

## PERANCANGAN TUNGKU PERLAKUAN PANAS TERMOKIMIA UNTUK APLIKASI BAJA TAHAN KARAT DENGAN PENDEKATAN *REVERSE ENGINEERING*

1) Universitas Bakrie,  
Kuningan, Jakarta 12920,

Correponding email <sup>1\*)</sup> :  
[esa.haruman@bakrie.ac.id](mailto:esa.haruman@bakrie.ac.id)

Received: 09-10-2019

Accepted: 13-11-2019

Published: 28-12-2019

©2019 Politala Press.  
All Rights Reserved.

**Resia Alawiyah Sihab<sup>1)</sup>, Esa Haruman<sup>1\*)</sup>, Annissa Fanya<sup>1)</sup>,  
Rizal Silalahi<sup>1)</sup>**

**Abstrak.** Tungku perlakuan panas termokimia digunakan untuk meningkatkan sifat mekanis permukaan baja. Salah satu alternatif tungku tersebut adalah jenis atmosfer gas konvensional yang nilai ekonomisnya tinggi akibat biaya operasi yang rendah. Pada penelitian ini dilakukan studi terhadap konsep dan desain tungku gas perlakuan panas termokimia untuk bahan logam baja tahan karat jenis tube furnace. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pendekatan reverse engineering dimana produk JNL-1000 tube furnace diamati, dibongkar, dan dianalisa kemudian digunakan sebagai acuan untuk merancang sebuah produk baru yang memiliki keunggulan dibandingkan produk aslinya. Agar hasil desain tungku yang dibuat tepat sasaran kepada kebutuhan dan keinginan pelanggan, maka proses perancangan dianalisis menggunakan pendekatan Quality Function Deployment (QFD) serta kelayakan ekonomi dan keuangan. Hasil dari rancangan ini divisualisasikan dalam model 3D CAD. Hasil dari penelitian disimpulkan bahwa perbaikan rancangan tube furnace untuk perlakuan panas termokimia baja tahan karat ini yaitu adanya tambahan komponen gas turbulencer distributor pada bagian tabung tungku. Hasil rancangan telah memenuhi kelayakan ekonomi dan keuangan untuk diproduksi secara komersil.

**Kata Kunci :** Tungku Perlakuan Panas, Termokimia, Reverse Engineering, QFD, Kelayakan Ekonomi

**Abstract.** Thermochemical heat treatments are performed to enhance surface mechanical properties of stainless steel. One alternative of the furnace types is the gaseous conventional furnace whose economic value is high due to low operating costs. A concept and design of thermochemical heat treatment gaseous furnace for stainless steel is studied in the present work. The study makes use of reverse engineering approach whereby the JNL-1000 tube furnace product was observed, disassembled, and analyzed as a basis for designing a modified product. In order to meet with the customer needs, Quality Function Deployment (QFD) approach as well as economic and the financial feasibility are used in the design process. Modification of the furnace parts by reverse engineering resulted in applying a gas turbulencer in the tube component. The gas turbulencer is simulated in 3D CAD models. The study concluded that the improvement of the tube furnace design by implementing a gas turbulence ensure reproducible treated product and fulfilled economic and financial feasibility for commercial production.

**Keywords :** Heat Treatment Furnace, Thermochemical, Reverse Engineering, QFD, Economic Feasibility

To cite this article at <https://doi.org/10.34128/je.v6i2.110>

## 1. Pendahuluan

Perlakuan panas merupakan rangkaian siklus panas meliputi pemanasan, penahanan temperatur, dan pendinginan yang biasanya dilakukan pada logam atau paduan dalam kondisi padat. Tujuannya untuk mendapatkan sifat fisik atau mekanik tertentu seperti kekerasan, kekuatan dan ketangguhan dari suatu logam. Perlakuan panas dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, dan salah satunya yaitu perlakuan panas dengan termokimia. Perlakuan panas termokimia adalah proses mendifusikan elemen kimia ke dalam baja pada suhu meningkat untuk meningkatkan sifat mekanis pada bagian permukaan baja tersebut. Beberapa jenis perlakuan panas termokimia untuk material baja antara lain seperti carburizing, nitriding, carbonitriding, dan nitrocarburizing.

