

ISSN 2087-3336 (Print) | 2721-4729 (Online)

TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika

Volume 10, Nomor 1, Januari 2023, hlm 59-70

<http://jurnal.sttcileungsi.ac.id/index.php/tekno>

DOI: 10.37373

Pembuatan tungku perlakuan panas alumunium dengan temperatur maksimal 550 °C

Manufacturing Heat Treatment Furnace With 550 °C Maximum Heating Temperature

Muhammad Firdausi*, Razul Harfi, Ahkdyath Rico Kurniansyah

*Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Indonesia

*Jl. Moh Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640 – Indonesia

Koresponden Email: mmfirdausi@istn.ac.id

Artikel dikirim: 12/09/2022

Artikel direvisi: 17/10/2022

Artikel diterima: 18/10/2022

ABSTRAK

Perlakuan panas adalah suatu proses untuk mendapatkan sifat mekanis tertentu dari logam dengan cara memanaskan spesimen pada temperatur tertentu selama periode waktu tertentu. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat tungku listrik (*electric furnace*) untuk keperluan perlakuan panas alumunium dengan temperatur maksimal 550°C. Perancangan tungku dilakukan dengan menggunakan metode modifikasi yang merujuk pada tungku perlakuan panas untuk baja sebagai objek modifikasi. Modifikasi dilakukan terhadap; ukuran tungku (dimensi), jenis pemanas, jenis refraktori mortar, penambahan komponen untuk sistem pemanas dan komponen tambahan untuk dinding. Dimensi tungku: 500 mm (p), 350 mm (l), 360 mm (t). Dimensi ruang pemanas; 420 mm (p), 150 mm (l), 150 mm (t). Bahan dinding menggunakan batu tahan api C1, *ceramic fiber blanket*, plat dan untuk bahan perekat menggunakan *Air Setting Mortar* TS 140. Sistem pemanas menggunakan kawat *Nikelin*, *Thermocouple* Tipe K dan *Thermocontrol* REX C100. Untuk memeriksa fungsi dan kinerja tungku telah dilakukan dua percobaan perlakuan panas; (i) *Homogenizing* dan (ii) *Aging Treatment*. Hasil dari kedua percobaan perlakuan panas tersebut menunjukkan bahwa tungku berfungsi dengan baik.

Kata Kunci: Batu tahan api; kawat nikelin; perlakuan panas sistem pemanas; tungku.

ABSTRACT

By heating the specimen at a specific temperature for a predetermined amount of time, heat treatment is a procedure to give metals specific mechanical properties. The goal of this research is to design and produce an electric furnace with a maximum temperature of 550 °C for the heat treatment of aluminum. A modified technique is used to design the furnace, with the heat treatment furnace for steel serving as the changed object. Changes are made to the furnace's size (dimensions), heater type, mortar refractory type, extra heating system components, and extra wall components. Dimensions of the furnace: 500 mm (w), 350 mm (l), and 360 mm (h). The heating chamber measures 420 mm (w), 150 mm (l), and 150 mm (h). Refractory stone C1, a ceramic fiber blanket, a plate, and Air Setting Mortar TS 140 are used in the wall material. Nickel wire, Type K Thermocouple, and Thermocontrol REX C100 are all components of the heating system. Two heat treatment experiments—(i) homogenizing and (ii) aging treatment—were conducted to evaluate the operation and performance of the furnace. The two heat treatment trials' findings demonstrate that the furnace is operating appropriately.

Keywords: Furnace; heat treatment; heating systems; nickel wire; refractory.



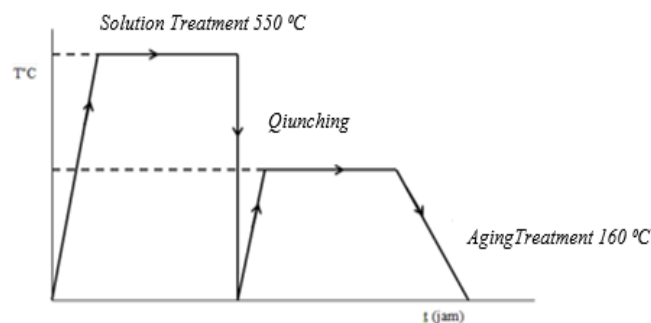
TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi & Informatika is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

1. PENDAHULUAN

Perlakuan panas (*heat treatment*) terhadap aluminium dimaksudkan untuk mendapatkan sifat mekanis tertentu dari aluminium tersebut. Pemanasan dilakukan sampai beberapa derajat di bawah titik leleh/lebur (660–700 °C), kemudian dinginkan dengan menggunakan media air, oli atau udara sesuai sifat mekanik yang diinginkan [1]. Proses perlakuan panas dilakukan di dalam tungku (*furnace*) [2].

