

## **EVALUASI FOULING FAKTOR TERHADAP KINERJA HEAT EXCHANGER PADA GAS COOLER UNIT CO<sub>2</sub> LIQUID PLANT**

Tri Endang Prasasti<sup>1</sup>, Sigit Udjiana<sup>1</sup>, Yuliman Muharram<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia

<sup>2</sup>PT. Petro Oxo Nusantara, Jl. Gubernur Suryo No.134, Lumpur, Tlogopojok, Kec. Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61118

triendangprasasti17@gmail.com, [sigit.udjiana@polinema.ac.id]

### **ABSTRAK**

Alat penukar kalor atau yang biasa disebut dengan *heat exchanger* adalah suatu peralatan yang dapat digunakan untuk menukar kalor dari suatu fluida ke fluida lain yang punya perbedaan suhu, penukaran kalor tersebut dapat terjadi dengan kontak langsung atau secara kontak tidak langsung. Dilihat dari fungsinya yang sangat penting, maka alat ini digunakan secara luas dalam dunia perindustrian. Ada banyak macam *heat exchanger* seperti contohnya *Plate Heat Exchanger* (PHE). *Plate Heat Exchanger* (PHE) merupakan salah satu jenis dari alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) yang terdiri dari pelat dan rangka, PHE mempunyai proses perpindahan kalor yang terjadi diantara kedua fluida pada sisi-sisi pelat. Suatu alat penukar kalor akan sangat mempengaruhi keberhasilan dalam keseluruhan rangkaian proses industri, karena jika ada kegagalan operasi, baik kegagalan mekanik maupun operasional maka dapat berakibat berhentinya operasi unit dalam suatu industri. Maka dari itu sebuah alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) harus memiliki kinerja yang sangat baik sehingga mendapatkan hasil yang maksimal dan dapat bekerja secara penuh terhadap suatu unit yang sedang beroperasi. Salah satu faktor baik tidaknya suatu *heat exchanger* yaitu dengan melihat nilai *fouling factor*. *Fouling* adalah fenomena menempel dan menumpuknya abu pada dinding penghantar panas yang dipasang tepat di lingkungan dimana suhu gas pada bagian belakang furnace lebih rendah dibandingkan suhu untuk melunak abu. Hasil dari evaluasi ini adalah tetap mempertahankan nilai *fouling* 0,0003.

**Kata kunci:** *Heat Exchanger, Plate Heat Exchanger, Fouling*

### **ABSTRACT**

A *heat exchanger* or commonly referred to as a *heat exchanger* is an equipment that can be used to exchange heat from one fluid to another fluid that has a temperature difference, the heat exchange can occur by direct contact or by indirect contact. Judging from its very important function, this tool is widely used in the industrial world. There are many kinds of *heat exchangers* such as *Plate Heat Exchanger* (PHE). *Plate Heat Exchanger* (PHE) is one type of *heat exchanger* (*Heat Exchanger*) which consists of a plate and a frame, PHE has a heat transfer process that occurs between the two fluids on the sides of the plate. A *heat exchanger* will greatly affect the success of the entire series of industrial processes, because if there is an operation failure, both mechanical and operational failure, it can result in the cessation of unit operations in an industry. Therefore, a *heat exchanger* must have excellent performance so that it gets maximum results and can work fully on a unit that is currently operating. One of the factors whether a *heat exchanger* is good or not is by looking at the value of the *fouling factor*. *Fouling* is the phenomenon of sticking and accumulating ash on a heat-conducting wall installed in an environment where the gas temperature at the back of the furnace is lower than the temperature for softening the ash. The result of this evaluation is to maintain a *fouling* value of 0.0003.

**Keywords:** *Heat Exchanger, Plate Heat Exchanger, Fouling*

## 1. PENDAHULUAN

*Heat exchanger* adalah suatu alat yang digunakan dalam proses perpindahan panas antara fluida dengan fluida lain tanpa terjadi perpindahan massa di dalamnya dan dapat dipergunakan sebagai pemanas maupun pendingin [1]. Proses perpindahan panas tersebut dapat terjadi secara langsung, dimana fluida yang akan dipanaskan bercampur dengan fluida pemanasnya (tanpa pemisah) dalam satu bejana maupun secara tidak langsung dimana fluida pemanasnya tidak berhubungan secara langsung dengan fluida pemanasnya [2].

