



OPTIMASI KINERJA *FURNACE* PELEBURAN ALUMINIUM MELALUI APLIKASI *CERAMIC FIBER* SEBAGAI MATERIAL ISOLASI TERMAL

Rudi Hariyanto^{a*}, Pradhana Kurniawan^b, F.A. Widiharsa^a, Ike Widyastuti^a, Dicky Candra Lestari^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang, Jl. Terusan Dieng No. 62-64 Klojen, Pisang Candi, Sukun, Malang, 65146, Jawa Timur, Indonesia

^bProgram Studi Teknik Rekayasa Otomotif, Politeknik Negeri Madiun, Jl. Ring Road Barat, Winongo, Kec. Manguharjo, Kota Madiun, Jawa Timur 63162

*Corresponding authors at: rudi_hariyanto@unmer.ac.id Tel.: +6285-7556-12303

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 30 April 2025

Direvisi pada 17 Juni 2025

Disetujui pada 9 Juli 2025

Tersedia daring pada 18 Agustus 2025

Kata kunci:

Furnace pelebur aluminium, perpindahan panas, semen tahan api dan *ceramic fiber*.

Keywords:

Aluminum smelting furnace, heat transfer, refractory cement and ceramic fiber.

ABSTRAK

Proses peleburan aluminium membutuhkan kalor setara temperatur 660°C. Selama proses peleburan, energi panas di ruang peleburan mengalami kerugian berupa perpindahan panas secara konduksi, melalui dinding *furnace* ke lingkungan. Agar proses peleburan logam bisa berjalan efektif, maka penting memilih bahan dinding *furnace* yang mampu meredam kerugian kalor. Penelitian ini membahas perbandingan unjuk kerja *furnace* peleburan aluminium berdasar perbandingan perpindahan panas secara konduksi yang terjadi pada dinding *furnace* peleburan antara yang menggunakan dan tanpa menggunakan isolator berupa lapisan *ceramic fiber*. Dinding *furnace* dibuat dari bahan semen tahan api dengan ketebalan 3 cm. Adapun tebal lapisan *ceramic fiber* yang digunakan 5 cm. Hasil pengujian perbandingan tanpa dan menggunakan *ceramic fiber* adalah temperatur ruang peleburan tertinggi yang tanpa (TinS) = 394°C dan yang menggunakan (TinSc) = 616°C. Temperatur luar dinding *furnace* tertinggi yang tanpa (Touts) = 127°C dan yang menggunakan (Toutsc) = 61°C. Nilai perubahan panas *furnace* berdasar perbandingan pada temperatur dinding dalam dan dinding luar *furnace* menunjukkan *furnace* yang menggunakan lapisan *ceramic fiber* menghasilkan nilai 1,72 kali lebih tinggi. Adapun perbandingan pemanfaatan kalor bahan bakar untuk peleburan adalah dari 0,615% untuk *furnace* tanpa lapisan *ceramic fiber* menjadi 1,26% untuk dinding *furnace* dengan lapisan *ceramic fiber*. Unjuk kerja *furnace* yang menggunakan *ceramic fiber* sebagai lapisan dinding *furnace* mampu meningkatkan unjuk kerja *furnace* peleburan aluminium 2 (dua) kali lebih baik dibanding dinding *furnace* tanpa dilapisi *ceramic fiber*.

ABSTRACT

The aluminum smelting process requires heat equivalent to a temperature of 660 °C. During the melting process, heat energy in the melting chamber experiences losses in the form of heat transfer by conduction, through the furnace walls to the environment. To ensure that the metal melting process runs effectively, it is important to choose a furnace wall material that can reduce heat loss. This study compares the performance of aluminum melting furnaces by comparing the conduction heat transfer that occurs on the walls of the melting furnace with and without an insulator in the form of a ceramic fiber layer. The furnace walls were made of refractory cement with a thickness of 3 cm. The thickness of the ceramic fiber layer was 5 cm. The test results showed that the highest melting chamber temperature without insulator (TinS) was 394 °C and with insulator (TinSc) was 616 °C. The highest external temperature of the furnace wall without insulator (Touts) was 127 °C and with insulator (Toutsc) was 61 °C. The value of the furnace heat change based on a comparison of the inner and outer wall temperatures of the furnace showed that the furnace with ceramic fiber layer produced a higher value by factor of 1.72. The fuel heat utilization for melting increased from 0.615% for a furnace without ceramic fiber lining to 1.26% for a furnace wall with ceramic fiber lining. The use of ceramic fiber lining increased the performance of the aluminum melting furnace by two times compared with a furnace wall without ceramic fiber lining.

1. PENGANTAR

Proses peleburan aluminium terjadi karena perubahan energi kimia dari bahan bakar gas menjadi energi panas. Panas dihasilkan dari nyala api yang digunakan untuk proses peleburan. Peleburan aluminium membutuhkan energi panas sampai setara temperatur leleh aluminium 660°C (Wahyudi, 2016). Energi panas dari bahan bakar merambat pada bagian *furnace* yang menghasilkan perpindahan panas secara konduksi melalui dinding *furnace* (Gunawan dkk., 2023; Kayode dkk., 2022). Semakin besar panas yang berpindah secara konduksi ke lingkungan maka semakin besar juga kerugian panas yang terjadi (Carter & Norton, 2007). Oleh karena itu, diperlukan pemilihan bahan dinding *furnace* peleburan yang kuat dan mampu meminimalisir terjadinya kerugian panas secara konduksi.

Penelitian dari Hanif Setiawan dkk berhasil membuat struktur *furnace* berupa bangunan ber dinding plat baja yang bagian dalamnya dilapisi oleh material tahan api, bata isolasi untuk menahan kehilangan panas ke udara melalui dinding *furnace* dan refraktori (Setiawan, 2021). M. Romadon dkk berhasil membuat perancangan ulang *furnace* untuk peleburan aluminium dengan kapasitas 5 kg berbahan bakar LPG (Arianto & Anjani, 2023). Jenis *furnace* Krusibel berbahan bakar gas LPG digunakan untuk 59 pengujian menggunakan tiga cawan lebur berdiameter variabel (138 mm, 112 mm, dan 88 mm) selama 30 menit. Hasil pengujian selama 30 menit yang paling efisien terdapat pada variabel ketiga: volume $4678,6 \text{ cm}^3 = 0,15 \text{ kg}$ LPG.

