

## Evaluasi Performa *Furnace EDC (Ethyl Dichloride) Cracker* di VCM (*Vinyl Chloride Monomer*)-1 Plant

<sup>1\*</sup> Rohiman Ahmad Zulkipli, <sup>2</sup> Rachmadi, <sup>3</sup> Muhammad Yafi Fadhlurohman  
<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten, Serang  
<sup>1</sup>rohiman.ahmad@poltek-petrokimia.ac.id

### Article Info

#### Article history:

Received May 06<sup>th</sup>, 2025

Revised May 07<sup>th</sup>, 2025

Accepted May 15<sup>th</sup>, 2025

#### Keyword:

Furnace Draft  
Efficiency,  
Furnace Type  
Furnace Component.

### ABSTRACT

*Furnaces in the production of VCM (Vinyl Chloride Monomer) must be operated with optimal efficiency to maximize production and minimize the formation of impurities (coke). Furnace efficiency is evaluated based on the ratio of heat generated from fuel combustion to heat absorbed by the EDC (Ethyl Dichloride) fluid, and is a key indicator of operational feasibility. In addition, the pressure difference of the inlet convection and outlet radiant sections is used as an additional parameter, where an increase in this value reflects the accumulation of deposits in the tubes. If the efficiency drops below the minimum operating conditions or the pressure difference between the convection inlet and outlet radiant section exceeds 4 kg/cm<sup>2</sup>G, the furnace is considered unfit for operation and decoking must be performed, which will increase operating costs. During the 12 days of monitoring (measurement every 8 hours), the average efficiency was 85.370%, the highest value was 87.348%, and the lowest value was 83.764%. The efficiency values tended to fluctuate and were below the minimum operating condition (88.898%). This is due to changes in operating conditions and manual control. Therefore, although the pressure difference is still below the threshold of 4 kg/cm<sup>2</sup>G, the furnace is considered unfit for operation.*

Copyright © 2025 Nucleus Journal  
All rights reserved.

DOI: <https://doi.org/10.32492/nucleus.v4i1.4106>

#### Corresponding Author:

**Rohiman Ahmad Zulkipli**

Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten,  
Jl. Raya Karang Bolong, Cikoneng, Kec. Anyar, Kabupaten Serang, Banten 42166.  
Email: rohiman.ahmad@poltek-petrokimia.ac.id

**Abstrak**— *Furnace* dalam produksi VCM (*Vinyl Chloride Monomer*) harus dioperasikan dengan efisiensi optimal untuk memaksimalkan produksi dan meminimalkan pembentukan pengotor (*coke*). Efisiensi *furnace* dievaluasi berdasarkan perbandingan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dengan panas yang diserap oleh fluida EDC (*Ethyl Dichloride*), dan menjadi indikator utama kelayakan operasional. Selain itu, perbedaan *pressure inlet convection* dan *outlet radiant section* digunakan sebagai parameter tambahan, di mana peningkatan nilai ini mencerminkan akumulasi deposit di dalam *tube*. Apabila efisiensi turun di bawah minimal kondisi operasi atau perbedaan *pressure inlet convection* dan *outlet radiant section* melebihi 4 kg/cm<sup>2</sup>G, maka *furnace*

dianggap tidak layak beroperasi dan harus dilakukan *decoking*, yang akan meningkatkan biaya operasional. Selama 12 hari pemantauan (pengukuran setiap 8 jam), efisiensi rata-rata didapat 85,370%, nilai tertinggi 87,348%, dan nilai terendah 83,764%. Nilai efisiensi cenderung fluktuatif dan di bawah minimal kondisi operasinya (88,898%). Hal ini disebabkan perubahan kondisi operasi dan pengontrolan secara manual. Oleh sebab itu, meskipun perbedaan *pressure* masih di bawah ambang batas 4 kg/cm<sup>2</sup>G, *furnace* dinilai tidak layak untuk dioperasikan.

## I. Pendahuluan

*Ethyl Dichloride* (EDC) merupakan monomer yang digunakan dalam produksi VCM. *Ethylene* terlebih dahulu diproses di fasilitas pengolahan *ethylene* sebelum dilanjutkan ke proses pembentukan *Ethyl Dichloride* (EDC) melalui reaksi *Oxy Hydro Chlorination*. Selanjutnya, reaksi klorinasi dilakukan di area LP-EDC (*Liquid Phase EDC*). Tahapan akhir adalah proses perengkahan dengan pembakaran EDC di *furnace* menjadi VCM dan HCl [1].

