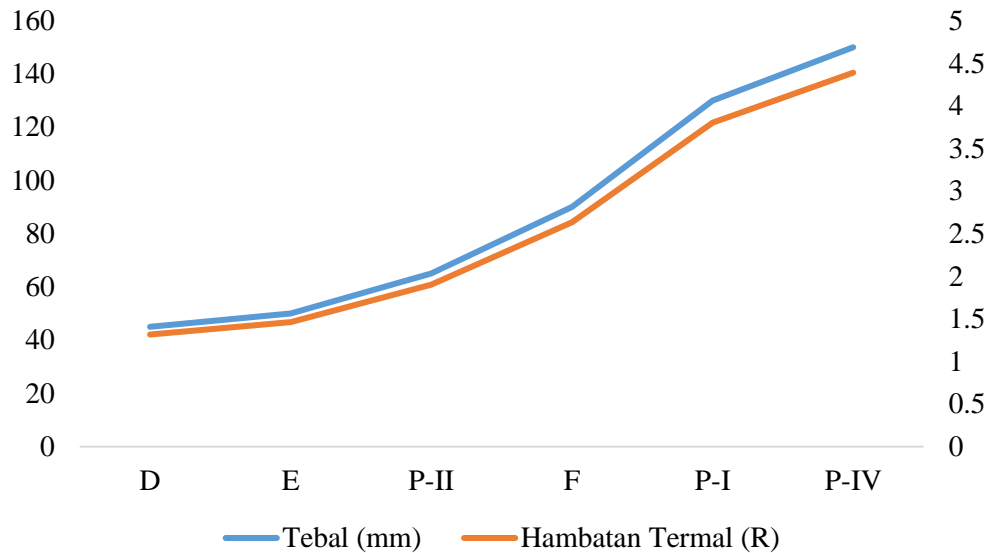
Sampel	Tebal(mm)	Luas (mm ²)	Hambatan Termal (R)
D	45	7150	1,316
E	50	7150	1,463
F	90	7150	2,633
Pengukuran I	130	7150	3,803
Pengukuran II	65	7150	1,901
Pengukuran IV	150	7150	4,389

Tabel 3. Variasi luas dinding

Sampel	Tebal(mm)	Luas (mm ²)	Hambatan Termal (R)
A	50	8650	1,209
B	50	4500	2,324
C	50	6900	1,516
E	50	7150	1,463
Pengukuran III	50	3600	2,905

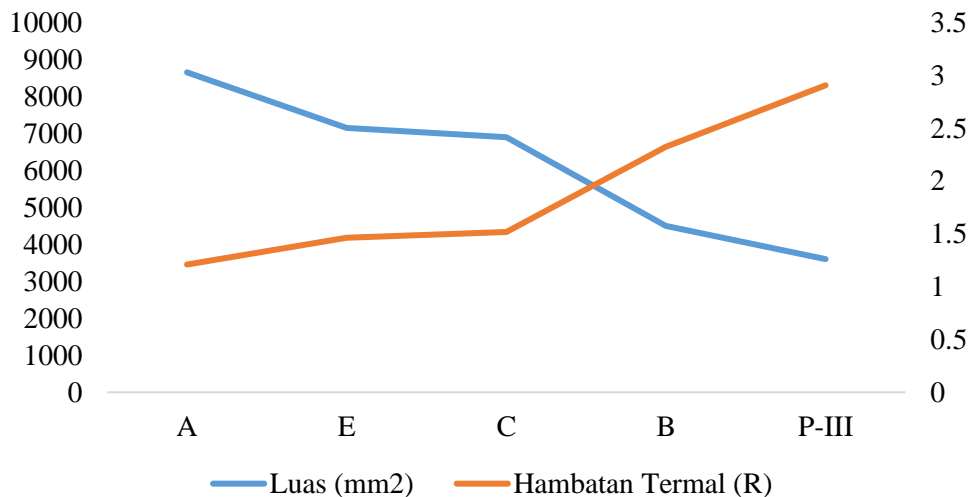
Dari hasil perhitungan pada tabel 2 dan 3 terlihat bahwa hambatan termal yang dihasilkan oleh dinding dengan tebal yang berbeda dan luas yang sama adalah hambatan semakin besar ketika tebal

dinding yang digunakan semakin besar. Sedangkan hambatan termal yang dihasilkan oleh dinding dengan tebal yang sama dan luas yang berbeda adalah hambatan yang dihasilkan semakin besar ketika luas yang digunakan semakin kecil.



Gambar 3. Hambatan termal vs tebal dinding

Gambar 3 ditampilkan hasil perhitungan hambatan termal oleh perbedaan tebal yang digambarkan dalam bentuk kurva. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal dinding maka semakin besar pula nilai hambatan termal yang dihasilkan. Nilai hambatan termal terkecil dan terbesar pada data tersebut berturut-turut adalah 1,316 R pada tebal dinding 45 mm dan 4,389 R pada tebal dinding 150 mm.