Perancangan produk merupakan langkah awal dari proses pembuatan termasuk dalam pembuatan *furnace* peleburan aluminium. Perancangan *furnace* peleburan aluminium perlu mempertimbangkan beberapa hal diantaranya biaya perawatan yang ekonomis, mudah dipindahkan dan sistem operasi efektif (Zuhdi dkk., 2024). Mengacu dari berbagai referensi diatas, *furnace* peleburan yang dibuat dan diteliti ini didisain memiliki sistem pemanas berbahan bakar LPG dilengkapi *furnace high pressure type blower* dan dapur *crucible grafit* sebagai wadah peleburan aluminium. Dinding *furnace* pelebur aluminium standar hanya menggunakan semen tahan api dengan tebal 30 mm. Selanjutnya sebagai pembanding, dinding *furnace* pelebur juga didesain menggunakan lapisan *ceramic fiber* dengan tebal lapisan 50 mm.

Semen tahan api merupakan semen khusus pasang bata tahan api, fungsi utama semen ini ialah sebagai penutup celah antar bata. Ketebalan adonan antara bata disarankan tidak boleh melebihi 2 mm. Semen ini bisa kering jika sudah terjadi proses pembakaran selama beberapa jam, atau dikenal dengan proses *Heating Up*. Material berupa bubuk halus selayaknya semen pada umumnya.

Ceramic fiber ini digunakan untuk meredam panas dengan daya tahan temperatur maksimal 1260°C . Tujuan penggunaan *ceramic fiber* adalah untuk mengurangi panas yang terbuang pada saat proses pembakaran sehingga mampu mempersingkat waktu peleburan aluminium, dikarenakan semakin rendah kerugian panas yang terbuang ke lingkungan maka panas di dalam *furnace* semakin tinggi sehingga semakin cepat proses peleburan aluminium tersebut.

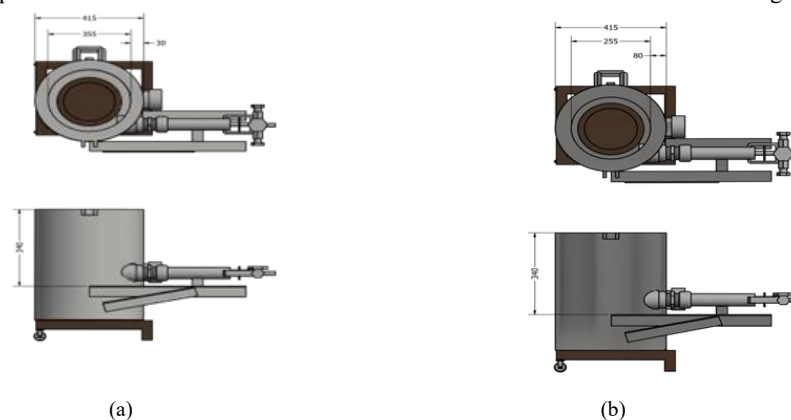
Ceramic fiber adalah material yang terbuat dari lelehan bahan-bahan murni, melalui proses *electromelted*, semburan angin tekanan tinggi, dan proses fiberized (Hu & Liu, 2010). *Ceramic fiber* merupakan suatu produk penyekatan (isolasi) yang flexible, kuat dan ringan. *Ceramic fiber* memiliki sifat yang tidak mudah terbakar dan telah disetujui untuk digunakan terhadap pembakaran selulosik dan pembakaran hidrokarbon, cocok digunakan untuk pembungkus kering struktur baja dan konstruksi gabungan untuk perlindungan terhadap kebakaran (Zhang dkk., 2024). Tersedia dalam berbagai komposisi kimia, kepadatan dan kombinasi ukuran, *ceramic fiber* merupakan salah satu produk yang paling serbaguna yang tersedia untuk keperluan industri pada saat ini. *Ceramic fiber* tidak mengandung senyawa pengikat organik maupun anorganik, tidak pernah mencemari atmosfer dari *furnace* pembakaran dan tidak mengeluarkan bau yang menyengat selama waktu operasi dari *furnace* pembakaran.

Penggunaan *ceramic fiber* sebagai pelapis dinding bagian dalam semen api akan mampu menahan panas agar tidak terbuang ke lingkungan. Hal ini karena *ceramic fiber* lebih bersifat sebagai bahan isolator karena memiliki nilai konduktivitas termal bahan (k) yang kecil sekali. Dengan demikian, diharapkan *furnace* peleburan mengalami peningkatan unjuk kerja atau lebih efektif meleburkan aluminium.

2. METODE

2.1 Metode Eksperimen

Metode eksperimen ini bertujuan untuk mengetahui perpindahan panas dan laju perpindahan panas khususnya secara konduksi pada dinding *furnace* pengecoran aluminium. Dinding *furnace* peleburan dibuat dari semen api dengan kode produk TNC-15 yang memiliki nilai konduktivitas termal bahan (k) sebesar $0,74 \text{ kkal/h.m.}^{\circ}\text{C}$ ($0,86 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$) produksi PT. Benteng Api Refractorindo. Detail spesifikasi semen api ditampilkan pada Gambar 1 dan Tabel 1. Adapun untuk *ceramic fiber* menggunakan tipe 128/25 yang ditunjukkan oleh Gambar 2 memiliki daya tahan temperatur maksimal 1260°C dan nilai konduktivitas termal bahan (k) sebesar $0,085 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$. Dalam metode ini penulis melakukan pengujian pada Laboratorium Material Fakultas Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang.