Spesimen yang telah mendapatkan perlakuan panas (*solution treatment*) kemudian dilanjutkan dengan pendinginan cepat agar tidak sempat berubah ke fase lain. Proses penuaan (*aging*) diperoleh jika spesimen diberikan proses *quenching*. Penuaan keras (*age hardening*) merupakan salah satu metode perlakuan panas untuk mendapatkan kekuatan dan kekerasan aluminium yang lebih baik [2][3][4].

Aluminium dan paduannya dapat dikeraskan (*age hardening*) menggunakan dua cara, yaitu; aluminium yang dituakan dalam keadaan panas dan aluminium yang dituakan dalam keadaan dingin. Proses penuaan keras diperoleh melalui tahapan berikut; *Solution treatment*, *Quenching* dan *Aging* [5]. Proses tersebut secara grafis diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Proses *age hardening* [1].

Pada proses pembangkitan panas oleh elemen pemanas (*heater*) pada tungku menggunakan energi listrik. Pemanas yang digunakan harus mampu membangkitkan panas mencapai suhu 550°C, yang merupakan suhu rekristalisasi aluminium [1].

Untuk mengukur suhu di dalam tungku digunakan sensor suhu (*thermocouple*) dan *digital temperature controller* untuk membaca hasil pengukuran [6][7]. Untuk menjaga stabilitas suhu yang diinginkan dilakukan dengan pengaturan *On-Off*. Ketika suhu didalam tungku telah mencapai suhu yang diinginkan (rekristalisasi), kontak *relay* yang menghubungkan dengan sumber listrik akan terbuka untuk memutuskan hubungan tersebut [8]. Sehingga tungku dalam kondisi *Off*, kemudian suhu bergerak turun sampai suhu tertentu sesuai yang diinginkan. Kemudian kontak *ON* akan terhubung agar suhu rekristalisasi diperoleh kembali. Kondisi ini akan berulang untuk menjaga agar suhu didalam tungku tetap stabil dalam satuan waktu tertentu. Pengaturan ini juga mempunyai tujuan agar tidak terjadi pemborosan konsumsi energi listrik.

Masalah yang harus diselesaikan adalah bagaimana bentuk rancangan tungku *heat treatment* untuk spesimen aluminium dan paduannya yang memenuhi ketentuan dan spesifikasi di atas. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat tungku listrik (*electric furnace*) untuk keperluan perlakuan panas aluminium dengan temperatur maksimal 550 °C, yang dapat digunakan untuk keperluan penelitian di kampus. Perancangan menggunakan metode modifikasi dengan merujuk pada tungku perlakuan panas untuk spesimen baja.

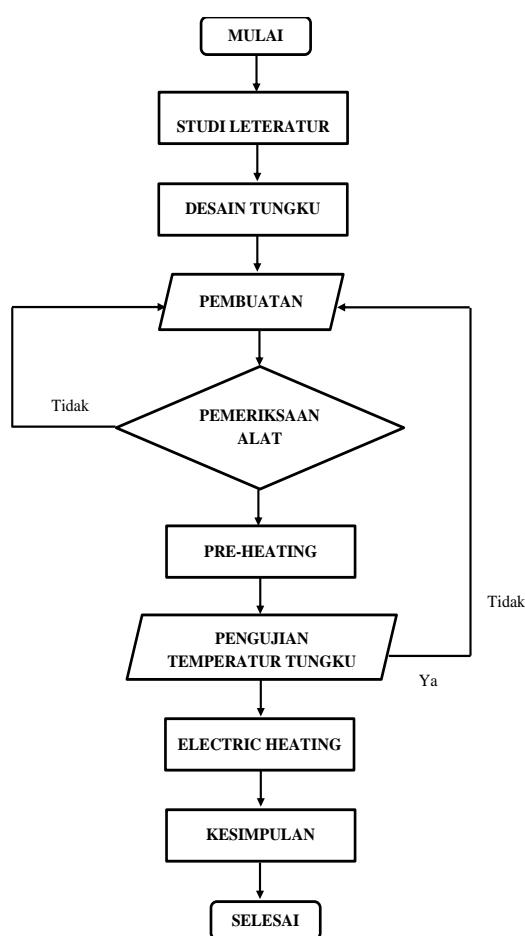
2. METODE.

Urutan proses pembuatan tungku digambarkan sebagaimana yang terlihat pada gambar 2. Kajian literatur terkait karakteristik aluminium agar modifikasi tepat sasaran. Kemudian dilakukan desain modifikasi, pembuatan dan pengujian tungku [7]. Tabel 1 memperlihatkan spesifikasi tungku perlakuan panas untuk baja yang menjadi rujukan untuk melakukan modifikasi menjadi tungku perlakuan panas

untuk aluminium [9].

Tabel 1. Spesifikasi tungku perlakuan panas baja

Elemen pemanas	: Khantal A1
Suhu operasi	: 1400 °C maks
<i>Refractory Mortar</i>	: Furnace cement Rutland
Ukuran tungku	: 750 x 450 x 400 (mm)
Pemanas	- SSR 40 DA
	- <i>Thermocouple Tipe K</i>
	- <i>Thermocontrol</i>
	- <i>HeatSink</i>
	- <i>Power Switch</i>



Gambar 2. Diagram alir pembuatan tungku.