*Furnace* atau yang sering disebut tungku pembakar, adalah peralatan yang digunakan untuk memanaskan cairan dalam sebuah *tubing* yang *disupply* oleh pemanas dari proses pembakaran. *Natural gas* atau hidrogen merupakan contoh bahan bakar proses pembakaran yang digunakan secara terkontrol. Memperoleh kondisi operasi (*temperature*) yang diinginkan agar proses pemanasan berlangsung optimal dengan mengatur panas hasil pembakaran yang dapat dimanfaatkan merupakan tujuan pemanasan ini dilakukan [2]. *Equipment* seperti *furnace* yang dijalankan setiap saat memiliki efisiensi yang harus diatur sebaik mungkin agar menghasilkan jumlah VCM (*Vinyl Chloride Monomer*) yang maksimal dan tidak meninggalkan banyak pengotor (*coke*). Efisiensi sebuah *furnace* dapat dilihat dari perpindahan panas antara panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dengan fluida yang dipanasi sehingga mengevaluasi efisiensi dapat dihitung sebagai indikasi layak atau tidaknya *furnace* dioperasikan. Saat nilai efisiensi turun di bawah minimal kondisi operasinya maka proses *cracking* akan menambah penggunaan bahan bakar. Hal ini akan menambahkan total biaya proses yang diperlukan [3].

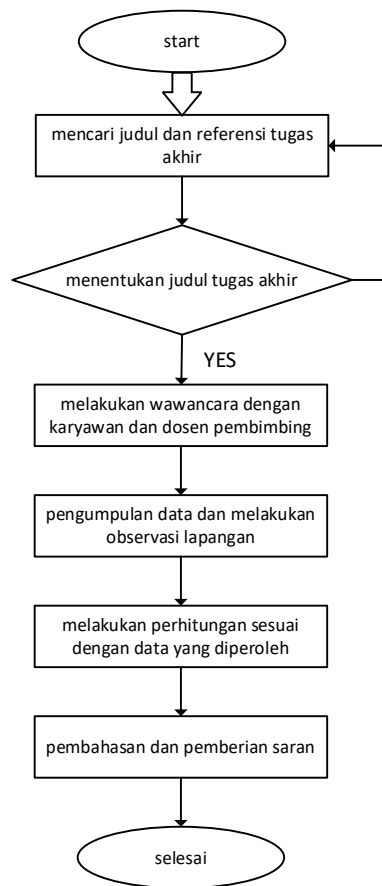
## II. Metode Penelitian

### A. Metode Penyelesaian

Metode yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini adalah dengan menggunakan metode kuantitatif. Metode ini dilakukan dengan menghitung efisiensi aktual *furnace* 01 berdasarkan data yang ada sehingga diketahui hasil akhir dengan melihat kelayakan *furnace* yang telah dibandingkan dengan nilai minimum efisiensi *furnace* beroperasi dan jumlah perbedaan *pressure inlet convection* hingga *inlet pressure outlet radiant section*.

### B. Prosedur Penyelesaian

Prosedur penyelesaian merupakan tata cara yang dilakukan oleh penulis untuk menyelesaikan penelitian ini. Tata cara yang dilakukan penulis dapat dilihat pada *flow diagram* yang telah dibuat berikut ini:



Gambar 2. 1 *Flow Diagram* Prosedur Penyelesaian

C. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini dengan: Metode literatur yaitu penggunaan referensi dari buku dan jurnal yang sesuai dengan judul tugas akhir yang penulis teliti. Penulis membaca referensi dari buku *Chemical Properties Handbook* karangan Yaws, *manual book* departemen VCM1, dan jurnal yang telah selesai dan di-*upload* pada *web*.

