

## Analisa Perpindahan Panas Furnace Menggunakan Kawat Nikelin 2 mm

Muhammad Fahmi Hasanuddin<sup>1</sup>, Ali Akbar<sup>2</sup>, Haris Mahmudi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: \*<sup>1</sup>[fahmi.hasan21@gmail.com](mailto:fahmi.hasan21@gmail.com), <sup>2</sup>[aliakbar@umsida.ac.id](mailto:aliakbar@umsida.ac.id), <sup>3</sup>[harismahmudi@unpkediri.ac.id](mailto:harismahmudi@unpkediri.ac.id)

**Abstrak** – Perkembangan teknologi saat ini menuntut banyak produk yang terbuat dari logam yang diproses dengan berbagai macam metode seperti pengecoran, penempaan, perlakuan panas, dan lain sebagainya. Untuk melakukan hal tersebut diperlukan alat pemanasan logam, salah satunya berupa *furnace*. Untuk mengetahui karakteristik *furnace* ini maka perlu dilakukan analisis. Dari hasil analisis diketahui *furnace* memiliki output maksimum sebesar 18,35 kilowatt dan mampu mencapai suhu 1000°C dari suhu 26°C dalam waktu 15 menit 45 detik dengan rata-rata kenaikan suhu 1,064°C per detik. Konsumsi daya *furnace* saat *steady state* adalah sebesar 454,03 watt pada suhu 100°C, 2194,45 watt pada suhu 200°C, 3016,11 watt pada suhu 300°C, 3897,47 watt pada suhu 400°C, 6598,57 watt pada suhu 500°C, 9887,83 watt pada suhu 600°C, 11.738,24 watt pada suhu 700°C, 13.793,03 watt pada suhu 800°C, 15.868,38 watt pada suhu 900°C, dan 17.199,90 watt pada suhu 1000°C. Akurasi suhu pada *furnace* tergantung pada tipe kontrolnya. Pada suhu target 400°C, kontrol tipe PID adalah yang paling akurat dengan variasi sebesar  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  setelah kondisi *steady*. Sedangkan pada kontrol tipe *on-off*, suhu *furnace* naik turun dari 396°C hingga 406°C secara berkala.

**Kata Kunci** — akurasi suhu, analisis, *furnace*, konsumsi daya.

**Abstract** – *Current technological advancements demand many products made of metal that are processed by various methods such as casting, forging, heat treatment, and so on. To achieve this, a metal heating device is needed, one of which is a furnace. To determine the characteristics of this furnace, it is necessary to do an analysis. From the analysis results, it is known that the furnace has a maximum output of 18.35 kilowatts and is able to reach a temperature of 1000°C from a temperature of 26°C in 15 minutes 45 seconds with an average temperature increase of 1.064°C per second. The power consumption of the furnace at steady state is 454.03 watts at 100°C, 2194.45 watts at 200°C, 3016.11 watts at 300°C, 3897.47 watts at 400°C, 6598.57 watts at 500°C, 9887.83 watts at 600°C, 11,738.24 watts at 700°C, 13,793.03 watts at 800°C, 15,868.38 watts at 900°C, and 17,199.90 watts at 1000°C. The temperature accuracy of the furnace depends on the type of control. At a target temperature of 400°C, the PID type control is the most accurate with a variation of  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  after steady conditions. While on the on-off type control, the furnace temperature rises and falls from 396°C to 406°C periodically.*

**Keywords** — analysis, furnace, power consumption, temperature accuracy.

### 1. PENDAHULUAN

*Furnace* atau tungku adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk proses perpindahan panas atau melelehkan logam. *Furnace* sering digunakan untuk pembuatan bagian mesin (*casting*) atau untuk pemanasan bahan serta mengubah bentuknya (misalnya *rolling*/penggulungan, penempaan) atau merubah sifat – sifatnya (perlakuan panas) [1].

Perancangan mesin *furnace* dilakukan untuk mempermudah melakukan penelitian tentang sifat mekanis logam dengan melakukan proses heat treatment dengan maksimal dan dengan tingkat akurasi kontrol suhu yang tinggi. Kualitas dari material hasil heat treatment bergantung pada akurasi mesin *furnace* tersebut. Untuk mengetahui karakteristik, efisiensi, dan akurasi mesin *furnace* tersebut, maka perlu

dilakukan penelitian tentang kajian analisa perpindahan panas pada mesin *furnace*.

Beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya antara lain adalah penelitian oleh Pudin, I. A. (2020) tentang Sistem Otomasi Mikrokontroler Untuk Furnace Dengan Kapasitas 7000 Watt. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem otomasi pada *furnace*. Sistem otomasi ini digunakan untuk mengatur temperatur pada *furnace* pada suhu yang diinginkan menggunakan suatu mikrokontroler. Pada sistem ini mikrokontroler dihubungkan pada kawat nikelin dan termokopel. Termokopel ini akan memberikan sinyal ke mikrokontroler untuk menentukan apakah arus listrik ke kawat nikelin diputus atau tidak. Dalam pengoperasiannya suhu dapat diatur dan dilihat kenaikan suhunya di layar *temperature control* tersebut sehingga *furnace* ini dapat digunakan dengan efisien

pada proses heat treatment uji kekerasan pada logam [2].

Penelitian kedua oleh Wardhana, A. I. (2020) dengan judul Desain Furnace Berbasis Microcontroller Dengan Kapasitas 7000 Watt yang Efektif dan Efisien. Pada penelitian ini dilakukan perancangan mesin furnace untuk mempermudah penelitian tentang sifat mekanis logam. Mesin furnace ini dirancang untuk bisa menghasilkan suhu dengan rianakurasi yang tinggi, sehingga penelitian sifat logam akan menghasilkan daya yang lebih akurat. Mesin furnace ini mampu bekerja hingga temperatur maksimal 1000°C, dengan kecepatan untuk pencapaian suhu 1000°C selama 16.560 detik (4,6 jam) dan rata-rata kenaikan 0.059°C/detik. Saat pengujian suhu ditahan pada temperatur 900°C, keadaan temperatur dalam tungku furnace tetap konstan dalam suhu 900°C [3].

Penelitian ketiga oleh Harianto, A. T. (2020) tentang Analisa Teknik dan Biaya Pembuatan Elektrik Furnace Berkapasitas 7000 Watt. Pada penelitian ini dilakukan analisa teknik dan biaya pembuatan mesin *furnace* supaya dapat memilih bahan baku dengan mudah. Dari analisa ini didapat bahwa baja ST 37 memiliki kekuatan yang cukup sebagai kerangka mesin dan mampu menahan beban komponen-komponen mesin seperti semen refraktori dan bata tahan api dengan baik [4].

Penelitian keempat oleh Atto'illah, M. P. I. (2020) tentang Analisa Mikrokontroler Untuk *Furnace* Kapasitas 7000 Watt. Penelitian ini bertujuan merancang mesin *furnace* dengan spesifikasi yang berbeda dari penelitian sebelumnya yang dilaksanakan di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Penelitian ini bertujuan untuk menambahkan komponen mikrokontroler yang berfungsi mengendalikan aliran listrik yang terdapat pada komponen didalamnya. Selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk mendeteksi kemungkinan permasalahan yang akan terjadi, di mana jika terjadi ketidakfungsian salah satu komponen maka pemanasan tidak akan mendapatkan hasil yang akurat atau hasil yang sempurna. Selain itu mikrokontroler juga dapat meringkas sistem kelistrikan. Pada penelitian ini digunakan mikrokontroler ATmega32 yang akan menerjemahkan inputan dari termokopel menjadi digital berupa *display*, dan akan menentukan *heater* untuk bekerja sesuai *input* dari termokopel [5].

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Identifikasi Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah atribut dari sekelompok objek yang diteliti yang memiliki variasi antara satu dengan yang lain dalam kelompok tersebut. Terdapat 2 macam variabel, yaitu variabel terikat dan variabel bebas. Variabel yang tergantung pada variabel lain disebut variabel terikat. Sedangkan variabel yang tidak tergantung dengan variabel lainnya disebut variabel bebas. Variabel pada penelitian ini antara lain:

1. Variabel terikat: tegangan input dan jumlah fasa, yaitu 220 V dan 3 fasa.
2. Variabel bebas: panjang dan lokasi elemen pemanas.

