

## Perancangan Proses Pembuatan Kondensator Untuk Pendingin Reaktor Pirolisis Kapasitas 75 Kg/Jam

Eka Maulana<sup>1,\*</sup>, Maruli Tua Hamonangan Pardede<sup>1</sup>, Didik Mahardika<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jagakarsa Jakarta Selatan, 12640, Indonesia

\*E-mail : [briyanulf@gmail.com](mailto:briyanulf@gmail.com)

### ABSTRAK

*Heat exchanger* adalah suatu alat yang dirancang untuk membantu proses pirolisis atau perubahan zat cair menjadi fluida (bbm dan gas). Dalam pembuatan *Heat exchanger* ini perlu dilakukannya proses manufaktur komponen dan perakitan. Pada penelitian ini akan dijelaskan mengenai perencanaan proses manufaktur dan proses perakitan guna memudahkan dan mempersingkat waktu pengerjaan. Proses pembuatan dilakukan pada komponen utama yaitu *Shell* Kondensator, *head* kondensator, *Tube*, *Tubesheet*, dan *Baffle*. Pada komponen utama kondensator pirolisis yang dibuat ini tentunya harus memiliki sifat khusus dalam penggunaan bahan maka material yang digunakan adalah stainless steel 304, dan sisanya menggunakan bahan material *cast iron* dan *carbon steel*. Metode yang digunakan dalam proses pembuatan adalah metode DMFA (*Design For Manufacturing and Assembly*) yang dimana dalam metode ini dibagi menjadi dua bagian yaitu DFM (*Design For Assembly*) dan DFA (*Design For Assembly*). Untuk setiap kali proses manufaktur yang dilakukan mengacu pada SOP (standard operation procedure) yang telah dibuat dalam pembuatan kondensator pirolisis ini terdapat 7 SOP dengan estimasi waktu pengerjaan 28,5 jam dengan 2,5 hari dan proses perakitan dikerjakan secara parallel, sedangkan estimasi waktu pengerjaan berdasarkan OPC (*operation procedure chart*) adalah 22,7 jam sama dengan 2,5 hari. Biaya total kondensator pirolisis yaitu Rp. 87.763.164.

**Kata kunci:** Heat exchanger, DMFA, SOP, OPC, Proses manufaktur, Stainless steel 304

### ABSTRACT

*Heat exchanger* is a device that is designed to help the process of pyrolysis or the conversion of liquid into fluid (fuel and gas). In making this Heat Exchanger it is necessary to do the component manufacturing and assembly process. This research will explain the manufacturing process planning and assembly process in order to facilitate and shorten the processing time. The fabrication process is carried out on the main components namely Shell Condenser, Condenser Head, Tube, Tubesheet, and Baffle. In the main component of the pyrolysis condenser that is made of course must have special properties in the use of materials, the material used is stainless steel 304, and the rest uses cast iron and carbon steel materials. The method used in the fabrication process is the DMFA (*Design For Manufacturing and Assembly*) method, which in this method is divided into two parts, namely DFM (*Design For Assembly*) and DFA (*Design For Assembly*). For each time the manufacturing process is carried out referring to the SOP (standard operation procedure) that has been made in the manufacture of this pyrolysis condenser, there are 7 SOP with an estimated processing time of 28.5 hours with 2.5 days and the assembly process is done in parallel, while the estimated processing time based on OPC (*operation procedure chart*) is 22.7 hours is equal to 2.5 days. The total cost of pyrolysis condenser is Rp. 87.763.164.