Gambar 1: Desain *Furnace* Peleburan Aluminium (a) Tanpa *Ceramic fiber*, dan (b) Menggunakan *Ceramic fiber*

Tabel 1: Spesifikasi Semen Tahan Api

Product	Max. Service Temp (°C)	Bulk Density (ton/m ³)	Add Water (%)	Thermal Conductivity		Chemical Composition		Application
				350°C	450°C	Al ₂ O ₃	SiO ₂	
				(kcal/mh°C)		Al ₂ O ₃		
TNC-12	1050	1,8-1,9	14-18	0,48	0,52	> 28	< 56	General use in industrial furnaces, boilers, incinerators, etc
TNC-13	1200	1,8-1,9	14-18	0,52	0,55	> 32	< 52	
TNC-14	1350	1,9-2,0	13-18	0,71	0,76	> 40	< 48	
TNC-15	1400	2,0-2,1	13-16	0,74	0,8	> 44	< 45	
TNC-16	1500	2,1-2,2	12-16	0,82	0,87	> 50	< 36	
TNC-17	1650	2,2-2,3	12-16	0,89	0,92	> 60	< 28	Used for combustion chamber of boilers, industrial furnace, etc
TNC-180SF	1750	2,7-2,8	10-12	1,0	1,3	> 90	< 5	
TNC-16 H	1500	2,1-2,3	8-12	0,8	0,85	> 50	< 38	
TNC-17 H	1650	2,3-2,5	5-10	1,1	1,4	> 62	< 25	



Gambar 2: Ceramic fiber Type 128/25

2.2 Metode Literatur

Metode yang digunakan dalam studi literatur ini untuk memecahkan masalah dengan teori – teori yang didapat dari sejumlah artikel ilmiah dan buku penunjang sesuai masalah yang diteliti guna untuk memecahkan suatu permasalahan yang terdapat dalam kajian teori.

2.3 Parameter Terikat

Parameter terikat adalah parameter yang didapatkan dari data yang diperoleh setelah pengujian,.

- Temperatur dinding *furnace* tanpa *ceramic fiber* dan memakai *ceramic fiber*
- Perubahan massa cairan Aluminium

2.4 Parameter Bebas

Parameter bebas dalam pengujian ini adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengetahui mencairnya aluminium

2.5 Parameter Kontrol

Parameter Kontrol merupakan parameter yang dapat control supaya stabil/konstan pada saat pengambilan data. Parameter kontrol dalam pengujian ini adalah laju aliran massa gas LPG (0,00052 kg/det).

2.6 Alat Pengujian

Alat pengujian pada penelitian ini terdiri dari timbangan digital, termokopel, dan *stopwatch* yang ditunjukkan pada Gambar 3. Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa dari aluminium. Termokopel digunakan untuk mengukur temperatur dinding luar dan dalam pada *furnace*. *Stopwatch* untuk mengukur waktu.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3: Alat Pengujian a) Timbangan b) Termokopel dan c) Stopwatch

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian dan Perhitungan

Spesifikasi dan perhitungan *furnace* tanpa *ceramic fiber* dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan *furnace* yang menggunakan *ceramic fiber* yang dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5. Perhitungan temperatur dinding, perubahan temperatur dan kalor dihitung pada persamaan 1 sampai 10.

Tabel 2: Spesifikasi *Furnace* tanpa *Ceramic Fiber*

Spesifikasi	Nilai
(k) semen	0,860456 W/m.°C
Tinggi <i>furnace</i> (l)	0,34 m
Dsi	0,355 m
Dso	0,415 m
Ts	0,03 m
Nilai kalor gas	47111797,5 J/kg

Tabel 3: Rekapitulasi Pengujian *Furnace* Peleburan tanpa *Ceramic Fiber*

No	Waktu	Ms	Tsi	Tso	DTi	DTo	(Ti-To)s	Mls	Qs	Qls
	menit	kg	°C	°C	°C	°C	°C	kg	W	kW
1	0	8,39	29	29	-	-	-	-	-	-
2	2	8,32	208	46	179	46	162	0,07	13,76	27,48188
3	4	8,185	317	58	109	47	259	0,135	22,00	53,00077
4	6	8,045	363	54	46	48	309	0,14	26,25	54,96376
5	8	7,905	396	67	33	49	329	0,14	27,95	54,96376
6	10	7,775	394	67	-2	50	327	0,13	27,78	51,03778
7	12	7,67	376	80	-18	51	296	0,105	25,15	41,22282
8	14	7,585	359	82	-17	52	277	0,085	23,53	33,37086
9	16	7,515	338	91	-21	53	247	0,07	20,98	27,48188
10	18	7,46	314	98	-24	54	216	0,055	18,35	21,59291
11	20	7,42	282	98	-32	55	184	0,04	15,63	15,70393
12	22	7,39	271	101	-11	56	170	0,03	14,44	11,77795
13	24	7,37	269	103	-2	57	166	0,02	14,10	7,851966
14	26	7,36	270	106	1	58	164	0,01	13,93	3,925983
15	28	7,34	280	101	10	59	179	0,02	15,21	7,851966
16	30	7,325	287	111	7	60	176	0,015	14,95	5,888975
17	32	7,315	293	121	6	61	172	0,01	14,61	3,925983
18	34	7,295	299	127	6	62	172	0,02	14,61	7,851966
19	36	7,255	305	119	6	63	186	0,04	15,80	15,70393

Tabel 4: Spesifikasi *Furnace* dengan *Ceramic Fiber*

Spesifikasi	Nilai
(k) <i>Ceramic Fiber</i>	0,085 W/m.°C
Tinggi <i>furnace</i> (l)	34 cm
Dci	25,5 cm
Dco	35,5 cm
Tc	5 cm
Dsi	35,5 cm
Dso	41,5 cm
Ts	3 cm
Rc	1,82204458 W/m.°C
Rs	0,84954151 W/m.°C
Res	1,90699873 W/m.°C
Nilai kalor gas	11254,61 kkal/kg