D. Teknik Pengolahan Data

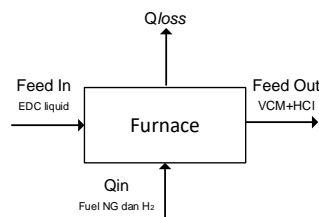
1. Data Kebutuhan Untuk Perhitungan

Tabel 2. 1 Data *Furnace*

| NO | DATA FU-01                                 |               |        |
|----|--|---------------|--------|
|    | Parameter                                  | Nilai         | Satuan |
| 1  | <i>Flow rate EDC inlet convection zone</i> | <i>Pass 1</i> | m3     |
|    |  | <i>Pass 2</i> |        |
| 2  | <i>Temperature inlet convection zone</i>   |               | °C     |

|   |   |               |  |          |
|---|---|---------------|--|----------|
| 3 | <i>Temperature Outlet convection zone</i> | <i>Pass 1</i> |  | °C       |
|   |   | <i>Pass 2</i> |  |          |
| 4 | <i>Temperature outlet radiant zone</i>    | <i>Pass 1</i> |  | °C       |
|   |   | <i>Pass 2</i> |  |          |
| 5 | <i>Flow rate bahan bakar</i>              | H2            |  | Nm3/hr   |
|   |   | NG            |  |          |
| 6 | <i>Lower Heating Value</i>                | H2            |  | Kcal/Nm3 |
|   |   | NG            |  |          |
| 7 | <i>Temperature Cracking EDC</i>           |               |  | °C       |
| 8 | <i>Konversi cracking</i>                  |               |  | %        |
| 9 | <i>Minimal efisiensi furnace</i>          |               |  | %        |

2. Blok Diagram Proses



3. Rumus Perhitungan

1) Menghitung Menghitung  $Q_{sensible\ EDC\ liquid}$  dan  $Q_{vaporation}$  di *convection section* [4].

$$Q_{sensible\ EDC\ liquid} = n \times \int_{T_1}^{T_2} C_p(T) dT \text{ (sensible heat)} \tag{1}$$

$$Q_{vaporation} = n \times \Delta H_v \text{ (enthalpy vaporation)} \tag{2}$$

$$Q_{total\ convection\ section} = Q_{sensible} + Q_{vaporation} \tag{3}$$

Keterangan:

$Q_{sensible}$  = Kalor atau panas dalam peningkatan temperature EDC (kJ)

$Q_{latent}$  = Kalor atau panas dalam perubahan fasa EDC (kJ)

$Q_{convection}$  = Kalor dilepas atau diterima di *convection section* (kJ)

$n$  = mol fluida mengalir (kmol)

$T_1$  = *Temperature* fluida *inlet convection section* (K)

$T_2 =$  Temperature fluida outlet convection section (K)

$C_p =$  Kapasitas panas fluida (J/mol.K)

$\Delta T =$  Perbedaan temperature (K)

$\Delta H_V =$  Panas penguapan (kJ/mol)

- 2) Menghitung  $Q_{sensible\ EDC\ vapor}$  dan  $Q_{reaction\ EDC \rightarrow VCM + HCl}$  di radiant section [4].

$$Q_{sensible\ EDC\ vapor} = n \times \int_{T_1}^{T_2} C_p(T) dT \text{ (sensible heat)} \quad (4)$$

$$Q_{reaction\ EDC \rightarrow VCM + HCl} = n \times \Delta H_f \text{ (enthalpy formation)} \quad (5)$$

$$Q_{total\ radiant\ section} = Q_{sensible\ EDC\ vapor} + Q_{reaction\ EDC \rightarrow VCM + HCl} \quad (6)$$

Keterangan:

$Q_{reaction} =$  Kalor dalam reaksi *cracking* EDC menjadi senyawa VCM dan HCl (kJ)

$Q_{radiant} =$  Kalor dilepas atau diterima di *radiant section* (kJ)

$\Delta H_f =$  Panas reaksi (kJ/mol)

$T_1 =$  Temperature fluida inlet radiant section (K)

$T_2 =$  Temperature fluida outlet radiant section (K)

- 3) Menghitung  $Q_{generate}$  [5].

$$Q_{NG} = LHV \times \text{flowrate NG} \quad (7)$$

$$Q_{H_2} = LHV \times \text{flowrate H}_2 \quad (8)$$

$$Q_{generate} = Q_{NG} + Q_{H_2} \quad (9)$$

Keterangan:

$Q_{NG} =$  Kalor yang dihasilkan dari pembakaran NG (kJ)