**Keywords:** Heat exchanger, DMFA, SOP, OPC, Process manufactur, Stainless steel 304

## 1. PENDAHULUAN

Sampah plastik merupakan permasalahan lingkungan hidup yang dihadapi oleh dunia. Berdasarkan data sampah dunia, sejumlah sampah padat terus meningkat sampai sebesar 70% pada tahun ini dan diperkirakan sampai tahun 2025 berawal sekitar 1,3 miliar ton per-tahun dan meningkat 2,2 miliar ton per-tahunnya. Indonesia salah satu negara yang termasuk dalam produksi sampah cukup besar, dari data Bank Dunia menyampaikan, produksi sampah jenis padat dapat mencapai 151.921 secara nasional ton per-hari. Sampah Plastik diperkirakan membutuhkan 100 hingga 500 tahun hingga dapat terdekomposisi (terurai) dengan sempurna. Oleh karena itu harus ada alternatif pengolahan limbah plastik yang baik dan benar tidak merugikan lingkungan dan tidak mengganggu kesehatan manusia, yaitu dengan alat pirolisis, pirolisis adalah proses dekomposisi bahan organik dan polimer dengan memanaskan bahan tersebut tanpa oksigen untuk menghasilkan produk dengan berat molekul yang lebih rendah. Pada proses ini terjadi proses pengeringan dengan cara penguapan kadar air (*moisture content*) yang berada didalam bahan dan devolatilisasi merupakan suatu zat yang mudah menguap (*volatile matter*) yang menyebabkan keluar dari bahan tersebut. Produk utama dari pirolisis adalah residu karbon (*char*), minyak pirolisis (*pyrolytic oil*) atau tar dan gas (*pyrogas*). Proses pirolisis ini dimulai temperatur sekitar 550 C dan berakhir pada temperatur 2 250 C, pada proses ini kehadiran katalis ini akan menghasilkan minyak ringan (*lights oil*) dengan peningkatan yang drastis dalam konsentrasi rantai aromatik tunggal. Pada proses pirolisis mempunyai suatu bagian terpenting dalam peralatan distilasi uap yaitu kondensor, kondensor dievaluasi dari jenis dan desain yang mempengaruhi hasil minyak yang dihasilkan dari distilasi, dan baik dalam sisi rendemen maupun mutunya. Dalam proses pendinginan uap minyak pada proses pirolisis menggunakan kondensor yang berfungsi mengembunkan uap panas dari hasil

pembakaran plastik yang akan menjadi bahan bakar solar maupun bensin.

## TEORI DASAR

### A. Kondensor Pirolisis

Kondensor adalah salah satu jenis mesin penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida kerja. Kondensor biasanya mengubah fasa zat gas menjadi zat cair dari temperatur yang tinggi keluar melewati dinding-dinding kondensor melewati media kondensasi, sebagai akibatnya uap akan di dinginkan hingga fasanya berubah menjadi fasa cair pada temperatur rendah. Kondensor didalamnya memiliki dua jenis proses perpindahan yaitu Perpindahan panas konduksi dan Perpindahan panas konveksi. Klasifikasi kondensor (*Heat exchangers*) demikian berdasarkan arah aliran fluida kerja dibagi beberapa tipe yaitu aliran paralel atau aliran searah (*cocurrent*), aliran melawan arus atau aliran berlawanan arah (*counter current*) dan aliran silang (*cross flow*).

### B. Bagian-bagian utama kondensor

Pada proses pembuatan kondensor terdapat komponen utama yang harus diperhatikan dalam memaksimalkan proses *heat exchanger* pada alat tersebut. Berikut adalah komponen yang terdapat pada alat kondensor :

#### 1. *Shell* kondensor

Tempat terjadinya proses kondensasi, yang dimana mempunyai 2 lubang berfungsi sebagai *input* (yaitu fase uap) dan *output* (yaitu fase cair).

#### 2. *Tube and Tube Sheet*

*Tube* adalah tempat masuknya uap dari pipa penghubung menuju kondensor, lalu kemudian pipa yang berisi uap ini akan didinginkan oleh air pendingin yang berada didalam kondensor. *Tube sheet* adalah tempat duduk/sanggahan dari tube bundle itu sendiri, yang dipasang diantara *head* kondensor.

#### 3. *Baffle*

Yaitu untuk mengarahkan aliran fluida masuk dan menjaga supaya tube

tidak melengkung, serta berfungsi juga mengurangi adanya getaran oleh aliran fluida.