Tabel 5: Rekapitulasi Pengujian *Furnace* Peleburan dengan *Ceramic Fiber*

No	Waktu menit	Msc kg	Tci °C	Tfc °C	Tsco °C	DTi sc °C	DTo sc °C	(Ti-To)sc °C	Mlsc kg	Qsc W	Qsc kW
1	0	8,15	30	30	30	-	-	-	-	-	-
2	2	8,06	183	37	34	153	46	149	0,09	1426,06	35,33385
3	4	7,935	353	44	38	170	47	315	0,125	3014,82	49,07479
4	6	7,815	449	56	45	96	48	404	0,12	3866,63	47,1118
5	8	7,695	513	66	53	64	49	460	0,12	4402,60	47,1118
6	10	7,57	567	75	55	54	50	512	0,125	4900,28	49,07479
7	12	7,455	598	81	49	31	51	549	0,115	5254,40	45,14881
8	14	7,365	611	86	47	13	52	564	0,09	5397,97	35,33385
9	16	7,285	616	90	49	5	53	567	0,08	5426,68	31,40786
10	18	7,21	616	92	50	0	54	566	0,075	5417,11	29,44487
11	20	7,155	613	93	48	-3	55	565	0,055	5407,54	21,59291
12	22	7,1	610	95	50	-3	56	560	0,055	5359,68	21,59291
13	24	7,055	607	96	54	-3	57	553	0,045	5292,69	17,66692
14	26	7,015	600	97	55	-7	58	545	0,04	5216,12	15,70393
15	28	6,985	591	99	57	-9	59	534	0,03	5110,84	11,77795
16	30	6,955	581	101	61	-10	60	520	0,03	4976,85	11,77795

Dalam 2 kali pengujian dengan perbandingan *furnace* tanpa dan menggunakan *ceramic fiber* dapat diketahui bahwa perhitungan perbandingan konduktansi termal pada persamaan 1 dan 2 (Bergman dkk., 2020).

Dimana:

R : Resistansi termal ($^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$)

2π : Luas diameter lingkaran

k : Nilai konduktivitas bahan ($\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)

l : Tinggi *furnace* pengecoran (m)

$$R_c = \left(\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \cdot k \cdot l} \right) = \left(\frac{\ln \frac{0,355}{0,255}}{2\pi \cdot 0,085 \cdot 0,34} \right) \quad (1)$$

$$R_c = 1,82204458 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_s = \left(\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \cdot k \cdot l} \right) = \left(\frac{\ln \frac{0,415}{0,355}}{2\pi \cdot 0,860456 \cdot 0,34} \right) \quad (2)$$

$$R_s = 0,084954151 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_{cs} = R_c + R_s$$

$$R_{cs} = 1,82204458 + 0,084954151 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_{cs} = 1,90699873 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Perhitungan perbandingan ΔT persamaan 3 dan 4.

$$\Delta T_s = T_{si} - T_{so} (^{\circ}\text{C}) \quad (3)$$

$$\Delta T_s = 394 - 67 (^{\circ}\text{C})$$

$$= 327 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{sc} = T_{sci} - T_{sco} (^{\circ}\text{C}) \quad (4)$$

$$\Delta T_{sc} = 616 - 50 (^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta T_{sc} = 566 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Perhitungan Laju Perpindahan kalor secara konduksi pada dinding *furnace* persamaan 5 dan 6 (Cengel & Ghajar, 2014).

$$Q_s = \frac{T_1 - T_2}{\frac{R_1}{k_1} + \frac{R_2}{k_2}} = \frac{396 - 67}{\frac{0,084954151}{0,085} + \frac{0,084954151}{0,860456}} = 27,95 \text{ W} \quad (5)$$

$$Q_{sc} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{R_1}{k_1} + \frac{R_2}{k_2} + \frac{R_3}{k_3}} = \frac{616 - 50}{\frac{0,084954151}{0,085} + \frac{1,82204458}{0,860456} + \frac{0,084954151}{0,860456}} = 1079,36 \text{ W} \quad (6)$$

$$Q_{sc} = 1079,36 \text{ W}$$

Perhitungan Jumlah kalor yang tersedia tanpa *Ceramic fiber* pada persamaan 7 (Holman, 2009). (7)

$$Q_{\text{Kalor}} = m_{\text{gas}} \times mc$$

$$Q_{\text{Kalor}} = 0,00052 \text{ kg/det} \times 11.254,61 \text{ kkal/kg}$$

$$Q_{\text{Kalor}} = 5,85 \text{ kkal/det} = 24,4 \text{ kJ/det}$$

Perhitungan Jumlah kalor untuk peleburan Alumunium tanpa *Ceramic fiber* pada persamaan 8

$$\begin{aligned} C_{p_{\text{gas}}} &= (1,086 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \text{ Diambil dari tabel panas spesifik LPG.} \\ Q_{\text{kalor yang dipakai}} &= m_{\text{gas}} \times (C_{p_{\text{gas}}} \times (T_{\text{Akhir}} - T_{\text{Ruang}})) \\ Q_{\text{kalor yang dipakai}} &= 0,00052 \text{ kg/det} \times (1,086 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times (305 - 29) ^\circ\text{C} \\ Q_{\text{kalor yang dipakai}} &= 0,15 \text{ kJ/det} (0,15/24,4 \times 100\% = 0,615\%) \end{aligned} \quad (8)$$

Perhitungan jumlah kalor yang tersedia menggunakan *Ceramic fiber* pada persamaan 9.

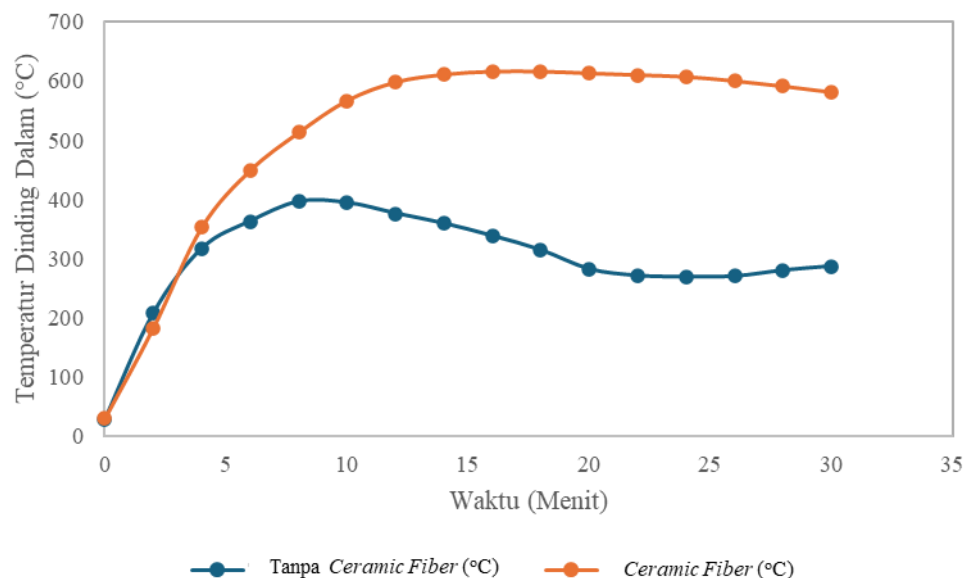
$$\begin{aligned} Q_{\text{Kalor}} &= m_{\text{gas}} \times mc \\ Q_{\text{Kalor}} &= 0,00066 \text{ kg/det} \times 11.254,61 \text{ kkal/kg} \\ Q_{\text{Kalor}} &= 7,42 \text{ kkal/det} = 31 \text{ kJ/det} \end{aligned} \quad (9)$$

