

Analisa *heat transfer* pada *electric furnace* 3 fasa

Yasinta Sindy Pramesti¹⁾, Ali Akbar²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri
E-mail: ¹⁾yasintasindy@gmail.com, ²⁾aliakbar@umsida.ac.id

Abstrak

Furnace adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk pemanasan. Penggunaan *furnace* diantaranya adalah *annealing*, *normalizing*, *tempering*, *galvanizing*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perpindahan panas (*heat transfer*) pada *electric furnace* yang telah dibangun. Analisa yang dibahas meliputi kecepatan pencapaian panas, laju perpindahan panas, dan daya listrik. *Electric furnace* ini menggunakan 3 fasa. Lapisan dinding *furnace* yang digunakan meliputi semen tahan api, bata tahan api, dan glasswool. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa selang waktu *electric furnace* untuk mencapai suhu 1.000°C diperlukan waktu 3.060 detik atau 51 menit. Laju perpindahan panas yang dihasilkan yaitu 19,46 Watt dan daya listrik yang digunakan sebesar 14.202,82 Watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju perpindahan panas cukup besar sehingga waktu untuk mencapai suhu maksimal relative singkat. Namun hal ini berbanding terbalik dengan konsumsi daya listrik yang digunakan. Daya listrik yang digunakan besar karena menggunakan rangkaian 3 fasa.

Kata Kunci: *electric furnace*, *heat transfer*, 3 fasa

Abstract

Furnace is a device used for heating. The use of furnaces includes *annealing*, *normalizing*, *tempering*, *galvanizing*. The purpose of this study is to analyze heat transfer in the *electric furnace* that has been built. The analysis discussed includes the speed of heat gain, heat transfer rate, and electric power. This *electric furnace* uses 3 phases. Furnace wall linings used included refractory cement, refractory brick, and glasswool. Based on the research results, it was found that the *electric furnace* time interval to reach a temperature of 1,000 ° C takes 3060 seconds or 51 minutes. The resulting heat transfer rate is 19.46 Watt and the electric power used is 14,202.82 Watt. The results showed that the heat transfer rate was large enough so that the time to reach the maximum temperature was relatively short. However, this is inversely proportional to the consumption of electric power used. The electric power used is large because it uses a 3-phase circuit.

Keywords: *electric furnace*, *heat transfer*, 3-phase

1. PENDAHULUAN

Furnace adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk pemanasan. *Furnace* sering digunakan untuk ekstraksi logam dari bijih, proses pengabuan, perlakuan panas pada logam seperti *annealing*, *normalizing*, *tempering*, *galvanizing* dan proses-proses lain yang memerlukan pemanasan [1]. Penggunaan *furnace* dalam penelitian bahan memegang peranan penting yaitu untuk perlakuan panas pada bahan sekaligus untuk pemijaran. Panas yang dihasilkan akibat kerja elemen didalam *furnace* akan merubah suhu temperatur kamar. Apabila dalam suatu sistem terdapat gradien suhu, atau dua sistem yang suhunya berbeda disinggungkan maka akan terjadi perpindahan energi. Proses itu disebut sebagai perpindahan panas (*heat transfer*) [2].

Kebutuhan teknologi yang semakin maju, menuntut berkembangnya sistem kendali yang handal. Sistem kendali yang baik sangat diperlukan dalam meningkatkan efisiensi dalam proses produksi. *Furnace* atau tungku pemanasan adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk melelehkan logam untuk pembuatan bagian mesin (*casting*) atau untuk memanaskan bahan serta mengubah bentuknya dengan cara penggulangan, penempaan atau merubah sifat-sifatnya (perlakuan panas). Berdasarkan metode penghasilan panas, *furnace* secara luas diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu jenis pembakaran (mengggunakan bahan bakar) dan jenis listrik. *Furnace* jenis pembakaran bergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan. Diantaranya *furnace* yang menggunakan bahan bakar minyak, batu bara, atau gas.