Dalam perlakuan panas dibutuhkan alat untuk pemanasannya yaitu tungku perlakuan panas. Berdasarkan energi panas yang ditransfernya, tungku perlakuan panas dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu tungku yang memanfaatkan energi panas dari hasil proses pembakaran dan tungku yang memanfaatkan listrik sebagai sumber energi untuk menghasilkan panas. Berkaitan dengan tungku perlakuan panas termokimia, dikenal tungku jenis plasma dan tungku konvensional gas. Tungku jenis plasma menggunakan energi listrik yang mendifusikan elemen seperti karbon dan nitrogen dalam suasana vakum medan listrik yang mengionisasi atom-atom nitrogen maupun karbon. Sedangkan tungku yang konvensional hanya memanfaatkan reaksi kimia gas yang hadir untuk berdekomposisi dan selanjutnya berdifusi ke dalam permukaan material benda kerja. Tungku yang diperlukan untuk mengeraskan baja harus dilengkapi dengan peralatan seperti pengendali temperatur yang akurat dan pengendali komposisi atmosfer.

Berbagai jenis tungku perlakuan panas gas konvensional untuk perlakuan termokimia antara lain adalah tube furnace, fluidized bed furnace, dan vacuum furnace. Masing – masing jenis tungku tersebut memiliki karakteristik dan keterbatasannya sehingga digunakan sesuai kebutuhan perlakuan panas yang diterapkan pada berbagai jenis material. Pada tugas akhir ini konsep dan desain tungku konvensional gas diteliti untuk perlakuan panas termokimia temperatur rendah bagi baja tahan karat dengan aplikasi spesimen berdimensi kecil dalam jumlah yang sedikit. Kebutuhan akan tungku perlakuan panas dengan karakteristik tersebut sejalan dengan telah dikembangkannya perlakuan panas termokimia temperatur rendah terhadap komponen cangkok bedah yang terbuat dari baja tahan karat. Konsep dan desain tungku yang dimaksud adalah harus memenuhi nilai ekonomis dalam memproduksinya disamping keakuratan pengoperasian serta inovatif dari pertimbangan ergonomis dibandingkan tungku gas lain yang sudah ada. Pembuatan desain tungku tersebut ditujukan untuk mendorong pemanfaatan perlakuan panas termokimia pada industri kecil yang berorientasi kepada permintaan terhadap peningkatan sifat permukaan baja tahan karat sebagai komponen cangkok bedah.

## 2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, antara lain:

### 1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari tentang konsep pengembangan produk, tungku perlakuan panas bahan logam, perlakuan panas termokimia bahan baja, pendekatan *Reverse Engineering*, dan metode *Quality Function Deployment*.

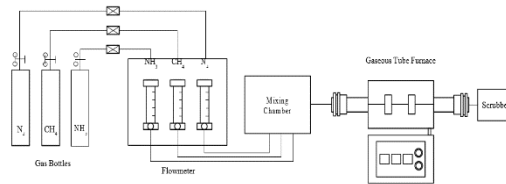
### 2. Menentukan desain awal tungku

Dalam menetapkan desain awal pada penelitian ini, tungku yang digunakan sebagai acuan desain adalah JNL

1000 *Tube Furnace*. Tungku perlakuan panas jenis *tube furnace* ini memiliki karakteristik seperti:

- Memiliki temperatur kerja maksimum 700°C
- Material tabung terbuat dari *quartz*
- Panjang tabung keseluruhan 1000 mm dan panjang zona panas 250 mm
- Memiliki diameter tabung 100 mm
- Ruang tungku terbuat dari bahan *alumunia fiber* 1000°C
- Menggunakan energi listrik sebagai sumber energi penghasil panas (*electric furnace*)

Rencana desain awal tungku perlakuan panas *tube furnace* diilustrasikan pada Gambar 1.



**Gambar 1** Desain awal tungku perlakuan panas *tube furnace*

### 3. Kegiatan *Reverse Engineering*

Tahapan yang dilakukan dalam kegiatan reverse engineering pada penelitian ini meliputi:

- Urai model (*model disassembly*)

Pada tahap urai model ini dimulai dengan melakukan urai model atau pembongkaran model yaitu tube furnace menjadi bagian-bagian atau komponen-komponen. Setiap komponen dari produk diidentifikasi, dianalisis dan dipahami secara rinci arsitektur tube furnace, material, fungsi hingga prinsip kerja dari setiap komponen tersebut. Struktur tungku jenis tube furnace dapat dikatakan sederhana sehingga dimensi dari komponen dapat diketahui dan diukur dengan alat ukur yang sederhana pula. Selain itu, proses pembongkaran dilakukan sekaligus mempelajari kelemahan-kelemahan yang ada pada produk tersebut yang dapat menjadi peluang untuk dilakukan perbaikan. Selain berguna untuk lebih dapat memahami setiap detail produk, pencatatan setiap komponen yang dibongkar dapat berguna untuk membuat bill of material (BOM) tube furnace. Hal ini juga dapat dilakukan untuk menelusuri kesalahan yang terjadi bila tube furnace tidak dapat berjalan dengan baik saat dilakukan pengujian.