Perhitungan Jumlah kalor untuk peleburan Alumunium menggunakan *Ceramic fiber*. $C_{p_{\text{gas}}} = (1,086 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})$ Diambil dari tabel panas spesifik LPG menggunakan persamaan 10.

$$\begin{aligned} Q_{\text{kalor yang dipakai}} &= m_{\text{gas}} \times (C_{p_{\text{gas}}} \times (T_{\text{Akhir}} - T_{\text{Ruang}})) \\ Q_{\text{kalor yang dipakai}} &= 0,00066 \text{ kg/det} \times (1,086 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times (581 - 30) ^\circ\text{C} \\ Q_{\text{kalor yang dipakai}} &= 0,39 \text{ kJ/det} (0,39/31 \times 100\% = 1,26\%) \end{aligned} \quad (10)$$

3.2 Analisis Perbandingan Temperatur Dinding Dalam Pada Furnace Peleburan Alumunium dengan Menggunakan dan Tanpa *Ceramic fiber*

Gambar 4 menunjukan pada *furnace* tanpa lapisan *ceramic fiber* suhu tertinggi yang dihasilkan mencapai 394°C . Suhu tertinggi tersebut dicapai saat waktu pengujian memasuki menit ke-7 sampai menit ke-10. Sebelum menit ke-7 grafik mengalami kenaikan, dikarenakan panas dari api gas LPG. Gas LPG sebagai sumber energi dalam peleburan logam yang memanasi bagian dalam *furnace*. Proses pemanasan dimulai dari kondisi lingkungan sampai kondisi tertinggi sebelum dinding mencapai kemampuan maksimalnya menahan besar kerugian kalor. Oleh karena itu, setelah menit ke-10 atau mencapai puncak temperatur maka grafik mengalami penurunan. Kondisi ini menunjukkan kerugian panas secara perpindahan panas konduksi melewati dinding semen api semakin besar, sehingga panas di ruang peleburan menjadi berkurang yang ditunjukkan dengan penurunan temperatur di dalam ruang *furnace*. Jika pemanasan peleburan logam diteruskan pada *furnace* peleburan yang dindingnya hanya terbuat dari semen api maka panas di dalam *furnace* stabil di temperatur 300°C . Kondisi ini tidak efektif untuk proses peleburan alumunium (Irianto dkk., 2024).



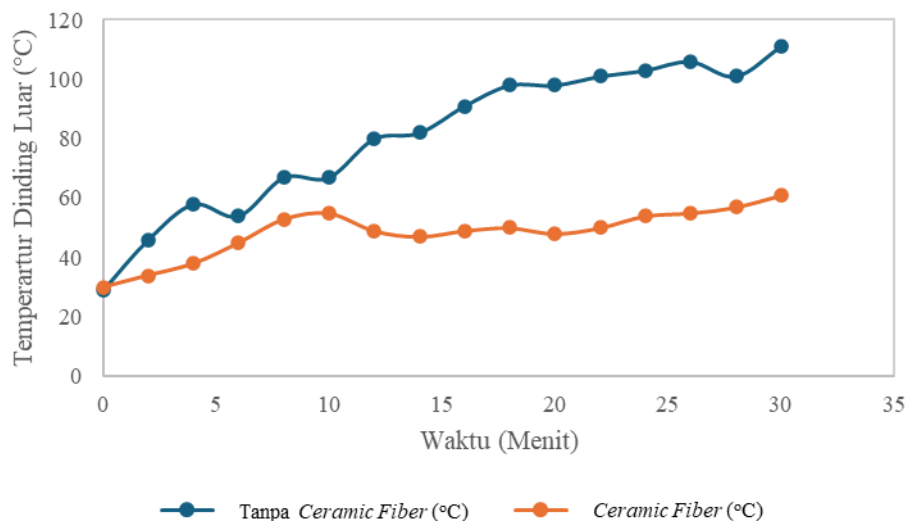
Gambar 4: Temperatur Dinding Dalam Pada *Furnace* Peleburan Alumunium dengan Menggunakan dan Tanpa *Ceramic fiber*

Adapun untuk *furnace* yang menggunakan lapisan *ceramic fiber*, suhu tertinggi yang dihasilkan mencapai 616°C . Proses peleburan alumunium berlangsung efektif dan melebur sempurna pada menit ke-30. Hal ini dikarenakan, penggunaan serat keramik setebal 5 cm sebagai lapisan dinding mampu menahan kehilangan kalor ke lingkungan dengan mampu mempertahankan temperatur di dalam *furnace* peleburan pada kisaran suhu 600°C atau secara rata-rata 1,82 kali lebih tinggi dibanding pada *furnace* tanpa *ceramic fiber*. Suhu yang lebih tinggi pada *furnace* *ceramic fiber* menjadikan proses peleburan menjadi lebih efisien, karena panas menjadi lebih terperangkap dan mengurangi kebutuhan energi tambahan untuk mempertahankan suhu yang tinggi. Selain itu dengan sifat ketahanan kejutan termal yang baik *furnace* menjadi lebih awet terhadap kerusakan ketika terjadi perubahan kenaikan temperatur (Dalğıç & Yılmaz Polat, 2024).