Penelitian sebelumnya menggunakan 18 buah koil elemen pemanas, terbagi dalam 3 fasa. Tiap fasa terdiri dari sambungan seri 6 buah koil dan tiap koil memiliki panjang kurang lebih sebesar 4 meter. Sehingga setiap fasa memiliki panjang kawat nikelin kurang lebih 24 meter dan panjang kawat dalam furnace total kurang lebih sebesar 72 meter. 8 dari 18 buah koil ini disusun secara horizontal pada dinding dalam furnace bagian samping, 4 di dinding kiri dan 4 di dinding kanan dan 10 buah koil sisanya terletak di dinding atas.

Untuk penelitian ini jumlah koil yang digunakan adalah 12 buah terbagi dalam 3 fasa, dengan panjang kawat nikelin pada tiap koil sama dengan penelitian sebelumnya, yaitu kurang lebih 4 meter dan tiap fasa terdiri dari 4 buah koil yang disusun seri. Lokasi koil sedikit berbeda dari sebelumnya. Pada penelitian 23 sebelumnya koil dipasang pada dinding samping kiri, kanan, dan atas, sedangkan pada penelitian ini koil dipasang pada dinding samping kiri, kanan, dan belakang.

### 2.2 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini akan dilakukan dengan metode observasi dengan cara mengamati perubahan nilai pada panel LCD pada kotak kontrol furnace dan nilai pada alat ukur yang digunakan. Alat ukur tersebut antara lain yaitu: *stopwatch*, termokopel, dan tang *ampere*. *Stopwatch* digunakan untuk melihat waktu yang telah berlalu, termokopel digunakan untuk mengetahui temperatur di dalam *furnace*, dan tang *ampere* digunakan untuk mengukur arus dan hambatan pada *furnace*.

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan 3 set data, yaitu:

1. Data waktu dan suhu *furnace* untuk mengetahui laju kenaikan suhu *furnace*.
2. Data siklus nyala-mati kontaktor untuk mengetahui besarnya konsumsi daya listrik oleh *furnace* saat digunakan pada suhu tertentu.
3. Data naik-turunnya suhu *furnace* pada suhu target tertentu untuk mengetahui akurasi suhu *furnace* tersebut untuk tipe kontrol *on off* dan PID.

Prosedur pengambilan data waktu dan suhu *furnace* adalah sebagai berikut:

1. Mencatat nilai panel LCD sebagai suhu awal (26°C) dan memulai stopwatch.
2. Menunggu 30 detik berlalu.
3. Mencatat bacaan panel LCD sebagai suhu akhir (51°C) setelah 30 detik berlalu .
4. Data dari langkah ke-3 (51°C) dicatat sebagai suhu awal data ke-2
5. Menunggu 30 detik berlalu.
6. Mencatat bacaan panel LCD suhu akhir (102°C) setelah 30 detik berlalu .
7. Langkah 4-6 diulangi untuk data ke-3 dan seterusnya hingga suhu akhir mencapai 1000°C.

Prosedur pengambilan siklus kontaktor adalah sebagai berikut:

1. Mengatur *control type* pada tipe *on-off*.
2. Menyetel suhu target pada suhu yang ditentukan (contoh: 100°C).
3. Menunggu selama 5 menit untuk mencapai kondisi *steady state*.
4. Mencatat durasi kontaktor menyala (lampu hijau) dan mati (lampu merah) dengan stopwatch sebanyak 3 kali.
5. Langkah 2-4 diulang untuk suhu lainnya.

Prosedur pengambilan data akurasi suhu *furnace* adalah sebagai berikut:

1. Mengatur *control type* pada mode PID.
2. Mengatur suhu target pada nilai 350°C dan menunggu beberapa menit hingga kondisi stabil.

3. Mengatur suhu target pada nilai 400°C dan memulai stopwatch.
4. Mencatat nilai suhu pada panel LCD tiap 5 detik hingga suhu stabil.
5. Mengatur *control type* pada mode *on-off*.
6. Mengulangi langkah 2-5 untuk mencatat data mode *on-off*.

### 2.3 Teknik Pendekatan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif analitis. Metode penelitian deskriptif analitis adalah suatu metode yang berfungsi untuk mendeskripsikan atau memberi gambaran terhadap objek yang diteliti melalui data atau sampel yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa melakukan analisis dan membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum.