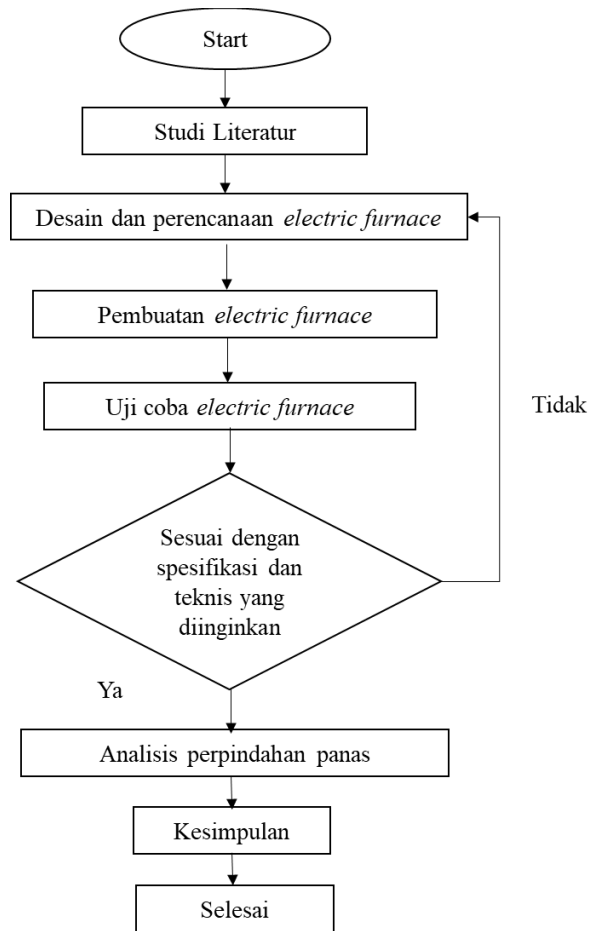
Selama ini pada proses perlakuan logam hanya menggunakan tungku konvensional dimana waktu dan suhu pemanasan kurang akurasi padahal masalah kualitas tergantung pada akurasi kontrol suhu tungku dan waktu, dengan adanya mesin elektrik *furnace* berbasis mikrokontroler proses penelitian tentang struktur logam lebih mudah lebih efisien lebih akurasi, dengan alat ini, kondisi suhu maupun waktu dapat diatur otomatis dan selalu dimonitor melalui LCD. Sebagai pemanas digunakan elemen pemanas yang nyalanya diatur mikrokontroler berdasarkan kondisi suhu yang dibaca sensor suhu thermocouple . untuk monitoring dan pemilihan menu dilakukan melalui LCD dan tombol. Tombol di sini berfungsi

memberikan masukan berupa pemilihan suhu dan waktu. Sedangkan LCD berfungsi menampilkan kondisi suhu dan waktu juga.

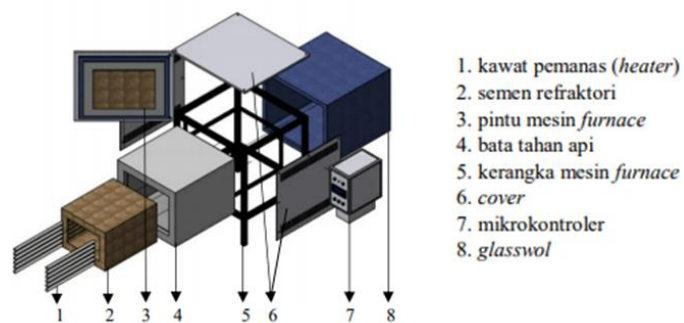
Hasil pengujian waktu pencapaian temperatur maksimal (1.000°C) dari temperatur 31°C dalam tungku adalah 28 menit 45 detik. Kapasitas temperatur maksimal tungku 1.100°C . Dari hasil pemanasan dapat dilihat beban maksimal untuk penahanan panas terjadi pada dinding depan, yaitu mencapai 100°C setelah 30 menit setelah pemanasan. Hal ini disebabkan karena perambatan panas melalui celah – celah dinding pintu *furnace* [3]. Penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa pada susunan dinding *furnace* yang berlapis setelah diketahui rugi-rugi panas yang keluar pada mesin *furnace* berbasis mikrokontroler lebih kecil dari perbandingan *furnace* yang ada di pasaran. Hasil perhitungan laju perpindahan panas diperoleh $6,83\text{ W}$ [4].

2. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini merupakan penelitian produk. Tahap penelitian meliputi studi literatur, uji coba produk, dan analisa perpindahan panas (*heat transfer*). Perancangan *electric furnace* menggunakan sistem otomatis berbasis mikrokontroler yang di rancang untuk memudahkan peneliti (*metallurgist*). Furnace sangat di perlukan untuk peneliti, dimana *furnace* berfungsi sebagai perlakuan logam untuk mengoptimalkan sifat mekanis dari logam yang meliputi *annealing*, *hardening*, *tempering*, dan *quenching*. Tahapan penelitian ini digambarkan pada diagram alir berikut.



gambar 1. diagram alir penelitian



gambar 2. desain *electric furnace*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Spesifikasi *electric furnace*

Spesifikasi *electric furnace* yang telah dibuat sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi *electric furnace*

| | |
|---------------------|------------------|
| Ukuran ruang tungku | 32 x 35 x 20 cm |
| Temperatur kerja | 900°C |
| Maximum temperature | 1000°C |
| Akurasi suhu | ±1°C |
| Voltase | 410 V, 3 fasa |
| Ukuran luar | 70 x 70 x 100 cm |

b. Penghitungan daya listrik

Daya listrik pada 3 fasa dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

Keterangan:

P = daya listrik (Watt)

V = tegangan listrik (Volt)

I = arus listrik (Ampere)

Berdasarkan persamaan di atas, maka daya listrik yang digunakan pada *electric furnace* sebagai berikut

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 410 \cdot 20$$

$$P = 14.202,82 \text{ Watt}$$

c. Analisa perpindahan panas (*heat transfer*)

Alat pemanas digunakan untuk proses perlakuan sifat logam pada spesimen. Perlu dilakukan uji kelayakan *electric furnace* terlebih dahulu agar specimen yang akan diujikan mempunyai hasil yang akurat. Dalam uji ini dilakukan menggunakan *stopwatch* untuk menghasilkan data dari kelajuan pencapaian suhu (*heat transfer*) mesin *furnace* ini dengan satuan °C/s. Setelah di dapat data kecepatan pencapaian suhu pada mesin *furnace* sebagai berikut.

$$v = \frac{T_1 - T_0}{t_1 - t_0}$$

Keterangan:

v = kecepatan pencapaian suhu (°C/s)

T₁ = suhu awal (°C)

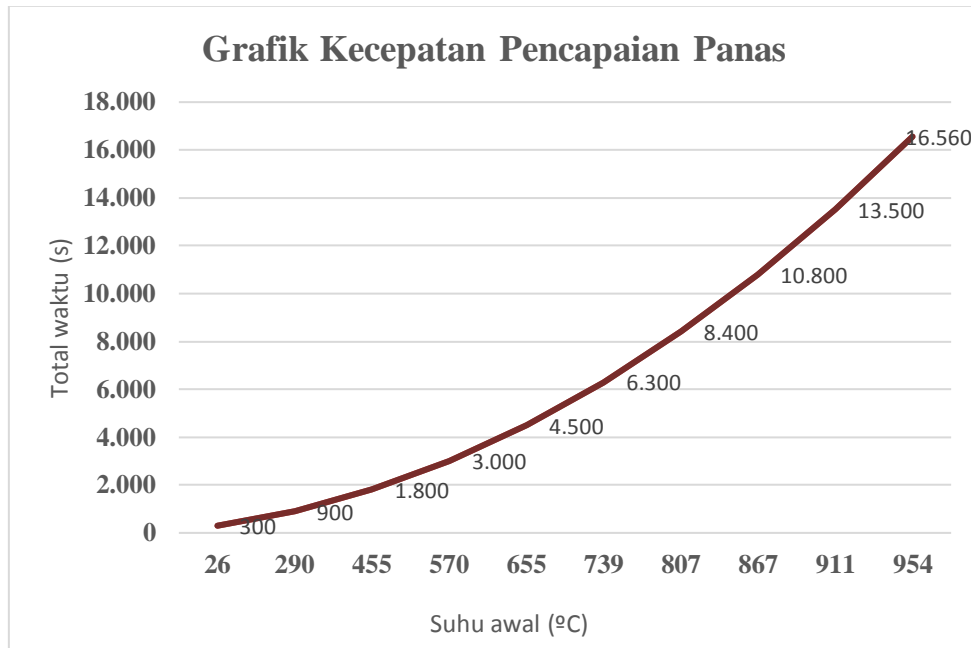
T₂ = suhu akhir (°C)

t₁ – t₀ = selang waktu (s)

Berdasarkan hasil uji coba kecepatan pencapaian suhu pada *electric furnace*, maka didapatkan data sebagai berikut.