2.1 Sistem pemanas

2.1.1 Kawat *nikelin*

Elemen pemanas (*heater*) yang terdapat di dalam sistem pemanas berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi panas. Cara kerja elemen pemanas adalah mengubah arus listrik menjadi panas yang digunakan untuk memanaskan spesimen. Umumnya elemen pemanas terbuat dari bahan campuran: *Krom-Nikel*, *Krom-Nikel-Besi*, *Krom-Besi-Aluminium*. Salah satu jenis elemen pemanas yang berbentuk gulungan adalah *Coil Heater*.

Kawat *Nikelin* merupakan komponen penting dalam proses pembuatan tungku, karena berfungsi sebagai elemen pemanas (*heater*). Ukuran kawat yang digunakan; diameter 1 mm, diameter spiral 1 cm

dengan panjang 10 m. Pada tungku *heat treatment* kawat *nikelin* dibentuk menjadi spiral dengan ukuran panjang 2 m (gambar-3). Kawat Nikelin, hanya dapat digunakan maksimal suhu di bawah 1200 °C. Kawat ini memiliki titik lebur 1400 °C, material kawat Nikelin menggunakan: *Nickelin* 80 %, *Chrome* 20 %.



Gambar 3. Kawat *nikelin*

2.1.2 Thermocouple tipe K

Thermocouple gambar 4 berfungsi sebagai alat pembaca suhu dari panas menjadi angka yang di hubungkan ke *thermocontrol* [8]. Spesifikasi *thermocouple*;

- Tipe *Thermocouple* : Type - K
- Tegangan Kerja : 3V – 5V
- Pengukuran Suhu : 0 °C – 800 °C
- Akurasi Suhu : 0,25 °C



Gambar 4. Thermocouple tipe K

2.1.3 Thermocontrol REX C100

Digital temperature controller gambar-5 adalah alat yang digunakan untuk mengendalikan elemen pendingin atau pemanas agar sesuai dengan pengaturan suhu yang diinginkan. Seperti *digital counter relay*, *digital temperature controller* memiliki kontak-kontak *NO-NC* pada *output setting*, dan memerlukan *input power supply* untuk dapat dioperasikan [10]. Spesifikasi *digital temperature controller*;

- Power : AC 220v 50/60HZ
- Proses Value (PV), Setting Value (SV)
- Output : SSR 40 DA
- Temperatur range 0 – 400 °C up to 800 °C dengan merubah *thermocouple*.



Gambar 5. Thermocontrol

2.2 Komponen tungku

2.2.1 Bata Isolasi C1/ SK 34

Dinding tungku atau ruang pembakaran terbuat dari batu tahan api. Bata Isolasi C1/SK 34 dapat menahan panas sampai temperatur lebih dari pada 1200°C, batu tahan api jenis ini dapat bertahan lama walaupun dioperasikan secara terus menerus [11]. Gambar 6 memperlihatkan batu tahan api C1 yang digunakan dalam pembuatan tungku.



Gambar 6. Bata isolasi C1

Bata tahan api berfungsi sebagai bahan dinding dan tempat peletakan elemen pemanas (*heater*) pada tungku perlakuan panas. Tabel 2 memperlihatkan spesifikasi batu tahan api C1.

Tabel 2. Spesifikasi bata isolasi C1

Tipe	: C1
Ukuran	: 230 x 114 x 65 (mm)
Temp. Maks	: 1200 °C
No <i>Seger Cone</i>	: Suhu tercapai dalam °F
4	: 2210 °F

2.2.2 Refractory mortar.

Untuk merekatkan batu tahan api dan menutup celah sambungan antar bata digunakan *Refractory mortar*. Terdapat beberapa jenis *mortar* yang memiliki spesifikasi tersendiri, seperti; perpaduan, kekuatan, ketidak tembusan, sifat plastis, dan kestabilan isi [12]. Spesifikasi *mortar* yang dipilih memiliki kesamaan dengan spesifikasi batu tahan api. Pengikat (*setting*) mortar ada dua jenis, yaitu; *heat setting* (panas) yang memerlukan pemanasan untuk menghasilkan suatu ikatan, dan *air setting* (udara) yang akan membentuk suatu ikatan yang kuat tanpa dipanaskan [13]. Gambar 7 memperlihatkan kedua jenis mortar tersebut.