$Q_{H_2} =$  Kalor yang dihasilkan dari pembakaran H<sub>2</sub> (kJ)

$LHV =$  Lower Heating Value (kJ/Nm<sup>3</sup>)

$\text{Flowrate NG dan H}_2 =$  Laju alir bahan bakar NG dan H<sub>2</sub> (Nm<sup>3</sup>/hr)

- 4) Menghitung *furnace efficiency* [5].

$$\text{furnace efficiency } (\eta) = \frac{Q_{absorb}}{Q_{generate}} \times 100\% \quad (10)$$

Keterangan:

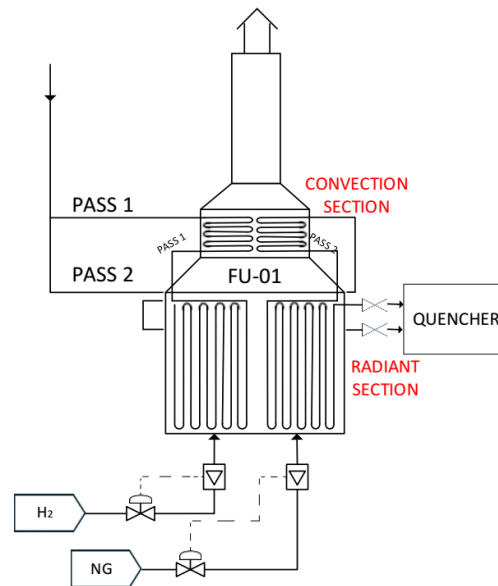
$Q_{absorb} = Q_{total\ convection\ section} + Q_{total\ radiant\ section}$  (kJ)

### III. Hasil dan Pembahasan

#### A. Hasil Penelitian

##### 1) Analisis Perpindahan Panas dalam Furnace

Dalam proses pengevaluasian efisiensinya, dihitung dari keseluruhan perpindahan panas (energi) yang terjadi dari *convection* dan *radiant section* ke fluida yang dipanaskan dengan dibandingkan panas yang dihasilkan. Berikut kondisi dan alur perpindahan panas yang terjadi di *furnace*:



Gambar 3.1 Alur perpindahan panas dalam *furnace*

Dalam *convection section* *Ethyl Dichloride* (EDC) dalam fasa *liquid* dipanaskan hingga berubah fasa menjadi *vapor*, panas yang diterima atau dibutuhkan dalam proses tersebut adalah panas *sensible* dan panas *latent*. Dilanjutkan dengan proses pemanasan EDC gas dan proses *cracking* EDC menjadi VCM dan HCl dalam *radiant section*, panas yang diterima atau dibutuhkan dalam proses tersebut adalah panas *sensible* untuk mencapai suhu *cracking* dan panas reaksi ( $\text{EDC} \rightarrow \text{VCM} + \text{HCl}$ ). Sumber panas yang digunakan berasal dari proses pembakaran *fuel gas* ( $\text{H}_2$  dan NG) yang jumlah alirannya diatur secara manual.

##### 2) Efisiensi *Furnace* Hasil Perhitungan

Runtutan perhitungan efisiensi *furnace* 01, dilakukan dari data yang diambil selama 14 hari. Berikut ini adalah table efisiensi *furnace* hasil perhitungan selama 14 hari:

Tabel 3.1 Hasil perhitungan  $Q_{convection}$

| Data Hasil Perhitungan |       |                 |         |                            |         |                          |         |                              |
|------------------------|-------|-----------------|---------|----------------------------|---------|--------------------------|---------|------------------------------|
| Tanggal                | Pukul | Flowrate (kmol) |         | Q <sub>sensible</sub> (kJ) |         | Q <sub>latent</sub> (kJ) |         | Q <sub>convection</sub> (kJ) |
|                        |       | Pass 1          | Pass 2  | Pass 1                     | Pass 2  | Pass 1                   | Pass 2  |                              |
| 03 Desember 2024       | 11:00 | 158,178         | 158,212 | 1903961                    | 1904366 | 3980609                  | 3981455 | 11770390,35                  |
|                        | 19:00 | 158,191         | 158,172 | 1882817                    | 1882590 | 3961049                  | 3960571 | 11687026,85                  |
| 04 Desember 2024       | 3:00  | 158,209         | 158,206 | 1902376                    | 1902342 | 3927636                  | 3927564 | 11659918,54                  |
|                        | 11:00 | 158,211         | 158,235 | 1884416                    | 1884711 | 3918856                  | 3919470 | 11607452,98                  |
| 05 Desember 2024       | 19:00 | 158,206         | 158,220 | 1842563                    | 1842732 | 3944147                  | 3944509 | 11573951,34                  |
|                        | 3:00  | 158,193         | 158,207 | 1916599                    | 1916762 | 3919501                  | 3919835 | 11672697,67                  |
| 06 Desember 2024       | 11:00 | 158,212         | 158,213 | 1913061                    | 1913068 | 3905588                  | 3905602 | 11637319,43                  |
|                        | 19:00 | 158,054         | 158,084 | 1865959                    | 1865959 | 3917817                  | 3918564 | 11568298,69                  |
| 07 Desember 2024       | 3:00  | 157,693         | 157,667 | 1993400                    | 1993067 | 3839200                  | 3838478 | 11664145,01                  |
|                        | 11:00 | 158,194         | 158,200 | 1950014                    | 1950080 | 3883170                  | 3883301 | 11666564,78                  |
| 08 Desember 2024       | 19:00 | 158,225         | 158,193 | 1918714                    | 1918333 | 3895736                  | 3894964 | 11627747,31                  |
|                        | 3:00  | 158,221         | 158,205 | 1975258                    | 1975052 | 3858006                  | 3857604 | 11665921,04                  |
| 09 Desember 2024       | 11:00 | 158,213         | 158,192 | 1986626                    | 1986366 | 3848600                  | 3848096 | 11669687,57                  |
|                        | 19:00 | 158,212         | 158,199 | 1927995                    | 1927832 | 3876696                  | 3876369 | 11608891,7                   |
| 10 Desember 2024       | 3:00  | 158,200         | 158,206 | 2034569                    | 2034649 | 3820708                  | 3820860 | 11710785,63                  |
|                        | 11:00 | 158,217         | 158,224 | 2018630                    | 2018711 | 3839528                  | 3839683 | 11716551,87                  |
| 11 Desember 2024       | 19:00 | 158,190         | 158,204 | 1942943                    | 1943105 | 3876359                  | 3876684 | 11639091,54                  |
|                        | 3:00  | 158,195         | 158,190 | 1952926                    | 1952860 | 3874435                  | 3874305 | 11654526,32                  |
| 12 Desember 2024       | 11:00 | 158,225         | 158,221 | 2019228                    | 2019180 | 3859324                  | 3859233 | 11756964,26                  |