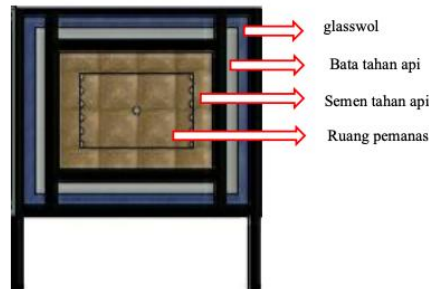
tabel 2. hasil pengujian kecepatan pencapaian suhu

| Suhu awal (°C) | Suhu akhir (°C) | Selang waktu (s) | Total waktu (s) | Kecepatan pencapaian suhu (°C/s) |
|-------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--|
| 26 | 290 | 300 | 300 | 0,880 |
| 290 | 455 | 600 | 900 | 0,275 |
| 455 | 570 | 900 | 1.800 | 0,128 |
| 570 | 655 | 1.200 | 3.000 | 0,071 |
| 655 | 739 | 1.500 | 4.500 | 0,056 |
| 739 | 807 | 1.800 | 6.300 | 0,038 |
| 807 | 861 | 2.100 | 8.400 | 0,006 |
| 867 | 911 | 2.400 | 10.800 | 0,021 |
| 911 | 954 | 2.700 | 13.500 | 0,016 |
| 954 | 1.000 | 3.060 | 16.560 | 0,015 |
| Rata-rata | | | | 1,506 |



gambar 3. Grafik kecepatan pencapaian panas

Dinding pada mesin furnace ini terdiri dari dari beberapa jumlah tahanan termal yang di susun seri dan parallel akibat lapisan yang berbeda.



gambar 4. lapisan dinding *furnace*

Analisis untuk perhitungan perpindahan panas (heat transfer) pada dinding furnace saja. Berdasarkan alat dan bahan yang dipakai dalam pembuatan *electric furnace ini*, maka didapatkan konduktivitas tiap bahan sebagai berikut.

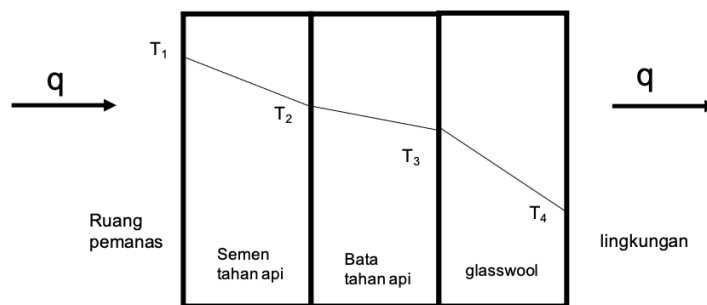
1. Konduktivitas termal semen tahan api 0,72 W/mK
2. Konduktivitas termal bata tahan api 1.3 W/mK
3. Konduktivitas termal glass woll 0,038 W/mK

Laju perpindahan panas satu dimensi pada dindingfurnace dinyatakan sebagai:

$$q_x = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{\sum R_t}$$

- q_x = laju perpindahan satu dimensi pada arah x
- $T_{\infty 1} - T_{\infty 4}$ = temperatur total pada dinding furnace
- $\sum R_t$ = hambatan total

Tahanan dalam pada penelitian ini yaitu lapisan dinding furnace dan yaitu batu tahan api, semen tahan api, dan glasswool. Laju perpindahan panas berlangsung dari temperature lapisan dinding yang tinggi menuju ke temperature yang rendah. Profil temperature laju perpindahan panas (heat transfer) dapat dilihat pada gambar berikut.



gambar 5. profil temperature dinding *furnace*

Penghitungan laju perpindahan panas pada dinding furnace menggunakan parameter-parameter sebagai berikut

tabel 3. parameter penghitungan laju perpindahan panas dinding *furnace*

| Parameter | T (K) | L (m) | A (m ²) | k (W/mK) | h (W/m ² K) |
|----------------------------|-------|-------|---------------------|----------|------------------------|
| Ruang pemanas | 1273 | - | 0,112 | - | 0,24 |
| Lingkungan | 300 | - | 0,455 | - | 0,22 |
| Semen tahan api (simbol A) | - | 0,02 | 0,089 | 0,72 | - |
| Bata tahan api (simbol B) | - | 0,065 | 0,217 | 1,3 | - |
| Glasswool (symbol C) | - | 0,025 | 0,291 | 0,038 | - |

$$q_x = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{\sum R_t}$$

$$q_x = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{\left(\frac{1}{h_1 \cdot A_1}\right) + \left(\frac{L_A}{k_A \cdot A_A}\right) + \left(\frac{L_B}{k_B \cdot A_B}\right) + \left(\frac{L_C}{k_C \cdot A_C}\right) + \left(\frac{1}{h_4 \cdot A_4}\right)}$$