- Perancangan ulang

Dari proses pembongkaran tube furnace tersebut, dapat diketahui beragam informasi yang rinci mengenai komponen-komponen, material, fungsi dan prinsip kerja, proses perakitan, kelemahan-kelemahan komponen produk serta pemahaman intuitif dari pengalaman langsung dalam menggunakan dan membongkar tube furnace tersebut. Dari proses pembongkaran dan analisis fungsional tersebut dapat dihasilkan data desain yang rinci yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan evolusi produk. Data tersebut digunakan untuk merancang ulang tube furnace dengan memperbaiki atau memodifikasi fungsi ataupun fisik dari tube furnace. Agar hasil perbaikan atau modifikasi ini dapat sesuai dengan kebutuhan dan keinginan pengguna, pada tahap perancangan ini dibantu dengan pendekatan *Quality Function Deployment* atau QFD. Pendekatan QFD yang dilakukan yaitu fase perencanaan produk. Hasil yang digunakan dari QFD fase ini adalah prioritas perbaikan atau pengembangan dari produk yang sudah ada dengan menyelaraskan potensi perbaikan produk yang telah diketahui pada tahap urai model dengan kebutuhan dan keinginan pengguna terhadap produk *tube furnace* tersebut.

### 4. Modifikasi Desain Produk

Pada tahap ini dilakukan modifikasi atau perbaikan komponen *tube furnace* tipe JNL-1000. Perbaikan atau modifikasi dapat dilakukan dengan memilih, menggantikan, menghilangkan atau menambahkan subfungsi atau subsistem dari produk sesuai dengan hasil yang diperoleh dari tahap urai model dan tahap perancangan ulang yang sebelumnya telah dilakukan. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan 3D CAD dari komponen yang mengalami modifikasi.

### 5. Analisis Kelayakan Ekonomi dan Keuangan Produk

Pada tahap ini terlebih dahulu dilakukan perhitungan biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi satu unit *tube furnace* yang telah dilakukan perancangan ulang untuk mendapatkan nilai harga yang sesuai untuk menjual produk.

Setelah dilakukan perhitungan biaya, tahap ini dilanjutkan dengan memutuskan apakah produk layak secara ekonomi untuk memasuki pasar atau layak untuk beredar secara komersil. Untuk mengetahui produk layak atau tidak, dapat diketahui dengan dua acara yaitu analisis kelayakan ekonomi jangka pendek dan jangka panjang.

Pertimbangan yang dilakukan untuk memutuskan bahwa produk layak secara ekonomi dalam jangka pendek untuk dapat memasuki pasar dapat diketahui ketika pendapatan rata-rata dalam arti lain merupakan harga barang yang diproduksi atau  $P$  lebih besar dari  $VC/Q$ , yaitu biaya variabel rata-rata atau  $AVC$ . Oleh karena itu kriteria produk dalam jangka pendek layak secara ekonomi adalah:

$$\text{Layak jika } P > AVC \quad (2.1)$$

Selain itu, pertimbangan yang dilakukan untuk memutuskan bahwa produk layak secara ekonomi dalam jangka panjang untuk dapat memasuki pasar apabila harga barang yang akan diproduksinya lebih besar dari biaya total rata-rata yang harus ditanggungnya selama melakukan proses produksi. Oleh sebab itu, kriterianya adalah:

$$\text{Layak jika } P > ATC \text{ (2.2)}$$

Selanjutnya, pada tahap ini dilakukan analisis keuangan produk dengan menilai apakah desain produk *tube furnace* yang baru ini menguntungkan dan layak yang ditinjau dari segi keuangan. Dalam hal ini dilakukan dengan analisis biaya dan kelayakan investasi seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR) dan *Payback Period* (PP).

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Desain Awal Tungku

Dalam menetapkan desain awal pada penelitian ini, tungku yang digunakan sebagai acuan desain adalah JNL-1000 *Tube Furnace*. Tungku perlakuan panas jenis *tube furnace* ini memiliki karakteristik seperti:

- Memiliki temperatur kerja maksimum 700°C
- Material tabung terbuat dari *quartz*
- Panjang tabung keseluruhan 1000 mm dan panjang zona panas 250 mm
- Memiliki diameter tabung 100 mm
- Ruang tungku terbuat dari bahan *alumunia fiber* 1000°C
- Menggunakan energi listrik sebagai sumber energi penghasil panas (*electric furnace*)

#### Kegiatan *Reverse Engineering*

##### Urai Model (*Model Disassembly*)

Pada tahap ini dilakukan *disassembly* model yaitu tube furnace tipe JNL-1000 sehingga dapat diketahui komponen-komponen utama penyusun produk serta menganalisis fungsi dari setiap komponen utama tersebut. Dari hasil proses pembongkaran model tersebut maka dapat diketahui 3 komponen utama yaitu *tube* atau tabung tungku, *furnace chamber* atau dinding tungku, dan instrumentasi.