|                        | 19:00 | 158,200         | 158,219 | 2062247                    | 2062495 | 3842100                  | 3842562 | 11809405,46                  |
| 13 Desember 2024       | 3:00  | 158,197         | 158,199 | 2005245                    | 2005265 | 3857518                  | 3857558 | 11725585,88                  |
|                        | 11:00 | 158,215         | 158,195 | 1913513                    | 1913275 | 3904968                  | 3904483 | 11636240,02                  |
| 14 Desember 2024       | 19:00 | 158,210         | 158,203 | 1812366                    | 1812294 | 3958408                  | 3958251 | 11541317,83                  |
|                        | 3:00  | 158,196         | 158,211 | 1856077                    | 1856254 | 3935691                  | 3936066 | 11584086,79                  |
| 15 Desember 2024       | 11:00 | 158,208         | 158,207 | 1853810                    | 1853796 | 3921164                  | 3921134 | 11549904,55                  |
|                        | 19:00 | 158,205         | 158,205 | 1882180                    | 1882181 | 3894898                  | 3894900 | 11554157,85                  |
| 16 Desember 2024       | 3:00  | 158,226         | 158,205 | 1893130                    | 1892875 | 3893899                  | 3893375 | 11573279,09                  |
|                        | 11:00 | 158,197         | 158,214 | 1809804                    | 1809999 | 3943351                  | 3943776 | 11506929,68                  |
| 17 Desember 2024       | 19:00 | 158,190         | 158,211 | 1780589                    | 1780827 | 3954251                  | 3954779 | 11470445,81                  |
|                        | 3:00  | 158,198         | 158,207 | 1863051                    | 1863153 | 3908322                  | 3908536 | 11543062,89                  |
| 18 Desember 2024       | 11:00 | 158,209         | 158,206 | 1900759                    | 1900720 | 3885375                  | 3885297 | 11572150,71                  |
|                        | 19:00 | 158,221         | 158,211 | 1822950                    | 1822840 | 3929015                  | 3928777 | 11503582,42                  |
| 19 Desember 2024       | 3:00  | 158,210         | 158,199 | 1824210                    | 1824081 | 3934748                  | 3934469 | 11517507,75                  |
|                        | 11:00 | 158,218         | 158,221 | 1838907                    | 1838940 | 3929153                  | 3929224 | 11536223,54                  |
| 20 Desember 2024       | 19:00 | 158,194         | 158,198 | 1840807                    | 1840852 | 3932507                  | 3932603 | 11546769,21                  |
|                        | 3:00  | 158,212         | 158,210 | 1963380                    | 1963360 | 3881618                  | 3881579 | 11689937,09                  |
| 21 Desember 2024       | 11:00 | 158,205         | 158,211 | 1940451                    | 1940517 | 3896140                  | 3896274 | 11673382,02                  |
|                        | 19:00 | 158,215         | 158,204 | 1894616                    | 1894481 | 3907121                  | 3906843 | 11603060,36                  |
| 22 Desember 2024       | 3:00  | 158,203         | 158,224 | 1878511                    | 1878757 | 3909790                  | 3910302 | 11577360,09                  |
|                        | 11:00 | 158,195         | 158,203 | 1955288                    | 1955378 | 3866386                  | 3866566 | 11643618,19                  |
| 23 Desember 2024       | 19:00 | 158,214         | 158,202 | 1898350                    | 1898209 | 3900497                  | 3900208 | 11597264,34                  |
|                        | 3:00  | 158,197         | 158,210 | 1870692                    | 1870844 | 3910018                  | 3910336 | 11561889,48                  |