4. *Head* kondensor

Ada dua jenis bagian *head* yaitu *head stationer* sebagai saluran masuk fluida kedalam tube, dan *head* belakang berfungsi untuk alat penukar kalor itu sendiri.

**C. Proses Manufaktur Kondensor Pirolisis**

Berikut adalah proses manufaktur yang dilakukan dalam pengerjaan pembuatan kondensor pirolisis untuk kapasitas 75kg/jam.

a. *Cutting*

Proses *cutting* itu sendiri bertujuan untuk memperoleh dimensi atau ukuran yang kita inginkan sesuai dengan desain yang dibuat

**Tabel 1.** Kecepatan keliling

| No | Jenis Pekerjaan                    | Kecepatan Keliling m/det |
|----|------------------------------------|--------------------------|
| 1  | Pengasahan alat pada mesin gerinda | 23 – 30                  |
| 2  | Gerinda silinder luar              | 28 – 33                  |
| 3  | Gerinda silinder dalam             | 23 – 30                  |
| 4  | Gerinda pedestal                   | 26 – 33                  |
| 5  | Gerinda portable                   | 33 – 48                  |
| 6  | Gerinda datar                      | 20 – 30                  |
| 7  | Penggerindaan alat dengan basah    | 26 – 30                  |
| 8  | Penggerindaan pisau                | 18 – 23                  |
| 9  | <i>Cutting off wheels</i>          | 45 – 80                  |

✓ Gaya Potong untuk plat  
 $F_s = 0.8 \times U \times s \times \sigma$

Keterangan :

$F_s$  = Gaya potong [N]

$U$  = Keliling potong [mm]

$s$  = Tebal benda potong [mm]

$\sigma$  = Tegangan tarik maksimum benda yang dipotong [N/mm<sup>2</sup>].

b. *Rolling*

Gaya yang dibutuhkan pada saat proses pengerolan, dapat dilihat pada persamaan[7] :

$$F = \frac{(UTS)LT^2}{w}$$

Dimana:

$F$  = Gaya Roll (N)

$T$  = Tebal (mm)

UTS = *Ultimate Tensile Strength* (Mpa)

$W$  = Lebar dies (mm)

$L$  = Panjang yang akan diroll (mm)

c. *Cutting torch*

**Tabel 2.** Ketentuan *cutting torch*

| Ketebalan plat mm | Tip potong | Lobang oksigen potong mm | Panjang aliran oksigen yang tampak mm | Tekanan oksigen Kg/cm | Tekanan asetilen Kg/cm | Kecepatan potong mm/mn | Konsumsi gas                       |   |
|-------------------|------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------|---|
|                   |            |                          |                                       |                       |                        |                        | O <sub>2</sub> m <sup>3</sup> /jam | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> liter/jam |
| 3 – 10            | 1          | 0,7                      | 50                                    | 2,0                   | 0,10                   | 500                    | 2,0                                | 200                                     |
| 10 – 20           | 2          | 0,9                      | 60                                    | 2,5                   | 0,15                   | 400                    | 3,0                                | 230                                     |
| 20 – 30           | 3          | 1,1                      | 70                                    | 3,0                   | 0,20                   | 300                    | 4,0                                | 300                                     |

$$V = \frac{s}{t}$$

Keterangan :

$V$  = kecepatan pemotongan

$s$  = jarak pemotongan

$t$  = waktu pemotongan

d. Pengelasan

Proses pengelasan busur las (*Arc Welding*) adalah teknik pengelasan yang paling dikenal dalam penyambungan baja tahan karat. Jenis proses pengelasan diantaranya adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), dan pada proses pembuatan kondensor pirolisis disini menggunakan pengelasan GTAW, dapat dilihat pada persamaan :

✓ Kuat Arus GTAW

$$I = \frac{E}{R}$$

Keterangan :