Berdasarkan perbandingan kedua kondisi tersebut dapat disimpulkan, *furnace* tanpa lapisan serat keramik tidak mampu menahan suhu yang sangat tinggi dibandingkan dengan *furnace* yang menggunakan fiber keramik. Serat keramik setebal 5 cm sebagai lapisan dinding *furnace* mampu menahan kerugian kalor yang terbuang ke lingkungan dan menjadikan temperatur di dalam *furnace* cenderung stabil sehingga peleburan bisa bekerja efektif dan waktu peleburan alumunium menjadi lebih cepat (Istana & Lukman, 2016). *Furnace* menggunakan *ceramic fiber* memiliki kelebihan dalam hal efisiensi, ketahanan temperatur yang tinggi dan stabilitas temperatur yang baik. Kondisi ini terjadi karena material *ceramic fiber* memiliki sifat konduktivitas thermal yang rendah, ketahanan kejutan termal dan memiliki elastisitas yang tinggi (Moore, 1989).

3.3 Analisa Perbandingan Temperatur Dinding Luar Pada Furnace Peleburan Alumunium dengan Menggunakan dan Tanpa Ceramic fiber

Grafik pada gambar 5, menunjukkan bahwa seiring waktu pengujian, temperatur dinding luar *furnace* tanpa serat keramik terus meningkat secara linier mengikuti tren persamaan $y = 4,7035x + 40,283$. Temperatur tertinggi dihasilkan mendekati akhir pengujian pada menit ke-30 sebesar 127°C. Hal ini menunjukkan kerugian kalor yang terbuang ke lingkungan melalui proses perpindahan panas konduksi semakin besar sesuai fungsi waktu. Dengan kata lain dinding dari semen api tidak cukup baik dalam meredam kerugian panas. Hal ini menyebabkan suhu pada dinding luar *furnace* menjadi tinggi. Pada fase ini panas yang diterima akan terasa hingga jarak 1 (satu) meter dari tempat peleburan aluminium.



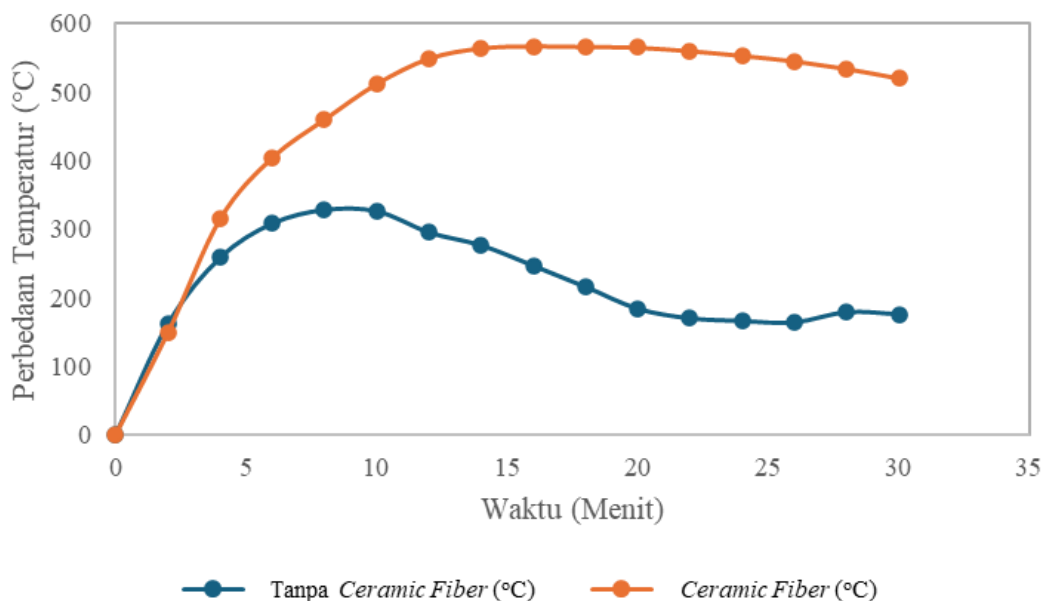
Gambar 5: Temperatur Dinding Luar pada *Furnace* Peleburan Alumunium dengan Menggunakan dan Tanpa *Ceramic fiber*

Adapun saat *furnace* yang menggunakan lapisan serat keramik pada dinding dalam *furnace* memperlihatkan tren kenaikan grafiknya jauh lebih landai, nilai temperaturnya dua kali lebih rendah dibanding *furnace* standar yang tanpa menggunakan serat keramik. Setelah menit ke-10, temperatur dinding luar cenderung stabil di temperatur 50°C. Kondisi tersebut terjadi karena serat keramik memiliki konduktivitas termal yang rendah, sehingga efektif mengurangi perpindahan panas dari dalam *furnace* ke lingkungan sekitarnya. Temperatur tertinggi dihasilkan di akhir pengujian sebesar 61°C. Ketika logam aluminium sudah melebur sempurna. Hal ini menguatkan analisa dari gambar 4 sebelumnya, yaitu penggunaan serat keramik setebal 50 mm sebagai lapisan dinding efektif menahan kehilangan kalor ke lingkungan. Rendahnya suhu pada dinding luar *furnace* akan membuat *furnace* lebih awet untuk proses peleburan aluminium (Raharjo, 2017). Temperatur dinding luar yang lebih rendah berdampak pada meminimalisirnya kehilangan panas dan memungkinkan ruangan pembakaran pada *furnace* menjadi lebih besar (Roy dkk., 2025).