$$q_x = \frac{1273 - 300}{\left(\frac{1}{0,24 \cdot 0,112}\right) + \left(\frac{0,02}{0,72 \cdot 0,089}\right) + \left(\frac{0,065}{1,3 \cdot 0,217}\right) + \left(\frac{0,025}{0,038 \cdot 0,291}\right) + \left(\frac{1}{0,22 \cdot 0,455}\right)}$$

$$q_x = \frac{973}{(37,2 + 0,31 + 0,23 + 2,26 + 9,99)}$$

$$q_x = \frac{973}{49,99}$$

$$q_x = 19,46 \text{ W}$$

Berdasarkan hasil pengujian electric furnace, kecepatan pencapaian pemanasan dari suhu 26°C ke 1.000°C diperlukan waktu sekitar 3.060 detik (51 menit) dengan laju perpindahan panas sebesar 19,46 W. Daya listrik yang diperlukan sebesar 14.202,82 Watt. Pada penelitian ini, daya listrik yang diperlukan besar karena menggunakan tegangan 3 fasa. Hasil penelitian lain dengan ukuran ruang bakar *furnace* 20 cm x 20 cm x 20 cm. Hasil penelitian membuktikan daya listrik yang dibutuhkan untuk mencapai 1.000 °C sebesar 8 kW. Beban maksimal pada dinding depan 100 °C setelah 30 menit dengan temperatur kerja ruang bakar 1.000 °C [3]. Dalam tungku yang beroperasi pada suhu tinggi, kehilangan panas dari dinding luar cangkang penting untuk diperkirakan, ketika tungku beroperasi pada kondisi stabil. Kehilangan ini sesuai dengan kehilangan energi. Dalam urutan untuk memperkirakan kehilangan panas, suhu dinding harus diketahui. Proses pemanasan dalam furnace ini terdiri dari aliran tubulen dan pembakaran multifase yang mematuhi hukum konservasi massa, hukum II Newton, hukum konservasi energi, dan hukum konservasi dan perubahan proses kimia [5]. Terjadi kenaikan temperatur dinding luar yang dipengaruhi oleh variasi material refraktori dikarenakan perbedaan konduktifitas termal pada masing-masing jenis material. Terjadi penurunan temperatur dinding luar yang dipengaruhi oleh variasi ketebalan material isolasi karena semakin tebal material isolasi akan semakin rendah pula temperatur dinding luar pada furnace. Simulasi perpindahan panas pada pintu *furnace* lapis banyak [6]. Bagian dalam pintu *furnace* bersentuhan dengan temperatur panas dan bagian luar bersentuhan dengan temperatur ruangan. Metode beda hingga digunakan untuk mendiskritisikan perpindahan panas konduksi pada

pintu *furnace* sedangkan iterasi *Gauss-Seidel* digunakan untuk menghitung distribusi suhu pada pintu *furnace*. Hasil penelitian membuktikan terdapat gradien temperatur pada bahan yang berbeda akan memiliki nilai yang berbeda pula. Koefisien perpindahan panas lokal terjadi di bagian atas permukaan dalam pintu *furnace*, dan bagian bawah permukaan luar pintu *furnace*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

- a. Hasil uji coba *electric furnace* menunjukkan bahwa kecepatan pencapaian panas dari suhu 26°C ke 1.000°C memerlukan waktu 3.060 sekon dan daya listrik yang dibutuhkan sebesar 14.202,82 Watt.
- b. Laju perpindahan panas pada dinding *electric furnace* sebesar 19,46 W

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khoirudin, "OPTIMASI DESAIN PADA DINDING FURNACE DENGAN TEMPERATUR KERJA 1000 C," *JURNAL KAJIAN TEKNIK MESIN*, 2018.
- [2] F. Kreith, M. Bohn, and A. Kirkpatrick, "Principles of Heat Transfer," *Journal of Solar Energy Engineering*, 1997, doi: 10.1115/1.2887901.
- [3] M. R. R. Razak, "Perancangan Dan Pembuatan Tungku Heat Treatment," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Islam* 45, 2015.
- [4] H. Suprastiyo and P. H. Tjahjanti, "Pembuatan Electric Furnace Berbasis Mikrokontroler," *Rekayasa Energi Manufaktur*, 2017, doi: 10.21070/r.e.m.v1i2.559.
- [5] Y. Zhang, Q. Li, and H. Zhou, *Theory and Calculation of Heat Transfer in Furnaces*. 2016.
- [6] U. Prasopchingchana, "Simulation of heat transfer in the multi-layer door of the furnace," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2011, doi: 10.5281/zenodo.1329998.