Gambar 7. Refractory mortar

2.2.3 Ceramic fiber

Ceramic Fiber Blanket gambar 8 merupakan material yang dikategorikan sebagai *refraktori* berbahan dasar serat *aluminosilikat* yang memiliki spesifikasi; tahan suhu mencapai 1300 °C, tidak berbau, dan berwarna putih [14]. Bahan ini juga memiliki nilai konduktivitas termal yang sangat kecil, termasuk insulasi yang baik pada suhu tinggi, tahan bahan kimia korosif seperti asam dan basa, ringan dan mudah dibentuk. Bahan dapat digunakan dengan baik sebagai bahan substitusi untuk produk asbes yang juga sering digunakan untuk peredam panas [15].

Gambar 8. *Ceramic fiber*

2.3 Spesifikasi modifikasi

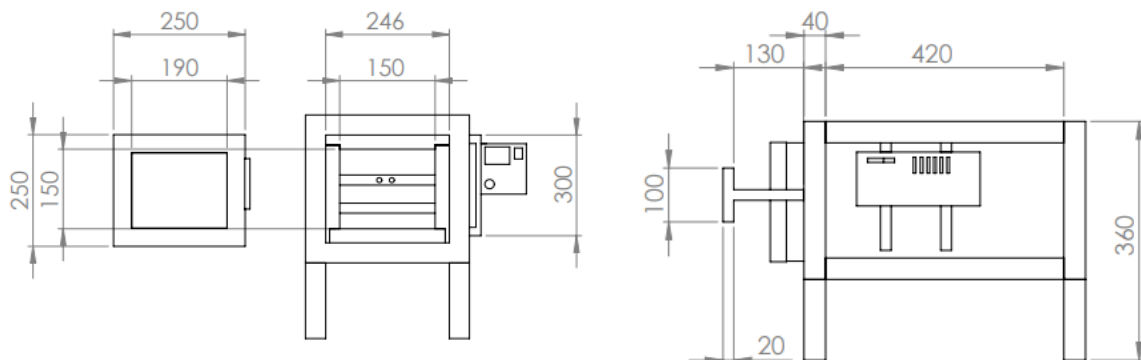
Dari spesifikasi tungku pada tabel 3 dilakukan modifikasi untuk keperluan perlakuan panas aluminium. Tabel 3 memperlihatkan komponen yang dimodifikasi untuk perlakuan panas Aluminium.

Tabel 3. Spesifikasi modifikasi tungku perlakuan panas untuk aluminium

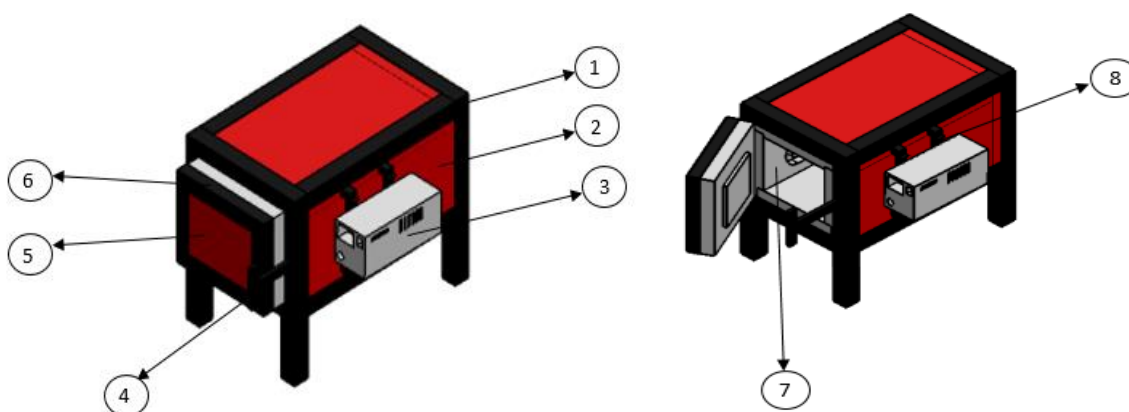
Elemen pemanas	: Kawat Nikelin, 1200 °C maks
Suhu tungku	: 100 - 550 °C maks
<i>Refractory Mortar</i>	: Air Setting Mortar TS 140
Ukuran tungku	: 500 x 350 x 330
Komponen tambahan untuk pemanas	- MCB 10 A - <i>Limit Switch</i> - Kipas pendingin
Komponen tambahan untuk dinding	: <i>Ceramic fiber</i> di sekeliling tungku sebagai isolator/ peredam panas

2.4 Desain tungku

Pada rancangan tungku pemanas untuk rangka menggunakan material plat siku yang dirakit dengan menggunakan dua cara, yang pertama dengan metode *permanent joining process* yaitu pengelasan menggunakan elektroda 260, yang kedua menggunakan pengikat baut dan mur (*threaded fasteners*). Dinding menggunakan batu tahan api C1, *ceramic fiber blanket*, plat dan untuk bahan perekat menggunakan *Air Setting Mortar TS 140*. Gambar 9 dan gambar 10 memperlihatkan desain tungku hasil modifikasi yang akan diproduksi.