3.4 Analisis Perbandingan Perubahan Temperatur Yang Diterima Dinding Pada Furnace Peleburan Alumunium dengan Menggunakan dan Tanpa Ceramic fiber

Pada gambar 6 bertanda bulat menunjukkan perubahan panas pada *furnace* tanpa *ceramic fiber* dan grafik bertanda persegi empat menunjukkan perubahan panas pada *furnace* menggunakan lapisan *ceramic fiber*. Perbandingan selisih temperatur antara tingginya temperatur bagian dalam (Tin) dengan temperatur dinding bagian luar (Tout) *furnace*. Pengujian *furnace* tanpa *ceramic fiber* memperlihatkan pada sepuluh menit pertama, selisih temperatur meningkat sampai mencapai 329°C, setelah itu terus menurun dan stabil di sekitar temperatur 180°C. Pada sepuluh menit pertama, adalah awal proses peleburan sehingga bagian dalam sudah menerima panas dari nyala api LPG tapi dinding bagian luar masih dingin, setelah itu dinding *furnace* tidak mampu menahan aliran panas dari ruang pembakaran dan panas yang terbuang di permukaan dinding luar semakin besar.

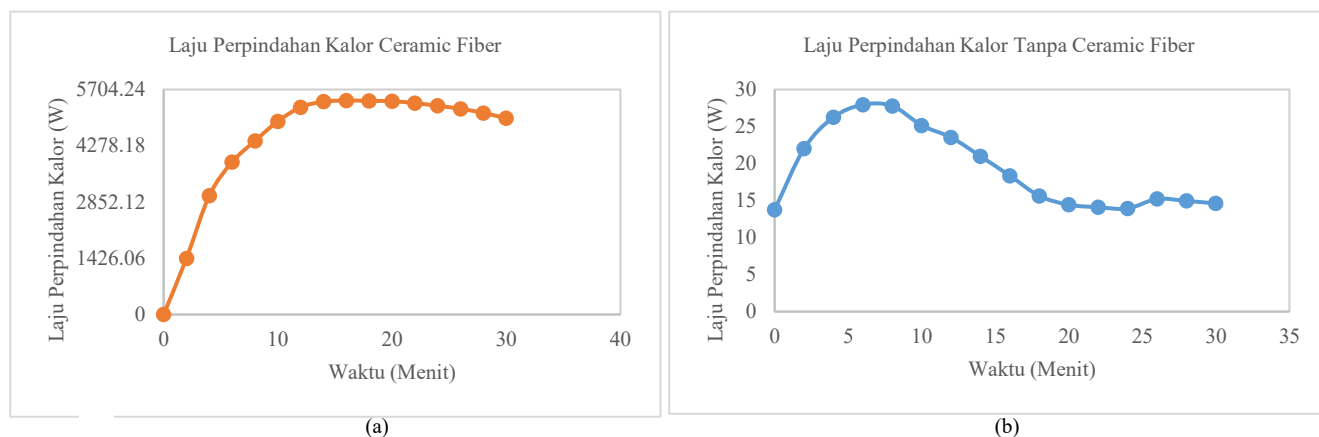
Adapun pada *furnace* yang menggunakan *ceramic fiber*, setelah empat belas menit peleburan, selisih temperatur antara dinding dalam dan dinding luar stabil di sekitar temperatur 566°C. Hal ini menunjukkan lapisan *ceramic fiber* memang efektif, menahan panas pada ruang pembakaran dan dapat memaksimalkan panas pada ruang pembakaran, serta mampu meminimalkan panas yang terbuang ke lingkungan. Karena konduktivitas termalnya rendah, lebih sedikit panas yang hilang ke lingkungan, meningkatkan efisiensi energi. Hal ini memungkinkan *furnace* beroperasi pada suhu tinggi dengan konsumsi energi yang lebih rendah. Penggunaan serat keramik dalam *furnace* memberikan keuntungan dalam hal suhu dinding luar yang lebih rendah, efisiensi energi yang lebih tinggi, dan ketahanan terhadap kejutan termal yang lebih baik. Hal ini menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk aplikasi yang memerlukan suhu tinggi dan efisiensi energi (Nony dkk., 2014).



Gambar 6: Perubahan Panas Yang Diterima Dinding Pada *Furnace* Peleburan Alumunium dengan Menggunakan dan Tanpa *Ceramic fiber*

3.5 Analisa Perbandingan Nilai Konduktivitas Termal Dinding Pada *Furnace* Peleburan Alumunium dengan Menggunakan dan Tanpa *Ceramic fiber*

Pada gambar 7, grafik yang bertanda bulat menunjukkan *furnace* tanpa *ceramic fiber* dan yang bertanda persegi empat menunjukkan *furnace* menggunakan *ceramic fiber*. Laju perpindahan kalor secara konduksi ditentukan oleh konduktivitas termal bahan (k), luasan terpapar panas (A), tebal bahan (x) dan gradien temperatur (ΔT). Sebagaimana diketahui nilai tebal dan k semen api sebesar 3 cm dan 0,860456 W/m.°C, sedangkan tebal dan nilai k dari *ceramic fiber* adalah 5 cm dan 0,085 W/m.°C. Artinya dinding semen api memiliki kemampuan menghantarkan kalor 10 kali lebih baik dibanding *ceramic fiber*. Berdasarkan nilai k yang sangat kecil, *ceramic fiber* dikategorikan sebagai bahan isolator.



Gambar 7: Laju perpindahan kalor pada Dinding *Furnace* Peleburan Alumunium dengan Menggunakan *Ceramic* (a) dan Tanpa *Ceramic fiber*(b)

Penggunaan lapisan *ceramic fiber* yang melapisi bagian dalam dinding semen api merupakan keputusan yang sangat baik karena efektif menahan kalor di ruang peleburan untuk tidak banyak hilang karena mengalir ke lingkungan secara konduksi lewat dinding *furnace*. Pada dinding *furnace* dengan ketebalan 3 cm tanpa menggunakan *ceramic fiber*, terbukti *furnace* tidak dapat menahan panas sehingga sangat banyak panas yang terbuang secara konduksi ke lingkungan. Sedangkan *furnace* yang menggunakan tambahan lapisan *ceramic fiber* dengan tebal 5 cm terbukti mampu meminimalkan kerugian panas. Dengan demikian, kalor di ruang peleburan tetap terjaga tinggi. Hal ini ditunjukkan lewat tingginya temperatur di dinding dalam *furnace* sebagaimana telah dibahas di gambar 4. Selain itu lapisan *ceramic fiber* juga mampu menjaga dinding semen menjadi lebih dingin sehingga akan meningkatkan umur pakai *furnace*. Hal ini ditunjukkan lewat rendahnya temperatur bagian luar dinding *furnace* sebagaimana telah dibahas di gambar 5. Dengan demikian mampu menghasilkan nilai gradien temperatur yang jauh lebih besar dibanding *furnace* tanpa *ceramic fiber*. Berdasar penjelasan pengaruh, k , x dan ΔT diatas, maka bisa dipahami mengapa *furnace* peleburan yang menggunakan lapisan *ceramic fiber* mampu bekerja efektif karena rata-rata nilai kalor per satuan waktu di dalam ruang peleburan untuk *furnace* yang menggunakan lapisan *ceramic fiber* 250 kali lebih besar dibanding *furnace* tanpa menggunakan lapisan *ceramic fiber*.