$CO_2$  cair merupakan sejenis senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. *CO<sub>2</sub> liquid* ini banyak digunakan di industri-industri seperti pengecoran besi, pengolahan karet, sebagai zat pendingin (*refrigerant*), untuk pembuatan bahan kimia tertentu, pertambangan dan untuk las (*welding*) [3].

Unit *CO<sub>2</sub> liquid* merupakan salah satu unit baru yang ada di PT. PON (Petro Oxo Nusantara) yang memiliki tugas pokok yaitu memanfaatkan hasil *flue gas* dari *syngas plant* milik PT.PON. Pada bahan baku pembuatan *CO<sub>2</sub> liquid* harus melalui proses pendinginan di *plate heat exchanger*. *Plate heat exchanger* ini dinilai kinerja baik/buruknya dengan menentukan nilai *fouling factor*.

*Fouling* adalah peristiwa ter-akumulasinya padatan yang tidak diinginkan di permukaan *heat exchanger* yang berkontak dengan fluida kerja, termasuk permukaan *heat transfer*.

Berikut merupakan proses terbentuknya *fouling*:

1. Kristalisasi
2. Dekomposisi produk organik
3. Polimerisasi (oksidasi)
4. Pengendapan lumpur, atau debu partikel
5. Deposit biologi
6. Korosi [4]

Semakin lama *heat exchanger* digunakan akan menyebabkan terjadinya *fouling* (pengotoran) di bagian dalam *heat exchanger*. Semakin besar *fouling* yang terjadi akan menyebabkan terjadi penurunan kinerja *heat exchanger* seperti besarnya laju perpindahan panas aktual dan efektivitas. [5]

HTRI merupakan produk yang dibuat dan dikembangkan oleh *Tubular Exchanger Manufacturers Association* (TEMA). Software HTRI adalah aplikasi yang berguna untuk mendesain *Heat Exchanger* terutama tipe *Plate Heat Exchanger*. Selain digunakan untuk mendesain, software HTRI juga dapat digunakan sebagai fungsi simulasi serta pengecekan (*rating*).

Penelitian yang dilakukan yaitu analisis *fouling factor* terhadap kinerja *heat exchanger* sebagai salah satu dari sistem pembuatan *CO<sub>2</sub> liquid* dengan menggunakan aplikasi HTRI. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh nilai *fouling factor* terhadap kinerja *heat exchanger*.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang akan dilakukan adalah metode perhitungan dengan menggunakan aplikasi HTRI dimana hasilnya nanti akan menggambarkan perbandingan performa efisiensi dari alat *heat exchanger* yang digunakan di PT.PON dengan hasil trial penelitian ini. terdapat beberapa perhitungan yang harus dilakukan untuk mencari nilai *fouling factor*, perhitungan dilakukan dengan menggunakan data dari DCS di PT.PON, langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Perkirakan luas area yang akan digunakan untuk menghitung

2. Hitung *heat duty*, *overall coefficient* masing-masing data tes dan data desain secara manual
3. Tentukan jumlah pelat yang dibutuhkan = Luas permukaan total/luas permukaan satu pelat.
5. Hitung Film *Heat Transfer Coefficients* untuk masing-masing aliran.
6. Hitung *overall coefficient*, perhitungkan *fouling factor*
7. Bandingkan hasil yang diperoleh dari perhitungan dengan yang di asumsikan sebelumnya. Jika sudah cukup, katakanlah errornya antara 0 – 10 % maka selesai, namun jika belum cukup, kembali ke langkah 3 dan tambah atau kurangi jumlah pelat.
8. Hitunglah dengan aplikasi HTRI lalu bandingkan datanya
9. Buat kesimpulan nilai *fouling factor* berapa yang dapat ditoleransi