Gambar 9. Rancangan tungku



Gambar 10. Rancangan tungku visual 3D

Keterangan:

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 1. Kerangka Tungku | 5. <i>Housing</i> Pintu (plat) |
| 2. <i>Housing</i> Tungku (plat) | 6. Kerangka Pintu |
| 3. <i>Control Panel Box</i> | 7. Bata Tahan Api |
| 4. Tuas Pengunci | 8. <i>Bracket Panel</i> |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 11 memperlihatkan produk jadi dari tungku pemanas. Dimensi tungku: 500 mm (*p*), 350 mm (*l*), 360 mm (*t*). Dimensi ruang pemanas; 420 mm (*p*), 150 mm (*l*), 150 mm (*t*).



Gambar 11. Tungku perlakuan panas aluminium.

3.1 Batasan penggunaan tungku.

a. Temperatur.

Temperatur maksimum penggunaan tungku adalah 550 °C sesuai standar ASTM.

b. Kapasitas tungku.

Dimensi spesimen dibatasi agar mudah melakukan *loading-unloading*, karena kondisi di dalam ruang pemanas terdapat kawat pemanas yang ditempatkan di dinding. Dimensi maksimum spesimen dibatasi dengan ukuran sebagai berikut; 300 mm (*p*), 100 mm (*l*), 100 mm (*t*).

3.2 Prosedur penggunaan tungku.

a. Kabel striker dipastikan tersambung pada sumber listrik,

b. MCB diatur pada posisi *ON*,

c. Tekan tombol *power switch* untuk menghidupkan tungku, lampu panel akan menyala sebagai tanda *ON*.

d. Untuk mengatur suhu yang diinginkan tekan tombol *SET*, untuk menaikkan suhu tekan tanda ▲ dan untuk menurunkan suhu tekan tanda ▼, untuk merubah angka dari satuan ke puluhan

tekan tombol ◀ perhatikan pergerakan kursor angka pada layar *display* kemudian tekan **SET** sebagai tanda entri pengaturan suhu yang diprogramkan.

- e. Untuk mematikan tungku (tekan tombol **power switch**, lampu pada panel akan mati (**OFF**)), kemudian dilanjutkan dengan mematikan MCB pada posisi **OFF**.

3.3 Pre-heating

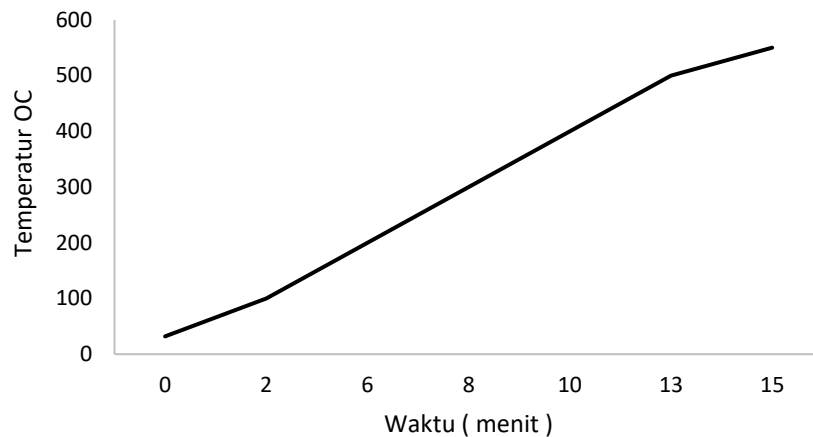
Untuk mengurangi kelembapan pada bagian dalam tungku dilakukan pemanasan awal pada dinding tungku. Hal ini dimaksudkan juga untuk mengeluarkan sisa uap air yang tersisa akibat proses perakitan dinding tungku. Dinding tungku dapat mengalami *thermal shock* jika langsung dioperasikan ketika masih terdapat sisa uap air. Sambungan antara batu tahan api dengan mortar dapat terjadi retak atau pecah akibat terjadinya *thermal shock* [14]. Tabel 4 menunjukkan data perlakuan *preheating* yang telah dilakukan.

Tabel 4. *Pre-heating*

Hari	Temperatur	Lama Pemanasan
Pertama	1 100 °C	3 jam
	2 200 °C	3 jam
	3 300 °C	3 jam
Kedua	1 400 °C	2 jam
	2 500 °C	2 jam
	3 600 °C	2 jam

3.4 Pengujian temperatur tungku

Setelah melakukan pemanasan awal, maka dilakukan uji temperatur menggunakan metode sampling. Data suhu yang di sampling adalah seluruh permukaan luar, permukaan dalam serta waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu tersebut. Peralatan yang digunakan dalam pengujian temperatur adalah; *Thermocouple* (dalam tungku), *Thermocontrol* (pada panel) dan *stopwatch*. Gambar 12 memperlihatkan hasil pengujian temperatur.



Gambar 12. Grafik hasil pengujian temperatur.