##### Perancangan Ulang Produk

Dalam tahap perancangan ulang produk, tahap pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data. Data pada penelitian ini didapatkan dari wawancara (*interview*), survei dan observasi terhadap secara langsung dan pengguna dari produk *tube furnace* itu sendiri. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini terdiri dari data responden. Data ini berisi data yang didapatkan dari responden secara langsung. Jumlah responden dalam penelitian ini sebanyak 5 orang yang merupakan para konsumen atau seorang yang pernah atau sering menggunakan produk *tube furnace* untuk proses perlakuan panas dan mengerti secara detail mengenai produk tersebut dengan profil konsumen atau pengguna sebagai berikut:

**Tabel 1.** Profil Responden

| No. | Pekerjaan                             | Jumlah Responden (Orang) | Jenis Kelamin |
|-----|---------------------------------------|--------------------------|---------------|
| 1   | Dokter gigi                           | 1                        | Perempuan     |
| 2   | Peneliti ilmu material dan manufaktur | 2                        | Laki - Laki   |
| 3   | Pemilik industri logam kecil          | 1                        | Laki - Laki   |
| 4   | Pemasok peralatan laboratorium        | 1                        | Laki - Laki   |

Agar hasil desain tungku yang akan dibuat tepat sasaran kepada kebutuhan dan keinginan pelanggan, maka pada proses perancangan dibantu dengan menggunakan pendekatan *Quality Function Deployment* (QFD). Perancangan dilakukan dengan menyusun beberapa buah kolom yang dijadikan sebuah matriks besar HOQ (*House of Quality*). Kolom-kolom tersebut adalah:

- *Customer Requirement*

Kebutuhan pelanggan atau persyaratan pelanggan didapatkan dari suara konsumen atau orang-orang yang pernah menggunakan dan mengerti secara detail tube furnace untuk proses perlakuan panas termokimia. Hasil dari mayoritas kebutuhan responden yang diperoleh dikelompokkan berdasarkan kebutuhan yang memiliki makna sejenis dan kalimat yang mewakili kelompok tersebut. Persyaratan pelanggan atau customer requirements dalam penelitian ini dapat diketahui pada Tabel 2.



Dari Tabel 3 dapat diketahui terdapat 5 persyaratan teknis yang memiliki nilai absolute requirement paling tinggi dan yang perlu didahulukan untuk dilakukan pengembangan yaitu pilihan komponen produk, sistem bongkar pasang komponen, sistem transfer panas, jenis instrumentasi, dan harga produk. Dari kelima persyaratan tersebut yang menjadi prioritas untuk dilakukan perancangan ulang adalah sistem transfer panas. Hal ini dikarenakan pada tahap urai model yang telah dilakukan sebelumnya, dapat diketahui komponenn yang memiliki kelemahan adalah tabung tungku. Dari kelima prioritas tersebut yang memiliki keselarasan dengan komponen tabung tungku adalah sistem transfer panas. Oleh karena itu sistem transfer panas menjadi prioritas untuk dilakukan perancangan ulang terlebih dahulu.

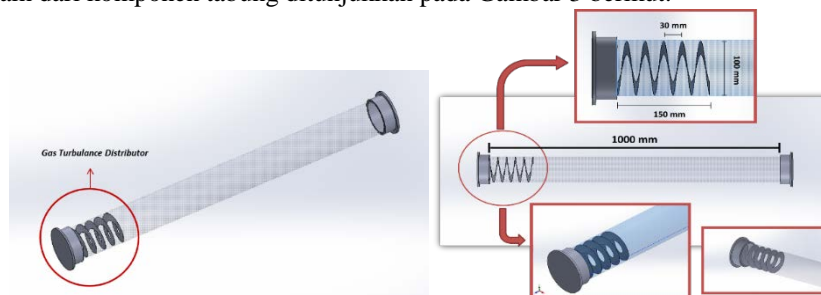
**Tabel 3. Technical Requirement Priorities**