## 2.1. Perhitungan Data Desain

Tabel 1. Data desain milik PT.PON

| Parameters            | Inlet   | Outlet  | Units |
|-----------------------|---------|---------|-------|
| Hot fluid flow, W     | 6327    | 6327    | kg/h  |
| Cold fluid flow, w    | 65143,4 | 65143,4 | kg/h  |
| hot fluid Temp, T     | 105     | 40,41   | °C    |
| cold fluid Temp,t     | 35      | 55      | °C    |
| Hot fluid pressure, P | 1,8     | 0,86    | bar g |
| cold fluid pressure,p | 3       | 2,75    | bar g |

Perhitungan data desain pada pabrik apabila area (A) = 39,5594 m<sup>2</sup>

1. Menghitung *heat duty* desain apa bila ada perubahan fase

### Sensible

$$\text{Water} : m \times cp \times \Delta T \quad (1)$$

$$1998,6 \times 4,22 \times (105-40) = 548215,9$$

$$\text{CO}_2 : m \times cp \times \Delta T \quad (2)$$

$$4328,5 \times 1,309 \times (105-40) = 368290,42$$

### **Sensible**

$$\frac{\text{Sensible water} + \text{Sensible CO}_2}{3600} \quad (3)$$

$$\frac{548215,9 + 368290,42}{3600} = 254,58 \text{ KW}$$

### Latent

$$\text{Water} = \frac{m \times \lambda}{3600} \quad (4)$$

$$\frac{1828,9 \times 2260,9}{3600} = 1,148 \text{ KW}$$

$$\text{Heat duty} = \text{sensible} + \text{latent}$$

$$= 254,58 + 1,148$$

$$= 1402,58$$

2. Pressure drop

Hot

$$P_i - P_o = 1,8 - 0,86 \quad (5)$$

$$= 0,94 \text{ bar g}$$

Cold

$$P_i - P_o = 3 - 2,75 \quad (6)$$

$$= 0,25 \text{ bar g}$$

3. Temperature range

$T_{\text{hot}}$

$$\Delta T = T_i - T_o \quad (7)$$

$$= 105 - 40,41$$

$$= 64,59 \text{ }^\circ\text{C}$$

$T_{\text{cold}}$

$$\Delta T = t_o - t_i \quad (8)$$

$$= 55 - 35$$

$$= 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

4. Capacity Ratio (R)

$$R_{\text{hot}} = \frac{(T_i - T_o)}{(t_o - t_i)} \quad (9)$$

$$= \frac{64,59 \text{ }^\circ\text{C}}{20 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$= 3,2295$$

5. Effectiveness (S)

$$S = \frac{(t_o - t_i)}{(t_i - T_i)} \quad (10)$$

$$= \frac{20}{70}$$

$$= 0,285$$

6. LMTD (Counter Flow)

$$LMTD = \frac{(50 - 5,41)}{\ln 50 - 5,41} \quad (11)$$

$$= 11,765$$

a. LMTD

$$F = \frac{(R+1)^{0,5} \times \ln \left( \frac{1-S \times R}{1-S} \right)}{(1-R) \times \ln \left\{ \frac{2-S(R+1)-(R+1)^{0,5}}{2-S(R+1)+(R+1)^{0,5}} \right\}}$$

$$= \frac{(3,2295+1)^{0,5} \times \ln \left( \frac{1-0,285 \times 3,2295}{1-0,285} \right)}{(1-3,2295) \times \ln \left\{ \frac{2-0,285(3,2295+1)-(3,2295+1)^{0,5}}{2-0,285(3,2295+1)+(3,2295+1)^{0,5}} \right\}}$$

$$= 1,07329$$

b. Corrected LMTD

$$\text{Corrected LMTD} = F \times LMTD \quad (13)$$

$$= 1,07329 \times 11,765$$

$$= 12,623$$

## 7. Overall Heat

$$U = \frac{Q}{A \times \Delta T} \quad (14)$$

$$= \frac{1402,58}{(39,554 \times 12,623)}$$

$$= 2,8098 \text{ kW/m}^2.\text{K}$$

## 2.2. Perhitungan Data Test

Tabel 2. Perhitungan Data Test

| Parameters             | Inlet   | Outlet  | Units |
|------------------------|---------|---------|-------|
| Hot fluid flow, W      | 6324,28 | 6324,28 | kg/h  |
| Cold fluid flow, w     | 65143,4 | 65143,4 | kg/h  |
| Hot fluid Temp, T      | 108     | 49      | °C    |
| Cold fluid Temp, t     | 32      | 43      | °C    |
| Hot fluid pressure, P  | 1,8     | 1,5     | bar g |
| cold fluid pressure, p | 3       | 2       | bar g |