### 2.4 Teknik Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan perhitungan secara manual. Karena data yang didapat merupakan data kuantitatif, penelitian ini menggunakan teknik analisis statistik deskriptif yang merupakan salah satu metode dalam menganalisis data dengan menggambarkan data yang sudah dikumpulkan, tanpa membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum (generalisasi). Dalam teknik ini, akan diketahui nilai variabel independen dan dependennya.

Berikut ini adalah analisis-*analisis* yang akan dilakukan pada penelitian ini:

1. Analisis spesifikasi *furnace*.
2. Analisis laju kenaikan suhu *furnace*.
3. Analisis kebutuhan daya *furnace* saat menahan suhu oven pada suhu tertentu.
4. Analisis akurasi suhu *furnace*.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Spesifikasi *Furnace*

Dari pengujian *furnace* didapatkan data spesifikasi *furnace* sebagai berikut:

1. Tegangan : 220 volt 3 fasa
2. Arus: 27,8 ampere

Hambatan dapat ditentukan dengan rumus seperti pada persamaan 1 berikut:

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(1)$$

Dari sini didapat nilai hambatan (R) sebesar 7,91 ohm.

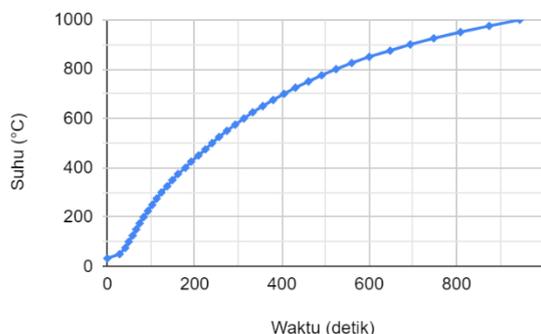
Daya maksimum dapat diketahui menggunakan persamaan 2 berikut:

$$P = 3V \times I \dots\dots\dots(2)$$

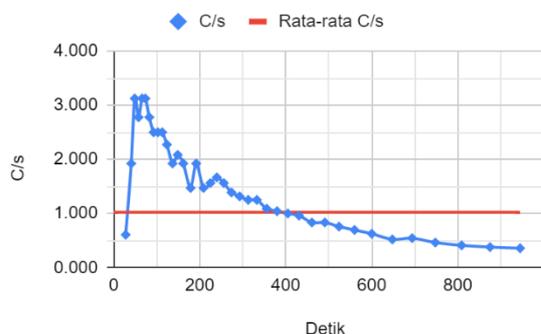
Dari sini didapat nilai daya maksimumnya sebesar 18,35 kilowatt

### 3.2 Laju Kenaikan Suhu

Grafik pencapaian suhu dan laju kenaikan suhu dapat dilihat pada grafik berikut



Gambar 3.1 Laju Kenaikan Suhu Furnace



Gambar 3.2 Grafik Laju Kenaikan Suhu Furnace

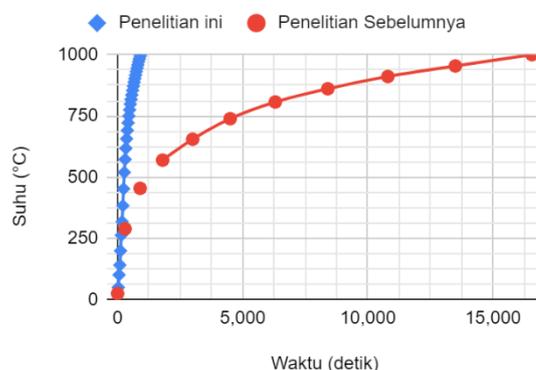
Dari grafik 3.1 diatas dapat dilihat bahwa diperlukan waktu 945 detik untuk mencapai suhu 1000°C. Dari Grafik 3.2 dapat dilihat laju kenaikan suhu bernilai sebesar 0,607°C per detik pada 30 detik pertama, kemudian naik hingga mencapai nilai 3,125°C per detik pada detik ke-50, lalu turun hingga mencapai nilai 1,667°C per detik pada detik ke-240. Setelah itu laju kenaikan suhu menurun dengan lambat hingga mencapai nilai 0,357°C per detik pada detik ke-945 (suhu 1000°C).