4 KESIMPULAN

Penggunaan lapisan *ceramic fiber* pada *furnace* peleburan aluminium secara signifikan meningkatkan unjuk kerja termal *furnace*. Pada *furnace* tanpa lapisan *ceramic fiber*, temperatur dinding bagian dalam mencapai suhu maksimum sebesar 396°C, sedangkan pada *furnace* yang dilapisi *ceramic fiber*, suhu tertinggi hanya mencapai 616°C. Hal ini menunjukkan bahwa *ceramic fiber* secara efektif

menahan panas dalam ruang peleburan, sehingga proses peleburan berlangsung lebih efisien. Selain itu, temperatur dinding luar pada furnace tanpa *ceramic fiber* tercatat sebesar 127°C, sedangkan pada furnace dengan *ceramic fiber*, hanya mencapai 67°C. Ini membuktikan bahwa *ceramic fiber* mampu meminimalkan kehilangan panas ke lingkungan secara signifikan. Rata-rata laju perpindahan panas secara konduksi di dalam ruang peleburan pada furnace yang menggunakan *ceramic fiber* tercatat 250 kali lebih besar dibandingkan furnace tanpa *ceramic fiber*, yang menunjukkan efisiensi penyerapan dan retensi panas yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, penggunaan *ceramic fiber* pada dinding bagian dalam furnace terbukti meningkatkan efisiensi termal, mengurangi kerugian energi, dan memberikan unjuk kerja furnace yang jauh lebih baik dalam proses peleburan aluminium.

DAFTAR PUSTAKA

- Arianto, M. R. D., & Anjani, R. D. (2023). Perancangan Furnace Untuk Peleburan Aluminium Dengan Kapasitas 5 Kg. *V-MAC (Virtual of Mechanical Engineering Article)*, 8(2), Article 2.
- Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2020). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (8th edition). Wiley.
- Carter, C. B., & Norton, M. G. (Ed.). (2007). Furnaces. Dalam *Ceramic Materials: Science and Engineering* (hlm. 139–153). Springer.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2014). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications* (5th edition). McGraw Hill.
- Dalğıç, A., & Yılmaz Polat, B. (2024). The Behavior of Ceramic Fiber Geopolymer Concrete under the Effect of High Temperatur. *Applied Sciences*, 14(4), Article 4.
- Gunawan, K., Yulian, K. D., Hartanto, A. T., & Sudaryana, I. G. S. (2023). Perancangan Dan Pembuatan Furnace Peleburan Logam Untuk Menunjang Kegiatan Praktikum Dan Penelitian Di Laboratorium Manufaktur. 11(1).
- Holman, J. (2009). *Heat Transfer* (10th edition). McGraw-Hill Education.
- Hu, H., & Liu, Y. (2010). 11—High modulus, high tenacity yarns. Dalam R. Alagirusamy & A. Das (Ed.), *Technical Textile Yarns* (hlm. 329–386). Woodhead Publishing.
- Irianto, R. W., Pradana, Y. R. A., & Suprayitno, S. (2024). Metal Casting Furnace Design Development Using Computer Simulation. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology (JMEST)*, 8(1), Article 1.
- Istana, B., & Lukman, J. (2016). Rancang Bangun dan Pengujian Furnace Peleburan Aluminium Berbahan Bakar Minyak Bekas. *Jurnal Surya Teknik*, 2(04), Article 04.
- Kayode, O. I., Rasaq Adetunji, O., Busayo, A., Musibaudeen, I., & Abdulhafiz, A. (2022). Optimization of furnace working index. *Borobudur Engineering Review*, 2(2), 57–73.
- Moore, G. A. (1989). 17—Ceramic Fibres. Dalam G. Allen & J. C. Bevington (Ed.), *Comprehensive Polymer Science and Supplements* (hlm. 521–528). Pergamon.
- Nony, P., Scribner, K., & Hesterberg, T. (2014). Synthetic Vitreous Fibers. Dalam P. Wexler (Ed.), *Encyclopedia of Toxicology (Third Edition)* (hlm. 448–453). Academic Press.
- Raharjo, A. C. (2017). Rancang Bangun Dapur Pemanas (MUFFLE FURNACE) Menggunakan Bahan Bakar Gas (LPG).
- Roy, S., Kulshrestha, M., Bhargava, P., & Das, S. (2025). Manufacturing of ceramic fibers: An overview. *Journal of the Korean Ceramic Society*.
- Setiawan, H. (2021). Rancang Bangun Furnace Pemanas Listrik "MEKA" (Mesin Uika) Kapasitas 2800 Watt. *ALMIKANIKA*, 2, 130–137.
- Wahyudi, M. (2016). Analisis Kemampuan Material Furnace dalam Menahan Panas pada Furnace Lebur Aluminium dengan Bahan Bakar Gas.
- Zhang, X., Hou, F., Du, H., Yan, L., Guo, A., Ma, X., & Liu, J. (2024). Preparation of Ceramic Fiber Threads with Enhanced Abrasion Resistance Performance. *Materials*, 17(3), Article 3.
- Zuhdi, Z., Rosadi, M., Basuki, & Irfa'i, M. (2024). Rancang Bangun Furnace Peleburan Aluminium Kapasitas 2 Kg Menggunakan Bahan Bakar LPG. *Jurnal MOTION (Manufaktur, Otomasi, Otomotif, dan Energi Terbarukan)*, 3, 19–23.