| No. | Technical Requirement          | Absolute Importance | Rank | Deployment |
|-----|--------------------------------|---------------------|------|------------|
| 1   | Pilihan komponen produk        | 201                 | 1    | √          |
| 2   | Dimensi produk                 | 59                  | 7    | --         |
| 3   | Sistem pemindah produk         | 36                  | 9    | --         |
| 4   | Sistem bongkar pasang komponen | 70                  | 5    | √          |
| 5   | Berat total produk             | 34                  | 10   | --         |
| 6   | Jenis tube                     | 61                  | 6    | --         |
| 7   | Tingkat estetika               | 22                  | 11   | --         |
| 8   | Sistem transfer panas          | 103                 | 2    | √          |
| 9   | Sistem pembuangan sisa proses  | 39                  | 8    | --         |
| 10  | Jenis Instrumentasi            | 88                  | 4    | √          |
| 11  | Harga produk                   | 97                  | 3    | √          |

### Modifikasi Desain Produk

Berdasarkan kegiatan sebelumnya, komponen produk yang perlu dilakukan perbaikan atau modifikasi adalah tube atau tabung tungku. Perbaikan yang dilakukan untuk mengatasi kelemahan tersebut adalah dengan membuat gas turbulence distributor yaitu suatu komponen yang berfungsi untuk mengalirkan gas dengan fenomena turbulensi sehingga dapat menjamin homogenitas atau keseragaman dari aliran gas yang mengalir pada tabung. Gas turbulence distributor terbuat dari bahan stainless steel berbentuk pipih yang dibentuk seperti spiral yang diletakkan sepanjang 150 mm dari ujung tube dengan diameter 100 mm. Desain seperti ini dilakukan agar gas yang mengalir dari sumber gas yang awalnya aliran gas tersebut bersifat laminar dapat berubah menjadi aliran yang bersifat turbulen dengan menggunakan gas turbulence distributor sebelum masuk ke bagian heat zone pada tabung yang merupakan tempat diletakkannya spesimen. Aliran gas turbulen memiliki kelebihan dibandingkan aliran gas laminar yang biasa digunakan dalam proses perlakuan panas termokimia menggunakan tube furnace lainnya yaitu aliran gas turbulen dapat mendorong pencampuran gas yang baik karena molekul terus bergerak dan bersilangan yang menyebabkan gas sepenuhnya tercampur dengan semua bagian. Hal ini dapat meningkatkan homogenitas atau keseragaman dari aliran gas dan temperatur yang mengalir pada *tube*.

Perubahan desain dari komponen tabung ditunjukkan pada Gambar 3 berikut:



**Gambar 3.** Perubahan Desain Komponen Tabung Tungku

### Analisis Kelayakan Ekonomi Produk

#### Perhitungan Harga Pokok Produksi

**Tabel 4.** Perhitungan Harga Pokok Produksi *Tube Furnace*

| KETERANGAN                | TOTAL BIAYA   |
|---------------------------|---------------|
| <b>Biaya Manufaktur :</b> |               |
| Biaya Bahan Baku          | Rp 14,080,000 |
| Biaya Tenaga Kerja        | Rp 5,000,000  |
| Biaya Overhead Pabrik     | Rp 5,688,833  |
| Total Biaya Produksi      | Rp 24,768,833 |

| <b>Biaya Non Manufaktur</b>               |           |                   |
|---|-----------|-------------------|
| Biaya Administrasi dan Umum               | Rp        | 500,000           |
| Biaya Pemasaran                           | Rp        | 500,000           |
| Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung         | Rp        | 3,500,000         |
| Total Biaya Non Manufaktur                | Rp        | 1,000,000         |
| <b>Total Harga Pokok Produksi Perunit</b> | <b>Rp</b> | <b>25,768,833</b> |

#### Keputusan Jangka Pendek Produk Layak untuk Masuk Pasar

Pertimbangan yang dilakukan untuk memutuskan bahwa produk layak secara ekonomi dalam jangka pendek untuk dapat memasuki pasar dapat diketahui ketika pendapatan rata-rata dalam arti lain merupakan harga barang yang diproduksi atau  $P$  lebih besar dari  $VC/Q$ , yaitu biaya variabel rata-rata atau  $AVC$ . Oleh karena itu kriteria produk dalam jangka pendek layak secara ekonomi adalah:

$$\text{Layak jika } P > AVC$$

**Tabel 5.** Keputusan Kelayakan Ekonomi Jangka Pendek

| <b>Keputusan Jangka Pendek</b> |    |              |
|--------------------------------|----|--------------|
| Harga (P)                      | Rp | 27,000,000   |
| Rata-Rata Biaya Variabel (AVC) | Rp | 4,882,500    |
| <b>Hasil Keputusan:</b>        |    | <b>LAYAK</b> |

Tabel 5 di atas menunjukkan bahwa harga produk ( $P$ ) lebih besar dari rata-rata biaya variabel ( $AVC$ ). Oleh karena itu, dalam jangka pendek produk dinyatakan layak secara ekonomi.