Pada detik awal, nilai laju kenaikan suhu rendah dikarenakan komponen-komponen dalam furnace masih dalam kondisi dingin sehingga diperlukan lebih banyak energi untuk menaikkan suhunya. Setelah itu nilai laju kenaikan ini meningkat secara tajam. Hal ini disebabkan oleh perbedaan suhu dalam furnace dan luar yang masih belum terlalu besar sehingga nilai *heat loss*, yang disebabkan oleh ruang *furnace* yang tidak tersegel dengan sempurna, juga tidak besar. Semakin besar

nilai *heat loss* ini, maka nilai laju kenaikan suhu akan semakin kecil. Hal ini dapat diamati saat suhu ruang oven pada furnace semakin tinggi, nilai laju kenaikan suhunya semakin kecil.

### 3.3 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut perbandingan kenaikan suhu *furnace* pada penelitian ini dan sebelumnya. Suhu 1000°C dapat dicapai dalam waktu 945 detik pada penelitian ini dan 16560 detik pada penelitian sebelumnya. Rata-rata kenaikan suhu adalah sebesar 1,064°C per detik pada penelitian ini dan 0,0059°C per detik pada penelitian sebelumnya.



Gambar 3.3 Perbandingan Pencapaian Suhu 1000°C Pada Penelitian Ini Dan Penelitian Sebelumnya

### 3.4 Konsumsi Daya Furnace Saat Steady State Pada Suhu Tertentu

Besarnya daya yang dibutuhkan *furnace* saat menahan suhu oven pada suhu tertentu dapat dilihat dari siklus nyala-matinya kontaktor. Nilai konsumsi daya tersebut didapat dari persentase waktu kontaktor menyala dikalikan dengan daya maksimum furnace seperti rumus berikut:

$$P_s = P \times \frac{t_{nyala}}{(t_{nyala} + t_{mati})} \dots\dots (3)$$

Dimana:

- $P_s$  = Daya furnace saat steady state (watt)
- $P$  = Daya maksimum furnace (watt)
- $t_{nyala}$  = durasi kontaktor menyala (detik)
- $t_{mati}$  = durasi kontaktor mati (detik)

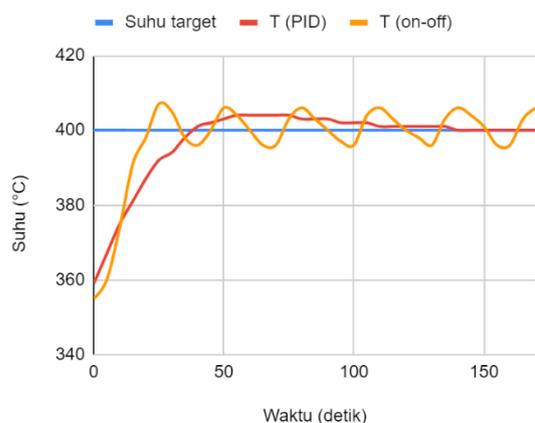
Nilai konsumsi daya oleh *furnace* pada suhu 100°C dan kelipatannya hingga 1000°C dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut. Tabel 3.1 Konsumsi Daya Furnace Pada Kondisi Steady State Pada Suhu Tertentu

suhu (°C)	Menyala (detik)	Mati (detik)	Persentase	Daya (watt)
100	11.3	446.7	2.47%	454.0

200	12.0	88.3	11.96%	2194.4
300	12.0	61.0	16.44%	3016.1
400	12.0	44.5	21.24%	3897.5
500	12.0	21.4	35.96%	6598.6
600	12.0	10.3	53.89%	9887.8
700	12.0	6.8	63.98%	11738.2
800	20.0	6.6	75.17%	13793.0
900	20.0	3.1	86.49%	15868.4
1000	20.0	1.3	93.74%	17199.9

### 3.5 Akurasi Suhu *Furnace*

Akurasi suhu pada *furnace* untuk tipe kontrol PID dan *on off* untuk suhu target 400°C dapat dilihat pada grafik 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Grafik Akurasi Suhu *Furnace*