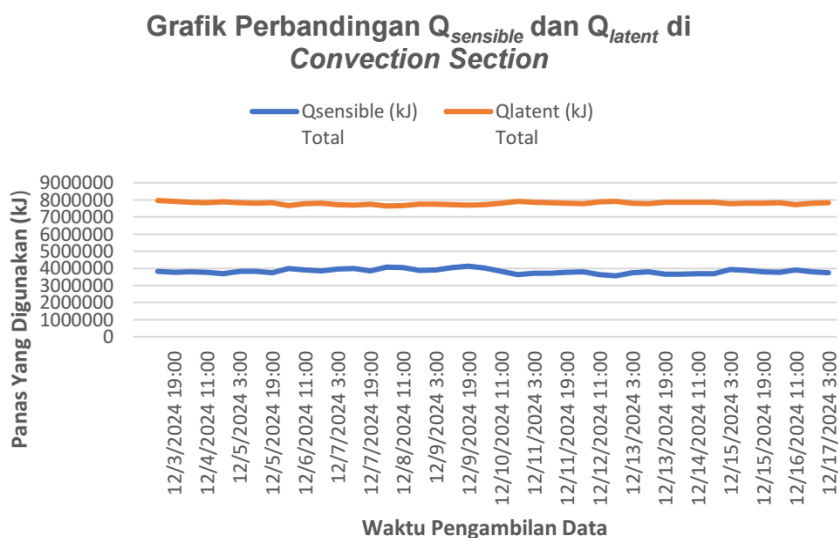
| Data Hasil Perhitungan |       |                 |         |                            |         |                             |         |                           |                               |               |
|------------------------|-------|-----------------|---------|----------------------------|---------|-----------------------------|---------|---------------------------|-------------------------------|---------------|
| Tanggal                | Pukul | Flowrate (kmol) |         | Q <sub>sensible</sub> (kJ) |         | Q <sub>formation</sub> (kJ) |         | Q <sub>radiant</sub> (kJ) | Q <sub>generate</sub> (kJ/hr) | Efisiensi (%) |
|                        |       | Pass 1          | Pass 2  | Pass 1                     | Pass 2  | Pass 1                      | Pass 2  |                           |                               |               |
| 03 Desember 2024       | 11:00 | 158,178         | 158,212 | 1938054                    | 1938467 | 5399760                     | 5400316 | 14676597                  | 297449909                     | 88,898        |
|                        | 19:00 | 158,191         | 158,172 | 1915400                    | 1915169 | 5378390                     | 5377150 | 14586109                  | 29994771                      | 87,592        |
| 04 Desember 2024       | 3:00  | 158,209         | 158,206 | 1877209                    | 1877175 | 5427681                     | 5426867 | 14608932                  | 30660792                      | 85,676        |
|                        | 11:00 | 158,211         | 158,235 | 1867301                    | 1867594 | 5429397                     | 5429545 | 14593836                  | 30433904                      | 86,092        |
| 05 Desember 2024       | 19:00 | 158,206         | 158,220 | 1895923                    | 1896097 | 5449930                     | 5449720 | 14691670                  | 30493432                      | 86,135        |
|                        | 3:00  | 158,193         | 158,207 | 1868303                    | 1868462 | 5453437                     | 5453219 | 14643420                  | 30173728                      | 87,215        |
|                        | 11:00 | 158,212         | 158,213 | 1852416                    | 1852423 | 5434489                     | 5433750 | 14573078                  | 30745793                      | 85,249        |
| 06 Desember 2024       | 19:00 | 158,054         | 158,084 | 1868648                    | 1869004 | 5445582                     | 5445918 | 14629152                  | 30741251                      | 85,218        |
|                        | 3:00  | 157,693         | 157,667 | 1787086                    | 1786787 | 5436830                     | 5435182 | 14445886                  | 30482845                      | 85,655        |
|                        | 11:00 | 158,194         | 158,200 | 1827778                    | 1827839 | 5448840                     | 5448470 | 14552927                  | 30637482                      | 85,580        |
| 07 Desember 2024       | 19:00 | 158,225         | 158,193 | 1841244                    | 1840879 | 5434822                     | 5432969 | 14549914                  | 31017363                      | 84,397        |
|                        | 3:00  | 158,221         | 158,205 | 1799668                    | 1799480 | 5456449                     | 5455174 | 14510771                  | 31182328                      | 83,947        |
| 08 Desember 2024       | 11:00 | 158,213         | 158,192 | 1789514                    | 1789279 | 5440014                     | 5438561 | 14457368                  | 31019622                      | 84,228        |
|                        | 19:00 | 158,212         | 158,199 | 1820343                    | 1820189 | 5427860                     | 5426681 | 14495072                  | 30785761                      | 84,792        |
| 09 Desember 2024       | 3:00  | 158,200         | 158,206 | 1759479                    | 1759548 | 5457312                     | 5456811 | 14433150                  | 31211395                      | 83,764        |
|                        | 11:00 | 158,217         | 158,224 | 1779579                    | 1779651 | 5447634                     | 5447156 | 14454020                  | 31132687                      | 84,061        |
|                        | 19:00 | 158,190         | 158,204 | 1820315                    | 1820467 | 5444584                     | 5444339 | 14529704                  | 31204086                      | 83,863        |
| 10 Desember 2024       | 3:00  | 158,195         | 158,190 | 1818113                    | 1818052 | 5467402                     | 5466505 | 14570071                  | 30782502                      | 85,193        |
|                        | 11:00 | 158,225         | 158,221 | 1801057                    | 1801015 | 5460686                     | 5459825 | 14522583                  | 31016827                      | 84,727        |
|                        | 19:00 | 158,200         | 158,219 | 1782635                    | 1782849 | 5484661                     | 5484564 | 14534708                  | 31200520                      | 84,435        |
| 11 Desember 2024       | 3:00  | 158,197         | 158,199 | 1799501                    | 1799520 | 5482369                     | 5481653 | 14563043                  | 31102355                      | 84,523        |
|                        | 11:00 | 158,215         | 158,195 | 1851686                    | 1851456 | 5455874                     | 5454451 | 14613468                  | 30818057                      | 85,176        |