1. Menghitung *heat duty* data test apa bila ada perubahan fase**Sensible**

$$\text{Water} : m \times cp \times \Delta T \quad (15)$$

$$1996,9 \times 4,22 \times (108-49) = 497188,162$$

$$\text{CO}_2 : m \times cp \times \Delta T \quad (16)$$

$$4324,8 \times 1,31 \times (108-49) = 334263,792$$

## Sensible

$$Q = \frac{\text{Sensible water} + \text{Sensible CO}_2}{3600} \quad (17)$$

$$\frac{497188,162 + 334263,792}{3600} = 230,95 \text{ KW}$$

**Latent**

## Water

$$Q = \frac{m \times \lambda}{3600} = \frac{1814,4 \times 2260,9}{3600} \quad (18)$$

$$= 1139,49 \text{ KW}$$

## Heat duty = sensible + latent

$$= 230,95 + 1139,49$$

$$= 1370,4$$

## 2. Pressure drop

## Hot

$$P_i - P_o = 1,8 - 1,5 \quad (19)$$

$$= 0,3 \text{ bar g}$$

## Cold

$$P_i - P_o = 3 - 2 \quad (20)$$

$$= 1 \text{ bar g}$$

## 3. Temperature range

$$\begin{aligned}
 T_{\text{hot}} \\
 \Delta T &= T_i - T_o \\
 &= 108 - 49 \\
 &= 59^\circ\text{C}
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{cold}} \\
 \Delta T &= t_o - t_i \\
 &= 43 - 32 \\
 &= 11^\circ\text{C}
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

## 4. Capacity Ratio (R)

$$\begin{aligned}
 R_{\text{hot}} &= \frac{(T_i - T_o)}{(t_o - t_i)} \\
 &= \frac{59^\circ\text{C}}{11^\circ\text{C}} \\
 &= 5,36
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

## 5. Effectiveness (S)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{(t_o - t_i)}{(T_i - t_i)} \\
 &= \frac{11^\circ\text{C}}{76^\circ\text{C}} \\
 &= 0,144
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

## 6. LMTD (Counter Flow)

$$\begin{aligned}
 \text{LMTD (Counter Flow)} &= \frac{(65 - 17)}{\ln 65 - 17} \\
 &= 12,39^\circ\text{C}
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

## a. LMTD

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{(R+1)^{0,5} \times \ln \left( \frac{1-S \times R}{1-S} \right)}{(1-R) \times \ln \left\{ \frac{2-S(R+1)-(R+1)^{0,5}}{2-S(R+1)+(R+1)^{0,5}} \right\}} \\
 &= \frac{(5,363+1)^{0,5} \times \ln \left( \frac{1-0,144 \times 5,363}{1-0,144} \right)}{(1-5,363) \times \ln \left\{ \frac{2-0,144(5,363+1)-(5,363+1)^{0,5}}{2-0,144(5,363+1)+(5,363+1)^{0,5}} \right\}} \\
 &= 1,100435
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

## b. Corrected LMTD

$$\begin{aligned}
 \text{Corrected LMTD} &= F \times \text{LMTD} \\
 &= 1,100435 \times 12,39 \\
 &= 13,63^\circ\text{C}
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

## 7. Overall Heat

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{Q}{A \times \Delta T} \\
 &= \frac{1370,44}{39,554 \times 13,63} \\
 &= 2,5419 \text{ kW/m}^2.\text{K}
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