#### Keputusan Jangka Panjang Produk Layak untuk Masuk Pasar

Pertimbangan yang dilakukan untuk memutuskan bahwa produk layak secara ekonomi dalam jangka panjang untuk dapat memasuki pasar apabila harga barang yang akan diproduksinya lebih besar dari biaya total rata-rata yang harus ditanggungnya selama melakukan proses produksi. Oleh sebab itu, kriterianya adalah:

$$\text{Layak jika } P > ATC$$

**Tabel 6.** Keputusan Kelayakan Ekonomi Jangka Pendek

| <b>Keputusan Jangka Panjang</b> |    |              |
|---------------------------------|----|--------------|
| Harga (P)                       | Rp | 27,000,000   |
| Rata-Rata Total Biaya (ATC)     | Rp | 12,884,417   |
| <b>Hasil Keputusan:</b>         |    | <b>LAYAK</b> |

Pada Tabel 6 menunjukkan bahwa harga produk ( $P$ ) lebih besar dari rata-rata total variabel ( $ATC$ ). Oleh karena itu, dalam jangka panjang produk dinyatakan layak secara ekonomi.

#### **Analisis Kelayakan Keuangan Produk**

Tahap ini diawali dengan membuat laporan rugi laba atau income statement. Hasil yang diperoleh dari *income statement* tersebut dapat diperoleh arus kas bersih atau *net cash flow* untuk menjadi acuan dalam melakukan perhitungan PP, NPV, dan IRR.

#### Payback Period (PP)

Perhitungan metoda analisa *Payback Period* (PP) ditunjukkan pada tabel berikut ini:

**Tabel 7.** *Payback Period* (PP)

| Tahun ke | Arus Kas Bersih | Discount Factor 10% | Nilai Sekarang Bersih | Kumulatif Arus Kas Sekarang Bersih |
|----------|-----------------|---------------------|-----------------------|------------------------------------|
| 0        | -Rp 1,693,000   | 1.0000              | -Rp 1,693,000         | -Rp 1,693,000                      |
| 1        | -Rp 7,080,425   | 0.9091              | -Rp 6,436,750         | -Rp 8,129,750                      |
| 2        | Rp 7,857,542    | 0.8264              | Rp 6,493,836          | -Rp 1,635,914                      |
| 3        | Rp 14,252,875   | 0.7513              | Rp 10,708,396         | Rp 9,072,482                       |

$$\begin{aligned} PP &= 2 + 9,072,482 / 9,072,482 - (-1,635,914) \\ &= 2,847 \text{ tahun} \\ &= 2 \text{ tahun } 10 \text{ bulan} \end{aligned}$$

Dari Tabel 7 dapat diketahui nilai *Payback Period* atau periode pengembalian investasi yaitu dalam kurun waktu 2 tahun 10 bulan.

#### Net Present Value (NPV)

Perhitungan metoda analisa *Net Present Value* (NPV) ditunjukkan pada tabel berikut ini:

**Tabel 8.** *Net Present Value* (NPV)

| Tahun ke                     | Arus Kas Bersih | Discount Factor 10% | Nilai Sekarang Bersih |
|------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|
| 0                            | -Rp 1,693,000   | 1.0000              | -Rp 1,693,000         |
| 1                            | -Rp 7,080,425   | 0.9091              | -Rp 6,436,750         |
| 2                            | Rp 7,857,542    | 0.8264              | Rp 6,493,836          |
| 3                            | Rp 14,252,875   | 0.7513              | Rp 10,708,396         |
| <b>Nilai Bersih Sekarang</b> |                 |                     | <b>Rp 9,072,482</b>   |

Dari Tabel 8 dapat diperoleh nilai NPV berada pada nilai positif yaitu Rp 9,072,482. Hal ini menunjukkan bahwa dalam aspek keuangan investasi tersebut dapat dikatakan layak.