3.5 Daya listrik dan kuat arus.

Besarnya daya listrik yang digunakan dihitung.

$$P = \frac{W}{T} \quad (1)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (2)$$

$$I = \frac{P}{V} \quad (3)$$

Keterangan:

- P = Daya (*joule/second*) atau watt
 = 1 *joule/second* = 1 watt
 W = Energi (*joule*)
 T = Waktu (*second*)
 R = panjang kawat x tahanan jenis kawat
 = 10 m x 3.72 Ω = 37,2 Ω
 I = Arus listrik (*Ampere*)
 V = Tegangan listrik (*Volt*)

Daya listrik yang dibutuhkan.

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$= \frac{220^2}{37,2}$$

$$= \frac{48.400}{37,2}$$

$$P = 1300 \text{ Watt}$$

Kuat arus listrik yang terjadi.

$$I = \frac{P}{V}$$

$$= \frac{13000}{220}$$

$$= 6 \text{ A}$$

Kapasitas MCB yang digunakan sebesar 10 Ampere, terhitung aman dan sesuai untuk digunakan.

3.6 Konsumsi energi listrik.

Konsumsi energi listrik dihitung berdasarkan energi listrik yang dibutuhkan untuk mencapai suhu maksimum di dalam ruang pemanasan sebesar 550 °C, dimana waktu yang dibutuhkan adalah 15 menit. Diketahui daya yang digunakan untuk mencapai suhu 550°C adalah sebesar 1300 Watt.

$$\begin{aligned} \text{kWh} &= \frac{P}{1000} \times \frac{h}{60} \\ &= \frac{1300}{1000} \times \frac{15}{60} \\ &= 1.3 \times 0.25 \\ &= 0.325 \text{ kWh} \end{aligned} \tag{4}$$

3.7 Validasi fungsi dan kinerja tungku.

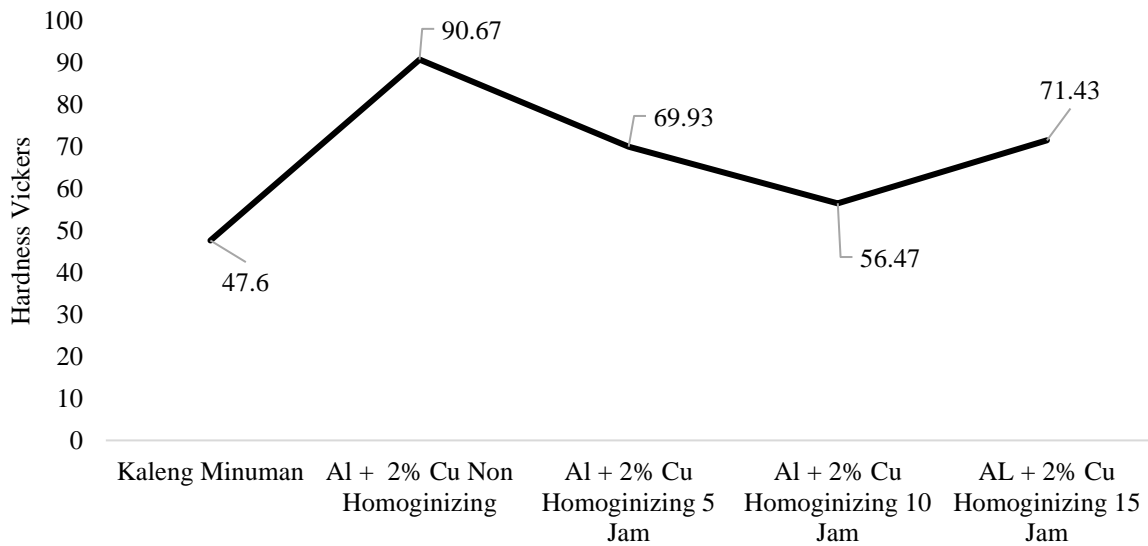
Untuk memeriksa fungsi dan kinerja tungku telah dilakukan 2 (dua) perlakuan panas spesimen aluminium untuk keperluan *Homogenizing* dan *Aging Treatment*.

3.7.1 Perlakuan panas untuk *homogenizing* [14].

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui sifat mekanis hasil peleburan ulang (*re-melting*) skrap aluminium yang telah ditambahkan 2% Cu (Tembaga) melalui pengujian kekerasan. Skrap aluminium berasal dari kemasan kaleng minuman. Pengujian sifat mekanis yang dilakukan terhadap spesimen hasil *re-melting* dibagi dua bagian; (i) yang mendapat perlakuan panas *Homogenizing* dan (ii) tanpa perlakuan panas.

Proses perlakuan panas yang dilakukan terhadap spesimen *re-melting* adalah sebagai berikut; spesimen dipanaskan pada tungku sampai suhu 550 °C yang ditahan selama 5 jam, 10 jam, dan 15 jam dan non-homogenizing, kemudian dilakukan pendinginan (*quenching*) dengan menggunakan media air.