**Tabel 3.** Hasil perbandingan data desain dan data test

| Parameters                                | Units               | Test Data | Design Data |
|---|---------------------|-----------|-------------|
| Duty, Q                                   | kW                  | 1397,45   | 1402,58     |
| Hot fluid side pressure drop, $\Delta P$  | Bar                 | 0,3       | 0,94        |
| Cold fluid side pressure drop, $\Delta P$ | Bar                 | 1         | 0,25        |
| Temperature range hot fluid, $\Delta Th$  | C                   | 59        | 64,59       |
| Temperature range cold fluid $\Delta tc$  | C                   | 11        | 20          |
| Capacity Ratio, R                         | ---                 | 5,36      | 3,2295      |
| Effectifenes, S                           | ---                 | 0,144     | 0,285       |
| Corrected LMTD, MTD                       | C                   | 13,63     | 12,623      |
| Heat Transfer Coeff, U                    | W/m <sup>2</sup> .K | 2592      | 2809,8      |

**Tabel 4.** Hasil perhitungan aplikasi HTRI sisi air

| Variable (factor fouling) | Jumlah plate | Area (m <sup>2</sup> ) | Overdesign (%) | Pressure drop (kPa) | Duty (MW) |
|---------------------------|--------------|------------------------|----------------|---------------------|-----------|
| 0,0003                    | 67           | 39,554                 | 19,63          | 17,979              | 1,488     |
| 0,0004                    | 67           | 39,554                 | 3,32           | 17,989              | 1,448     |
| 0,0005                    | 67           | 39,554                 | -9,67          | 17,996              | 1,448     |
| 0,0007                    | 67           | 39,554                 | -26,65         | 18,006              | 1,448     |

**Tabel 5.** Hasil perhitungan aplikasi HTRI sisi air (redesain)

| Variable (factor fouling) | Jumlah plate | Area (m <sup>2</sup> ) | Overdesign (%) | Pressure drop (kPa) | Duty (W) |
|---------------------------|--------------|------------------------|----------------|---------------------|----------|
| 0,0003                    | 67           | 39,554                 | 19,63          | 17,979              | 1,488    |
| 0,0004                    | 39           | 46,856                 | 19,51          | 13,558              | 1,490    |
| 0,0005                    | 91           | 52,158                 | 19,59          | 10,712              | 1,491    |
| 0,0007                    | 115          | 68,763                 | 20,04          | 7,353               | 1,492    |

Berdasarkan perbandingan yang sudah disajikan pada **Tabel 4**, maka nilai *fouling factor* 0,0005 dengan jumlah plate 67, area (A) seluas 39,554 m<sup>2</sup> dan hasil hitungan *overdesign* sebesar -9,67%, hasil ini tidak cukup baik karena kurang dari batas ketetapan penentuan *overdesign*. Untuk nilai *fouling factor* 0,0004 dengan jumlah plate 67, area (A) seluas 39,554 m<sup>2</sup> dan hasil hitungan *overdesign* sebesar 3,32%, nilai ini tidak cukup baik karena kurang dari batas ketetapan penentuan *overdesign*. Untuk nilai *fouling factor* 0,0007 dengan jumlah plate 67, area (A) seluas 39,554 m<sup>2</sup> dan hasil hitungan *overdesign* sebesar -26,65%, tentunya nilai ini sangat jauh dari ketetapan nilai *fouling factor* yang bagus. Berdasarkan Tabel 5, untuk nilai

*fouling factor* 0,0003 dengan jumlah plate 67, area (A) seluas 39,554 m<sup>2</sup> dan hasil hitungan *overdesign* sebesar 19,63%, setelah menganalisis dari beberapa perbandingan data maka dilakukan perancangan ulang agar nilai *fouling factor* berada dalam nilai ketetapan. Namun untuk nilai *fouling factor* 0,0003 tidak dilakukan redesain karena angka yang didapat sudah memenuhi kriteria nilai *fouling factor*. Untuk nilai *fouling faktor* 0,0005 perlu menambah jumlah plate sebanyak 24 plate sehingga jumlah plate 91, area (A) seluas 52,158 m<sup>2</sup> dan hasil hitungan *overdesign* sebesar 19,59 % sehingga nilai ini sudah berada dalam rentang *fouling factor* yang didapat juga cukup baik. Untuk nilai *fouling factor* 0,0004 perlu mengurangi jumlah plate sebanyak 28 sehingga jumlah plate menjadi 39, area (A) seluas 46,859 m<sup>2</sup> dan hasil hitungan *overdesign* sebesar 19,51 %, nilai ini masih berada dalam rentang *fouling factor*. Untuk nilai *fouling factor* 0,0007 perlu menambah jumlah plate sebanyak 48 sehingga jumlah plate menjadi 115, area (A) seluas 68,763 m<sup>2</sup> dan hasil hitungan *overdesign* sebesar 20,04 % bahkan masuk dalam ketetapan nilai *fouling factor* yaitu sebesar 15-20%.