Gambar 4. Hambatan termal vs luas dinding

Gambar 4 ditampilkan hasil perhitungan hambatan termal oleh perbedaan luas dinding yang digambarkan dalam bentuk kurva. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil luas dinding yang digunakan maka hambatan termal yang dihasilkan semakin besar. Nilai hambatan terkecil dan terbesar pada data tersebut berturut-turut adalah 1,209 R pada luas dinding 8650 mm² dan 2,905 R pada luas dinding 3600 mm².

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa nilai hambatan termal pada *furnace* yang diuji pada temperatur lingkungan ($T_2 = 25,8 \text{ }^\circ\text{C}$) dan temperatur ruang peleburan ($T_1 = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$) memiliki nilai konduktivitas termal pada batu sebesar $k = 4,78 \text{ J/s m }^\circ\text{C}$ dan dimensi (luas dan tebal) dinding yang bervariasi. Ketika tebal dinding *furnace* semakin besar maka hambatan termal yang dihasilkan akan semakin besar. Nilai hambatan termal terbesar yang dihasilkan, yaitu 4,389 R pada tebal dinding 150 mm. Sebaliknya, ketika luas dinding *furnace* yang digunakan semakin kecil maka hambatan yang dihasilkan akan semakin besar. Nilai hambatan termal terbesar, yaitu 2,905 R pada luas dinding 3600 mm^2 . Dengan demikian, *furnace* dengan dimensi dinding yang memiliki nilai ketebalan yang besar dan luas yang kecil dapat menghasilkan hambatan termal yang optimal sehingga dapat memaksimalkan temperature ruang peleburan.

REFERENSI

- [1] O. Aprilida, T. Soraya, N. Septiana, J. I. Keuangan, and D. Perbankan, "Menggunakan Metode Full Costing Pada Pabrik Roti Pelangi Nusantara Di Kota Metro of production method of full costing FIDUSIA," *40 / Jurnal Fidusia*, vol. 1, no. 2, 2018.
- [2] H. Dwijo Wiyono, T. Ardiansyah, T. Rasul, and F. Bahasa dan Seni, "Kreativitas Dan Inovasi Dalam Berwirausaha," *Jurnal Usaha*, vol. 1, no. 2, p. 2020, 2020.
- [3] L. Ridwan, "Rancang Bangun Tungku Listrik Peleburan Aluminium Dengan Memanfaatkan Limbah Evaporation Boat Sebagai Pelapis Dinding Tungku," Skripsi, Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2019.
- [4] A. N. S. Budi, I. Qiram, and D. Sartika, "Pengaruh Persentase Kepekatan Kaca Film Terhadap Distribusi Termal Dan Pencahayaan Kabin Kendaraan," *Jurnal V-Mac*, vol. 6, no. 1, pp. 1–4, 2021.
- [5] G. P. Wiryawan, "Prediksi Sifat Termal Bata Ringan Berdasarkan Variasi Komposisi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan," Tugas AKHIR, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2016.
- [6] L. Laila and A. Y. Darma, "Kajian Perubahan Nilai Konduktivitas Termal Pada Bata Ringan Dengan Penggunaan Crude Palm Oil (CPO) Sebagai Bahan Penyimpan Kalor," *Journal of Applied Science*, vol. 2, no. 2, pp. 18–23, 2020.
- [7] Mulyadi, Djuhana, and F. Astuti, "Pengukuran Konduktivitas Panas Material Bata Api Menggunakan Sistem Hote Plate Berbasis Arduino Measurement Of Thermal Conductivity Of Firebrick Using Hot Plate System Base On Arduino," 2020.
- [8] Vi. Sri Wardhani dan Hengky Poedjo Rahardjo Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan - BATAN and J. Tamansari, "Pengukuran Konduktivitas Termal Bata Incinerator Batan Bandung," 2015.
- [9] T. Ayodha Ajiwiguna, A. Barkah, and T. Fisika, "Pengaruh Laju Aliran Udara Terhadap Hambatan Termal Heatsink Untuk Pendingin Elektronik," *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika (TEKTRIKA)*, vol. 1, no. 2, pp. 144–147, 2016.
- [10] J. Prihartono and R. Irhamsyah, "Analisis Konduktivitas Termal Pada Material Logam (Tembaga, Alumunium Dan Besi)," *PRESISI*, vol. 24, no. 2, pp. 49–54, 2022.
- [11] Sucipto, T. Priangkoso, and Darmanto, "Analisa Konduktivitas Termal Baja St-37 Dan Kuningan," *Momentum*, vol. 9, no. 1, pp. 13–17, 2013.
- [12] R. K. Rajput, *Engineering Thermodynamics Third Edition Si Units Version*, 3rd ed., vol. 3. 2007.

- [13] J. R. Welty, C. E. Wicks, R. E. Wilson, and G. L. Rorrer, *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer 5th Edition*, 5th ed., vol. 5. Oregon: John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [14] J. P. Holman, *Heat Transfer Tenth Edition*, 10th ed., vol. 10. Southern Methodist: McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, 2008.
- [15] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, *Fundamentals Of Heat And Mass Transfer Sixth Edition*, 6th ed., vol. 6. Indiana: John Willey & Sons Inc., 2007.