Hasil pengujian kekerasan Vickers terhadap skrap aluminium, Al + 2% Cu Non Homogenizing, Al + 2% Cu Homogenizing 5 jam, Al + 2% Cu Homogenizing 10 jam, dan Al + 2% Cu Homogenizing 15 jam disajikan pada gambar 13.

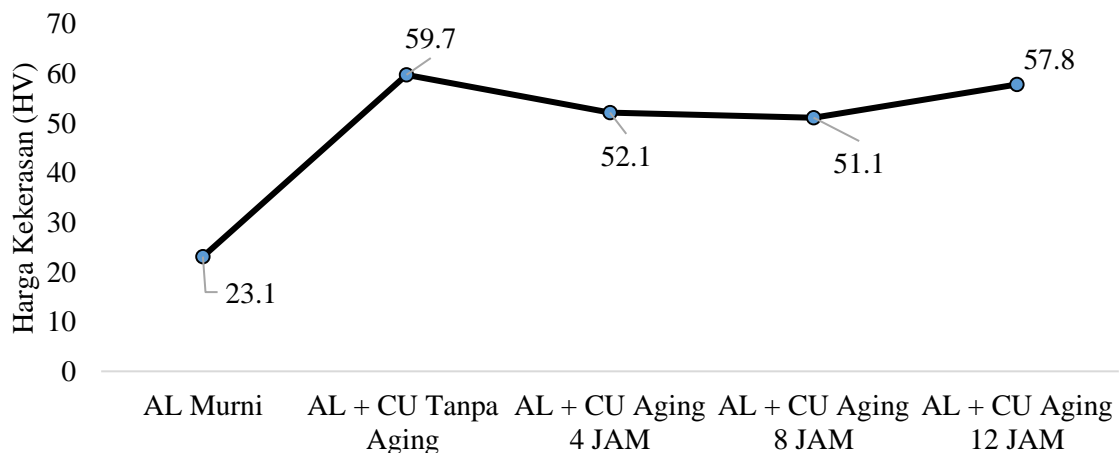


Gambar 13. Nilai rerata hasil pengujian kekerasan Vickers skrap aluminium dan *re-melting* Al+2% Cu (Non-Homogenizing dan Homogenizing)

a. Proses *solution treatment* dan *aging treatment*

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui nilai kekerasan skrap aluminium hasil peleburan ulang yang telah ditambah 5% Cu. Bahan utama adalah skrap aluminium foil yang berasal dari sisa produksi penutup kemasan minuman botol. Pengujian kekerasan dilakukan terhadap spesimen yang telah mengalami *heat treatment* dibagi dalam dua kelompok; (i) yang tidak mengalami *aging*, dan (ii) yang mengalami *aging* suhu 160 °C.

Untuk proses perlakuan panas *non-aging (solution treatment)* spesimen dipanaskan di dalam tungku pada suhu 550 °C dan ditahan selama 1 jam. Kemudian dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media air. Sedangkan untuk proses *aging*, setelah mengalami proses *solution treatment* dan *quenching*, spesimen dipanaskan kembali untuk proses *aging treatment* pada suhu 160 °C dengan variasi waktu tahan 4 jam, 8 jam dan 12 jam. Grafik pada gambar-14 memperlihatkan nilai rerata hasil pengujian kekerasan Vickers skrap murni, Al-Cu tanpa *aging*, Al-Cu dengan proses *Aging*.



Gambar 14. Nilai rerata hasil uji kekerasan vickers skrap murni, Al-Cu tanpa *aging*, Al-Cu dengan *aging*.

Dari kedua pengujian tersebut memperlihatkan bahwa proses *heat treatment* yang telah dilakukan dengan menggunakan tungku hasil rancangan dan pembuatan yang dibahas dalam tulisan ini telah berfungsi dengan baik. Hal ini diperlihatkan melalui capaian suhu *solution treatment* dan *aging treatment* telah sesuai dengan rancangan. Sekaligus menunjukkan bahwa *heater* berfungsi dengan baik. Tungku tidak mengalami perubahan dan disfungsi komponen setelah mengalami beberapa kali pengulangan proses *heat treatment* dan variasi durasi waktu penahanan. Hal ini menunjukkan pemilihan material telah dilakukan dengan baik.