#### Internal Rate of Return (IRR)

Perhitungan metoda analisa *Internal Rate of Return* (IRR) ditunjukkan pada tabel berikut ini:

**Tabel 9.** *Internal Rate of Return* (IRR)

| Tahun ke     | Arus Kas Bersih | (r)<br>60 % | Nilai Sekarang Bersih | (r)<br>70 %      | Nilai Sekarang Bersih |               |
|--------------|-----------------|-------------|-----------------------|------------------|-----------------------|---------------|
| 0            | Rp -            | 1,693,000   | 1.0000                | -Rp 1,693,000    | 1.0000                | -Rp 1,693,000 |
| 1            | Rp -            | 7,080,425   | 0.6250                | -Rp 4,425,266    | 0.5882                | -Rp 2,603,097 |
| 2            | Rp -            | 7,857,542   | 0.3906                | Rp 3,069,352     | 0.3460                | Rp 1,062,060  |
| 3            | Rp -            | 14,252,875  | 0.2441                | Rp 3,479,706     | 0.2035                | Rp 708,265    |
| <b>Total</b> |                 |             | <b>Rp 430,792</b>     | <b>2,525,773</b> |                       |               |

$$IRR = 70\% + 70\% - 60\% \times \frac{430,792}{2,525,773} = 61\%$$

Dari Tabel 9 dapat diperoleh nilai IRR yaitu 61%. Nilai tersebut lebih tinggi dari bunga bank yaitu 10%. Oleh karena itu investasi tersebut dapat dikatakan layak dalam aspek keuangan.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini maka diketahui komponen yang memiliki kelemahan adalah tabung tungku yang menyebabkan aliran gas yang mengalir menuju spesimen jadi tidak merata sehingga tingkat presisi hasil perlakuan yang tidak memenuhi target produk yang diinginkan. Kemudian dilakukan perancangan ulang produk yang dibantu dengan metode QFD, yang menjadi prioritas pengembangan atau perbaikan adalah sistem transfer panas. Hasil dari modifikasi atau perbaikan komponen dilakukan pada bagian tungku tabung dengan membuat gas turbulence distributor. Gas turbulence distributor yang didesain secara konseptual dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan tidak meratanya aliran gas sepanjang tabung tungku. Usulan rancangan tube furnace telah memenuhi kebutuhan pelanggan dan telah layak secara ekonomi dan keuangan.

### Daftar Pustaka

- [1] Arai, T., & al., e. (1991). *ASM Handbook Volume 4 Heat Treating*. The Material Information Company.
- [2] Atkinson, M., Barry, J., Boone, D., Ciampini, M., Greene, J., Marker, A., . . . Wright, A. (2007). *Improving Process Heating System Performance: A Sourcebook for Industry* (2nd ed.). Energy Efficiency and Renewable Energi; Industrial Equipment Association.
- [3] Carbolite. (n.d.). *Laboratory Chamber & Tube Furnaces*. Hope Valley United Kingdom.
- [4] Cristiano, J. J., Liker, J. K., & White, C. C. (2000). Customer-Driven Product Development Through Quality Function Deployment in the U.S. and Japan.
- [5] Czerwinski, F. (2012). *Heat Treatment Conventional and Novel Applications*. Croatia: InTech.