$E$  = Tegangan Listrik

$R$  = Tahanan Listrik

✓ Tegangan tarik izin bahan las

e. Proses bending

Untuk membentuk *head* kondensor dilakukan menggunakan mesin bending, membengkokkan logam lembaran tergantung pada geometri *punch* dan *die*, kekuatan, ketebalan, dan lebar logam lembaran. Gaya pembengkokkan

maksimum dapat diperkirakan dengan persamaan berikut :

$$F = \frac{KbfTSwt^2}{D}$$

Keterangan :

- F = gaya tekuk/pembengkokkan, lb (N)
- TS= kekuatan tarik logam lembaran (MPa)
- w = lebar logam lembaran dalam arah sumbu tekuk, in. (mm)
- t = tebal logam lembaran, in. (mm)
- D = dimensi pembukaan cetakan (die), seperti ditunjukkan dalam gambar 1.15, in. (mm)
- Kbf = konstanta gaya tekuk

#### f. Grinding

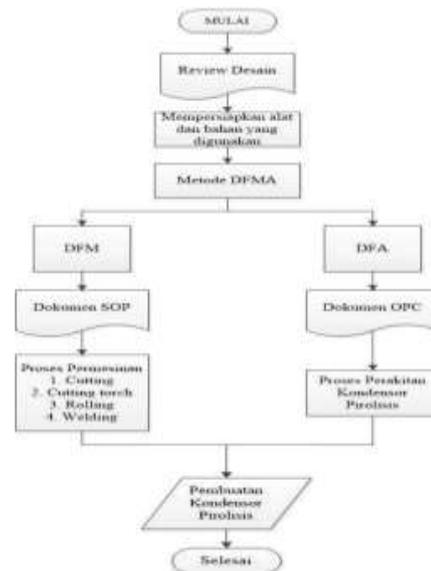
Mesin gerinda adalah salah satu mesin perkakas yang digunakan untuk mengasah atau memotong benda kerja dengan tujuan tertentu. Prinsip kerja mesin gerinda adalah batu gerinda berputar bersentuhan dengan benda kerja sehingga terjadi pengikisan, penajaman, pengasahan, atau pemotongan.

Dalam proses pembuatan kondensor disini grinding berfungsi sebagai :

1. Memotong benda kerja yang ketebalannya yang tidak relatif tebal.
2. Menghaluskan dan meratakan permukaan benda kerja.
3. Sebagai proses jadi akhir (finishing) pada benda kerja.
4. Mengasah alat potong agar tajam.
5. Menghilangkan sisi tajam pada benda kerja.
6. Membentuk suatu profil pada benda kerja.

## 2. METODE PENELITIAN

### A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Perhitungan Dan Proses Manufaktur Kondensor.

Pada pembuatan Kondensor Pirolysis terdapat beberapa perhitungan yang dibutuhkan dalam berlangsungnya proses permesinan, yang mengacu pada sop dan opc.

- Perhitungan *Cutting* pada *Shell, Head,* dan *Baffle*.

#### Shell Kondensor

Jenis dan ukuran bahan = *Stainless steel*

SS 304 2491 × 976mm

Tinggi dan diameter = 976 × Ø800 mm

Jumlah = 1buah

Maka :

$$F_s = 0,8 \times 2491 \text{ mm} \times 12 \text{ mm} \times 515$$

N/mm<sup>2</sup>

$$= 12.315.504 \text{ N untuk panjang } 2491 \text{ mm}$$

$$\frac{12.315.504}{2491.1} = 49.440 \text{ N/mm}^2$$

#### Head Kondensor

Jenis dan ukuran bahan = *Stainless steel*

SS 304 1316 × 397mm

Tinggi dan diameter = 400 × Ø 800mm

Jumlah = 1 buah

Maka :