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa akurasi suhu untuk tipe kontrol PID lebih akurat dari kontrol tipe *on off*. Suhu pada tipe kontrol PID sedikit mengalami overshoot di awal. Pada kontrol PID yang sempurna, overshoot seharusnya tidak terjadi. Tetapi karena keterbatasan pengetahuan penulis tentang pengaturan kontrol PID pada *temperature controller* AX4, kontrol PID tidak sempurna dan mengalami sedikit *overshoot*. Meski demikian, setelah sekitar 130 detik dapat dicapai suhu 400°C dengan akurasi kurang lebih 0.5°C. Pada kontrol tipe *on off* kestabilan suhu tidak dapat tercapai. Setelah kondisi steady state tercapai suhu *furnace* naik turun dari 396°C hingga 406°C secara berkala.

### 3.6 Pengujian Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

H0: Perbedaan laju kenaikan suhu pada *furnace* menggunakan kawat 2 mm dengan penelitian sebelumnya tidak signifikan.

H1: Perbedaan laju kenaikan suhu pada *furnace* menggunakan kawat 2 mm dengan penelitian sebelumnya signifikan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai rata-rata laju kenaikan suhu pada penelitian ini memiliki nilai sebesar 1,064°C per detik, sedangkan pada penelitian sebelumnya rata-rata kenaikan suhunya adalah sebesar 0,059°C per detik. Nilai rata-rata laju kenaikan suhu pada penelitian ini berbeda secara sangat signifikan dari penelitian sebelumnya.

Dari sini dapat disimpulkan bahwa H0 ditolak dan H1 diterima.

## 4. SIMPULAN

Dari pembahasan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Furnace* memiliki spesifikasi daya 18,35 kilowatt, arus 27,8 ampere, hambatan 7,91 ohm, dan tegangan 220 volt pada 3 fasa.
2. Suhu 1000°C dapat dicapai dalam waktu 945 detik atau 15,25 menit. Jauh lebih cepat dari *furnace* pada penelitian sebelumnya yang memerlukan waktu 4,6 jam.
3. *Furnace* dapat bertahan pada suhu yang ditentukan secara akurat menggunakan kontrol tipe PID.

## 5. SARAN

Karena keterbatasan waktu, pengambilan data pada penelitian ini hanya dilakukan satu kali untuk data kenaikan suhu *furnace*. Saran untuk penelitian berikutnya adalah untuk meluangkan waktu lebih dalam pengambilan data supaya mendapatkan hasil yang baik. Selain itu Juga diperlukan adanya verifikasi tambahan untuk mengetahui kesesuaian suhu bacaan termokopel dan suhu di dalam ruang *furnace*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jie, Choo. (2015). Design And Development Of A Mild Furnace. Pekan: Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Malaysia Pahang
- [2] Pudir, I. A., Akbar, A., Pramesti, Y. S. (2020). Sistem Otomasi Mikrokontroler Untuk Furnace Dengan Kapasitas 7000 Watt. Semnasinotek 2020 Vol. 4 No. 1, 1-6. Kediri: Fakultas Teknik, Universitas Nusantara PGRI Kediri.
- [3] Wardhana, A. I., Akbar, A., Pramesti, Y. S. (2020). Desain Furnace Berbasis Microcontroller Dengan Kapasitas 7000 Watt Yang Efektif Dan Efisien. Semnasinotek 2020 Vol. 4 No. 3, 255-260. Kediri: Fakultas Teknik, Universitas Nusantara PGRI Kediri.
- [4] Harianto, A. T., Akbar, A., Pramesti, Y. S. (2020). Analisa Teknik Dan Biaya Pembuatan Elektrik

Furnace Berkapasitas 7000 Watt. Semnasinotek 2020  
Vol. 4 No. 3, 241-246. Kediri: Fakultas Teknik,  
Universitas Nusantara PGRI Kediri.

- [5] Atto'illah, M. P. I., Akbar, A., Pramesti, Y. S. (2020).  
Analisa Mikrokontroler Untuk Furnace Kapasitas  
7000 Watt Yang Efektif Dan Efisien. Semnasinotek  
2020 Vol. 4 No. 2, 201-214. Kediri: Fakultas Teknik,  
Universitas Nusantara PGRI Kediri.