Sehingga hasil evaluasi nilai *fouling factor heat exchanger* sesuai dengan standar design. Untuk mencari *overdesign* yang baik pada redesain kali ini menyarankan untuk menggunakan nilai *fouling faktor* 0,0007 namun kelemahannya yaitu dapat menurunkan performa kinerja *heat exchanger*. Pada umumnya lebih baik mempertahankan nilai *fouling faktor* sebesar 0,0003 karena dari ekonomis dan kinerja, *heat exchanger* tersebut sudah dapat dikatakan mumpuni.

Seperti pada prinsipnya, Apabila nilai *fouling factor* lebih kecil dari nilai *fouling factor* ketentuan maka rentang waktu *maintenance* akan singkat sehingga dapat meningkatkan biaya perawatan yang harus dikeluarkan oleh pabrik. Sedangkan jika nilai *fouling factor* lebih besar daripada nilai *fouling factor* ketentuan maka rentang waktu *maintenance* akan panjang, tetapi apabila *heat exchanger* yang didesain bersifat *overdesign* maka mengakibatkan besarnya investasi yang harus dikeluarkan. Nilai *fouling factor* yang baik untuk *heat exchanger* adalah yang masuk dalam rentang ketentuan sehingga luas permukaan panas yang dibutuhkan dapat terpenuhi dengan baik dan biaya investasi lebih efisien.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan paparan yang telah dijelaskan di bab-bab sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut, bahwa hasil evaluasi kinerja *heat exchanger* yaitu semakin kecil nilai *fouling factor* tes *heat exchanger* daripada *fouling faktor* desain maka rentang waktu perbaikan akan semakin cepat dan biaya akan semakin besar dikeluarkan. Semakin besar nilai *fouling factor* tes daripada *fouling faktor* desain maka rentang waktu perbaikan akan lama tetapi biaya investasi lebih mahal sedangkan untuk hasil perbandingan nilai *fouling faktor* yang didapat dari evaluasi desain berada dalam range *fouling faktor* standar berkisar antara 0,0003-0,00017 m<sup>2</sup>C/K, sehingga dapat dikatakan design *heat exchanger* sudah sesuai dengan desain standar.

Saran yang dapat diberikan sebaiknya dalam melakukan perhitungan Efisiensi *Heat Exchanger* disarankan untuk mengambil data di DCS dalam beberapa hari terakhir, mengamati perubahan data aktual, dan membuat grafik akumulasi dari data yang diambil agar perhitungan lebih akurat.



## REFERENSI

- [1] Shanahan, R., dan Chalim, A., 2020, *Studi Literatur Tentang Efektivitas Alat Penukar Panas Shell and Tube 1-1 Sistem Fluida Gliserin–Metanol Dengan Aliran Counter Current*, Distilat Jurnal Teknik Separasi, Vol. 6 No.2, 164-170
- [2] Anwar, K., 2019, *Kaji Eksperimental Pengaruh Diameter Selongsong Terhadap Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Pipa Ganda*, Jurnal Mekanikal, Vol. 10, No. 1, 942-947.
- [3] Halimah, N., 2013, *Pabrik CO<sub>2</sub> Cair Dari Batubara Dengan Proses Gasifikasi Lurgi*, Pra-Rencana Pabrik, UPN Veteran Jatim, Surabaya.
- [4] Abd, A. A., Naji, S. Z., 2018, *Performance Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger: Parametric Study*, Case Studies in Thermal Engineering, Vol. 12, 563-568.
- [5] Sudrajat, J., 2017, *Analisis Kinerja Heat Exchanger Shell & Tube Pada Sistem COG Booster di Integrated Steel Mill Krakatau*, Jurnal Teknik Mesin, Vol. 6, No. 3, 174-181