$$F_s = 0,8 \times 1.316 \text{ mm} \times 12 \text{ mm} \times 515$$

N/mm<sup>2</sup>

$$= 6,506,304 \text{ N}$$

$$\frac{6,506.304}{131.6} = 49.44 \text{ N/mm}^2$$

$$= \frac{515}{1.5}$$

$$= 343.33 \text{ mPa}$$

### Baffle

Jenis dan ukuran bahan = *Stainless steel*  
 SS 304 1000 × 1000 mm

Tinggi dan diameter = Ø 694 mm

Jumlah = 4 buah

Maka :

$$F_s = 0,8 \times 231 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 515 \text{ N/mm}^2$$

$$= 380,688 \text{ N}$$

$$\frac{380.688}{23.1} = 16.480 \text{ N/mm}^2$$

- Perhitungan Pelubangan pada *Shell, Head, Shell, Tubesheet, dan Baffle*

$$V = \frac{317}{0.9} = 352.22 \text{ mm/menit}$$

- Perhitungan Pengerollan pada *Shell*

$$F = \frac{515 \times 2200 \times 12^2}{976} = 167.163$$

Jadi gaya yang digunakan untuk proses pengerollan adalah 167.163 N untuk tiap kali penekanan.

- Perhitungan pengelasan GTAW pada *Shell dan Head*

### Shell

$$I = \frac{50}{0.5}$$

$$= 100 \text{ A}$$

Maka kuat arus yang digunakan untuk mengelas adalah 100 A.

- Tegangan tarik izin bahan las

$$F = \sigma_t \times b \times t$$

$$= 515 \times 976 \times 12$$

$$= 6031680 \text{ N}$$

$$= 6031.68 \text{ kN}$$

- Tegangan yang diizinkan

$$k = 1,5$$

$$\tau = \frac{\tau_1}{k}$$

### Head

$$I = \frac{50}{0.5}$$

$$= 100 \text{ A}$$

Maka kuat arus yang digunakan untuk mengelas adalah 100 A.

- Tegangan tarik izin bahan las

$$F = \sigma_t \times b \times t$$

$$= 515 \times 800 \times 12$$

$$= 4944000 \text{ N}$$

$$= 4944 \text{ kN}$$

- Tegangan yang diizinkan

$$k = 1,5$$

$$\tau = \frac{\tau_1}{k}$$

$$= \frac{515}{1.5}$$

$$= 343.33 \text{ mPa}$$

- Perhitungan bending pada *Head Kondensor*

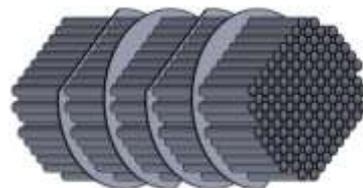
$$F = \frac{1.33 \times 515 \text{ Mpa} \times 1246 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}}{1246 \text{ mm}}$$

$$= 8219.4 \text{ N}$$

### B. Proses Perakitan Komponen Utama

Pada proses perakitan harus dilakukan secara paralel, Berikut ini adalah tahapan-tahapan proses dan alat yang digunakan pada perakitan *Shell Kondensor* dari awal hingga akhir:

#### 1. Tube dan Baffle



Persiapkan alat dan bahan :

Tube 63 buah , baffle atas 2 buah dan baffle bawah 2 buah, mesin las GTAW, dan mesin gerinda tangan.

Proses pengerjaan :

- ✓ Pertama masukan *tube* berjumlah 63 pada lubang *baffle* ,lalu posisikan *baffle* pada tengah *tube*.
- ✓ Kedua lakukan pengelasan pada silinder *tube* dan bibir *baffle* disambung dengan mesin las GTAW.
- ✓ Ketiga bersihkan hasil pengelasan dengan mesin gerinda tangan.
- ✓ Keempat Cek kembali hasil pengerjaan.

#### 2. *Shell* dan *Tube-Baffel*



Persiapkan alat dan bahan :

*Shell* dan *Tube-Baffel* yang sudah disassembly sebelumnya.