4. SIMPULAN

Telah dirancang dan dibuat sebuah tungku perlakuan panas untuk aluminium, rancang dengan menggunakan metode modifikasi. Modifikasi dilakukan dengan merujuk pada tungku perlakuan panas untuk baja. Modifikasi dilakukan terhadap; ukuran tungku (dimensi), jenis pemanas, jenis refraktori mortar, penambahan komponen untuk sistem pemanas dan komponen tambahan untuk dinding. Dimensi tungku: 500 mm (p), 350 mm (l), 360 mm (t). Dimensi ruang pemanas; 420 mm (p), 150 mm (l), 150 mm (t). Bahan dinding menggunakan batu tahan api C1, *ceramic fiber blanket*, plat dan untuk bahan perekat menggunakan *Air Setting Mortar TS 140*. Sistem pemanas menggunakan kawat *Nikelin*, *Thermocouple Type K* dan *Thermocontrol REX C100*. Untuk mengetahui apakah tungku yang telah dibuat (gambar-11) berfungsi sesuai dengan yang direncanakan, maka telah dilakukan percobaan perlakuan panas *Homogenizing* dan *Aging Treatment* menggunakan tungku tersebut. Hasil dari kedua percobaan perlakuan panas tersebut menunjukkan bahwa tungku berfungsi dengan baik, laporan percobaan telah dipresentasikan dan diuji dengan hasil yang memuaskan.

REFERENSI

- [1] R. B. S. Majanasastra, "Pengaruh Variable Waktu (Aging Heat Treatment) Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Dan Struktur Mikro," *Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 87–101, 2015.
- [2] A. Z. Sultan, A. Tangkemanda, I. A. Djafar, and R. T. Rantepadang, "Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Paduan Aluminium Silikon," *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 17, no. 2, 2020, doi: 10.31963/sinergi.v17i2.2083.
- [3] A. Z. Sultan and N. Hamzah, "Pengaruh Solution Treatment Dan Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Paduan Aluminium A383," *Pros. Semin. Nas. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 2019, 2019.
- [4] G. D. Haryadi, "Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan , Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Baja K-460," *Tek. mesin FT-UNDIP*, vol. 8, no. 5, 2006.
- [5] A. Zulfia, R. Juwita, A. Uliana, I. N. Jujur, and J. Raharjo, "Proses Penuaan (Aging) pada Paduan Aluminium AA 333 Hasil Proses Sand Casting," *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, 2010, doi: 10.9744/jtm.12.1.13-20.
- [6] Z. Bashori, S. Sumardi, and I. Setiawan, "Pengendalian Temperature Pada Plant Sederhana Electric Furnace Berbasis Sensor Thermocouple Dengan Metode Kontrol Pid," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, 2013.
- [7] M. R. Rahmat, "Perancangan Dan Pembuatan Tungku Heat Treatment," *J. Ilm. Tek. Mesin Univ. Islam 45*, vol. 3, no. 2, pp. 133–148, 2015.
- [8] Feriadi Sidik, Armila, and Rudi Kurniawan Arief, "Rancang Bangun Tungku Reheating Portable Untuk Proses Forging Pada Laboratorium Teknologi Material," *TEKNOSAINS J. Sains, Teknol. dan Inform.*, vol. 9, no. 1, 2022, doi: 10.37373/tekn.v9i1.140.
- [9] D. Purwanto and R. A. Nasa, "PERANCANGAN TUNGKU PEMANAS DENGAN MENGGUNAKAN KANTHAL A1," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 22, no. 1, 2021, doi: 10.23917/mesin.v22i1.12462.
- [10] D. Y. Tadeus and I. Setiono, "DESKRIPSI TEKNIK PENGENDALI TEMPERATUR INDUSTRI SEBAGAI BAGIAN DARI SISTEM REGULASI TEMPERATUR," *GEMA Teknol.*, vol. 20, no. 1, 2018, doi: 10.14710/gt.v20i1.21075.
- [11] S. Prasojo and B. Suprianto, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Suhu Pada Inkubator Bayi

- Berbasis Fuzzy Logic Controller,” *J. Tek. Elektro Vol.*, vol. 08, no. 01, pp. 163–171, 2019.
- [12] A. Rizal, Y. Samantha, and A. Rachmat, “PEMBUATAN TUNGKU PEMANAS (MUFLLE FURNACE) KAPASITAS 1200 Celcius,” *J-ENSITEC*, vol. 2, no. 02, 2016, doi: 10.31949/j-ensitec.v2i02.301.
- [13] N. R. Fajri, R. Rusiyanto, R. D. Widodo, W. Sumbodo, and D. F. Fitriyana, “Pengaruh Thermal Shock dan Komposisi Evaporation Boats, Semen Tahan Api, dan Pasir Silika terhadap Kekuatan Impact dan Foto Makro Lining Refractory,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 1, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.01.2.
- [14] A. P. Bayuseno, M. T. Mesin, P. Pascasarjana, U. Diponegoro, and K. Tembalang, “Pengembangan Dan Karakterisasi Material Keramik Untuk Dinding Bata Tahan Api Tungku Hoffman K1,” *Rotasi*, vol. 11, no. 4, 2009.
- [15] Y. O. Nurul Huda and P. T. Simatupang, “The effect of ceramic shards waste material with the addition of variations of coconut fiber on compressive strength and UPV test in fiber concrete,” *Tek. J. Sains dan Teknol.*, vol. 18, no. 1, p. 36, 2022, doi: 10.36055/tjst.v18i1.15053.