- [6] D.K.Pal, Ravi, D. B., Bhargava, L., & Chandrasekhar, U. (2015). Computer-Aided Reverse Engineering for Rapid Replacement Parts: A Case Study. *Defence Science Journal*.
- [7] Datar, S. M., & Rajan, M. V. (2018). *Horngren's Cost Accounting A Managerial Emphasis* (6th ed.). United Kingdom: Pearson Education.
- [8] Dieter, G. E., & Schmidt, L. C. (2009). *Engineering Design* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.
- [9] Eldessouky, H. (2010). *Development and Assessment of a Reverse Engineering Framework for Spare Parts*. Research Gate.
- [10] Geren, N., Bayramoğlu, M., & Eşme, U. (2017). Improvement of a low-cost water jet machining intensifier using reverse engineering and redesign methodology. *Journal of Engineering Design*.
- [11] Haruman, E., Sun, Y., Triwiyanto, A., Manurung, Y., & Adesta, E. (2011). An Investigation on Low-Temperature Thermochemical Treatments of Austenitic Stainless Steel in Fluidized Bed Furnace. *Journal of Materials Engineering and Performance*.
- [12] Hauser, J. R., Griffin, A., Katz, G., & P.Gaskin, S. (2010). Quality Function Deployment (QFD).
- [13] Holman, J. (2012). *Experimental Method for Engineers* (8th ed.). New York: McGraw - Hill Companies.
- [14] III, A. L., & Khurana, A. (1995). Quality function deployment: total quality management for new product design. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 12(6).
- [15] Jono. (2006). Implementasi Metode Quality Function Deployment (QFD) Guna Meningkatkan Kualitas Kain Batik Tulis.
- [16] Keown, A. J., Martin, J. D., & Petty, J. W. (2014). *Foundations of Finance The Logic and Practice of Financial Management* (8th ed.). New Jersey: Pearson Education, Inc.
- [17] Kosasih, W., Soenandi, A., & Celsia, E. (2013). Aplikasi QFD untuk Pengembangan Produk Wafer (Studi Kasus: PT Indo Sari Abadi). *Journal Teknik dan Ilmu Komputer*, II(7).
- [18] Kosmac, A. (2015). *Surface Hardening of Stainless Steels* (2nd ed.). Brussels: Euro Inox.
- [19] Kotler, P., & Amstrong, G. (2012). *Principles of Marketing* (14th ed.). New Jersey: Pearson Education.
- [20] Kumar A.:Jain, P., & Pathak, P. (2013). *Reverse Engineering In Product Manufacturing: An Overview*. Vienna Austria: DAAAM International Scientific Book.
- [21] Kurniasih, D. (2013). Analisis Perancangan Skateboard dengan Quality Function Deployment-House Quality. *Spektrum Industri*, 11(2).
- [22] Makmuri, M. K., & Zahri, A. (2016). Penerapan Metode Quality Function Deployment (QFD) Pada Pengembangan Produk Locker. *Symposium Nasional RAPI XV – 2016 FT UMS*.
- [23] Mankiw, N. G. (2003). *Pengantar Ekonomi* (ke-2 ed.). (W. C. Krisiaji, Ed., & H. Munandar, Trans.) Jakarta: Erlangga.
- [24] Mittermeijer, E. J., & Somers, M. A. (2015). *Thermochemical Surface Engineering of Steels*. Oxford: Woodhead Publishing.
- [25] Nabertherm. (n.d.). *Thermal Process Technology II*. Lilienthal: Nabertherm.
- [26] Odiegel. (2007). Quality Function Deployment.
- [27] Otto, K. N., & Wood, K. L. (1996). A Reverse Engineering and Redesign Methodology for Product Evolution.
- [28] Otto, K. N., & Wood, K. L. (1998). Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology. *Research in Engineering Design*.
- [29] Otto, K., & Wood, K. (2001). *Product Design Techniques In Reverse Engineering And New Product Development*. New Jersey: Prentice Hall.
- [30] Pham, D., & Hieu, L. (2008). Reverse Engineering–Hardware and Software. In V. Raja, & K. J. Fernandes, *Reverse Engineering*. London.

- [31] Prabhudev, K. H. (1988). *Handbook of Heat Treatment of Steels*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- [32] Purushothaman, R. (2008). Evaluation and Improvement of Heat Treat Furnace Model.
- [33] Putra, H. E., & Siregar, K. R. (2014). Analisis Kualitas Produk Menggunakan Metode Quality Function Deployment (Studi Kasus: Yamaha Motor Kencana Indonesia Cabang Bandung).
- [34] Raja, V., & Fernandes, K. J. (2008). *Reverse Engineering: An Industrial Perspective*. London: British Library Cataloguing.
- [35] Ramnath, B. V., & al., e. (2011). Implementation of Reverse Engineering for Crankshaft Manufacturing. V(1).
- [36] Rawlings-Quinn, R. (n.d.). Quality Function Deployment (QFD): Case Study.
- [37] Scheuer, C. J., Cardoso, R. P., & Brunatto, S. F. (2015). Low-temperature Plasma Assisted Thermochemical Treatments of AISI 420 Steel: Comparative Study of Obtained Layers. *Material Research*.
- [38] Tijani, Y. A. (2008). *Modelling and Simulation of Thermochemical Heat Treatment Process: A Phase Field Calculation of Nitriding in Steel*. Berlin.
- [39] Triwiyanto, A., Husain, P., Haruman, E., & Ismail, M. (2012). Low Temperature Thermochemical Treatments of Austenitic Stainless Steel Without Impairing Its Corrosion Resistance.
- [40] Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). *Product Design and Development* (6th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- [41] Wang, W. (2011). *Reverse Engineering Technology of Reinvention*. Boca Raton: CRC Press.
- [42] Wood, K. L., Daniel Jensen, J. B., & Otto, K. (2001). Reverse Engineering and Redesign: Courses to Incrementally and Systematically Teach Design. *Journal of Engineering Education*.
- [43] Yuliana, T. (2015). Analisa Kegagalan Alat Potong Pada Mesin Gergaji Putar.
- [44] Zhang, K., & al., e. (2018). High-temperature pyrolysis behavior of a bituminous coal in a drop tube furnace and further characterization of the resultant char. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.