Proses pengerjaan :

- ✓ Pertama masukkan *tube* dan *baffle* yang sudah disassembly ke dalam *shell* kondensor
- ✓ Kedua pastikan *shell* dan *tube baffel* presisi
- ✓ Ketiga cek kembali hasil pengerjaan nya

#### 3. *Tubesheet* dan *Shell-Tube-Baffel*



Persiapkan alat dan bahan :

*Tubesheet*, dan *Shell-tube-baffel*,mesin las GTAW, mesin gerinda tangan.

Proses pengerjaan :

- ✓ Pertama pasangkan *Tubesheet* pada ujung *tube* yang sudah disassembly.
- ✓ Kedua Lakukan sambungan diantara ujung *tube* dan alas *tubesheet*,dengan mesin las GTAW dengan arus 100 A.
- ✓ Ketiga bersihkan hasil pengelasan dengan mesin gerinda tangan
- ✓ Keempat cek kembali hasil pengerjaan.

#### 4. *Head* dan *Shell*



Persiapkan alat dan bahan :

*Head* dan *Shell* yang sudah disassembly sebelumnya,baut dan mur M27,dan alat perkakas.

Proses pengerjaan :

- ✓ Pertama pasangkan *head* pada setiap ujung *shell* kondensor.
- ✓ Kedua lakukan sambungan dengan menggunakan baut dan mur M27 yang sudah disiapkan.
- ✓ Ketiga kencangkan baut dan mur yang sudah dipasang.
- ✓ Keempat Cek kembali hasil pengerjaan.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan pada perancangan pembuatan reaktor pirolisis ini didapat kesimpulan bahwa reaktor pirolisis terdapat komponen utama yaitu rangka, tungku reaktor, tutup tungku reaktor, hopper. Proses permesinan yang dilakukan untuk membuat reaktor pirolisis meliputi proses pemotongan *cutting*, *drilling*, *welding*, *rolling*. Pada proses *cutting* didapat perhitungan gerak makan radial pada besi UNP.

#### DAFTAR PUSTAKA

- N. Nuryosuwito, S. Soeparman, W. Wijayanti, and M. Sasongko, "Pengaruh Campuran Sampah Plastik dengan Katalis Alam terhadap Hasil Produk Pyrolisis," *J.*

- Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 85–91, 2018.
- N. Karuniastuti, “Bahaya Plastik terhadap Kesehatan dan Lingkungan,” *forum Teknol.*, vol. 3, no. 1, pp. 6–14, 2013.
- S. Haryadi, “Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin Pada Proses Pirolisis Limbah Plastik,” Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negri Semarang, Semarang, 2015.
- Bahtiyar yusuf, “Proses Pembuatan Kondensor Pada Pyrolisis Reactor Plastic Portable,” Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negri Yogyakarta, Yogyakarta, 2019.
- Handoyo ekadewi anggraini, “Pengaruh Penggunaan Baffle Pada Shell-and-Tube Heat Exchanger,” *J. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 19–23, 2011.
- F. Maulana, “Perancangan Jig Md Cutting Sebagai Pengganti Proses Pemotongan Manual Pada Md Konektor,” *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, vol. 11, no. 1, pp. 11–22, 2017.
- Mardalil, “Analisa Alat Pengerol Pelat Pada Laboratorium Teknologi Mekanik Jurusan Teknik Mesin Uho D,” *J. Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 17–24, 2016.
- A. Syahrani, Mustafa, and Oktavianus, “Pengaruh Variasi Arus Pengelasan GTAW Terhadap Sifat Mekanis Pada Pipa Baja Karbon ASTM A 106,” *J. Mek.*, vol. 8, no. 1, pp. 721–729, 2017.
- G. Boothroyd, P. Dewhurst, and W. Knight, *Product Design For Manufacture and Assembly*. Florida: CRC Press, 2011.
- MARYANA and M. S. malikussaleh-N, “Perbaikan Metode Kerja Pada Bagian Produksi Dengan Menggunakan Man and Machine Chart,” *Teknovasi*, vol. 02, pp. 15–26, 2015.