|                        | 19:00 | 158,210         | 158,203 | 1912086                    | 1912010 | 5421060                     | 5420083 | 14665239                  | 30646868                      | 85,511        |
| 12 Desember 2024       | 3:00  | 158,196         | 158,211 | 1886510                    | 1886690 | 5447324                     | 5449368 | 14669891                  | 30630804                      | 85,711        |
|                        | 11:00 | 158,208         | 158,207 | 1869929                    | 1869914 | 5444429                     | 5443668 | 14627941                  | 30735921                      | 85,170        |
|                        | 19:00 | 158,205         | 158,205 | 1840624                    | 1840625 | 5438834                     | 5438112 | 14558194                  | 30937678                      | 84,403        |
| 13 Desember 2024       | 3:00  | 158,226         | 158,205 | 1839172                    | 1838925 | 5435553                     | 5434091 | 14547742                  | 30220849                      | 86,434        |
|                        | 11:00 | 158,197         | 158,214 | 1895164                    | 1895367 | 5482899                     | 5482804 | 14756235                  | 30177563                      | 87,029        |
|                        | 19:00 | 158,190         | 158,211 | 1907663                    | 1907918 | 5478733                     | 5478738 | 14773052                  | 30431234                      | 86,239        |
| 14 Desember 2024       | 3:00  | 158,198         | 158,207 | 1855693                    | 1855794 | 5434111                     | 5433708 | 14579307                  | 30249683                      | 86,356        |
|                        | 11:00 | 158,209         | 158,206 | 1829991                    | 1829954 | 5450426                     | 5449649 | 14560020                  | 30439738                      | 85,849        |
|                        | 19:00 | 158,221         | 158,211 | 1878564                    | 1878450 | 5416223                     | 5415261 | 14588498                  | 30179610                      | 86,456        |
| 15 Desember 2024       | 3:00  | 158,210         | 158,199 | 1885212                    | 1885078 | 5412917                     | 5411862 | 14595068                  | 29894730                      | 87,348        |
|                        | 11:00 | 158,218         | 158,221 | 1878766                    | 1878799 | 5435454                     | 5434885 | 14627905                  | 30184017                      | 86,682        |
|                        | 19:00 | 158,194         | 158,198 | 1882945                    | 1882991 | 5455063                     | 5454499 | 14675498                  | 30603000                      | 85,685        |
| 16 Desember 2024       | 3:00  | 158,212         | 158,210 | 1825792                    | 1825773 | 5474713                     | 5469023 | 14595301                  | 30828267                      | 85,263        |
|                        | 11:00 | 158,205         | 158,211 | 1841998                    | 1842061 | 5448541                     | 5447996 | 14580596                  | 30941345                      | 84,851        |
|                        | 19:00 | 158,215         | 158,204 | 1854081                    | 1853949 | 5475249                     | 5474195 | 14657474                  | 30715092                      | 85,497        |
| 17 Desember 2024       | 3:00  | 158,203         | 158,224 | 1857260                    | 1857503 | 5467337                     | 5467323 | 14649423                  | 30636990                      | 85,605        |
|                        | 11:00 | 158,195         | 158,203 | 1809258                    | 1809342 | 5454058                     | 5453580 | 14526237                  | 30925080                      | 84,623        |
| 18 Desember 2024       | 19:00 | 158,214         | 158,202 | 1846710                    | 1846573 | 5477276                     | 5476152 | 14646712                  | 30954955                      | 84,781        |
|                        | 3:00  | 158,197         | 158,210 | 1857612                    | 1857763 | 5479251                     | 5478995 | 14673622                  | 30623520                      | 85,671        |
| Rata-Rata              |       |                 |         |                            |         |                             |         |                           |                               | 85,514        |
| Nilai Tertinggi        |       |                 |         |                            |         |                             |         |                           |                               | 88,898        |
| Nilai Terendah         |       |                 |         |                            |         |                             |         |                           |                               | 83,764        |

Tabel 3.2 Hasil perhitungan Q<sub>radiant</sub> dan efisiensi

B. Pembahasan

1) Grafik Perbandingan  $Q_{sensible}$  dan  $Q_{latent}$  di Convection Section

Dalam *convection section*, EDC dipanaskan hingga berubah fasa dari *liquid* menjadi *vapor*, di mana proses pemanasannya menggunakan panas *sensible* untuk meningkatkan *temperature* EDC *liquid* dan panas *latent* untuk merubah fasanya. Di bawah ini menunjukkan perbandingan panas *sensible* dan panas *latent* yang digunakan selama 14 hari (setiap 8 jam) di *convection section*, sebagai berikut:

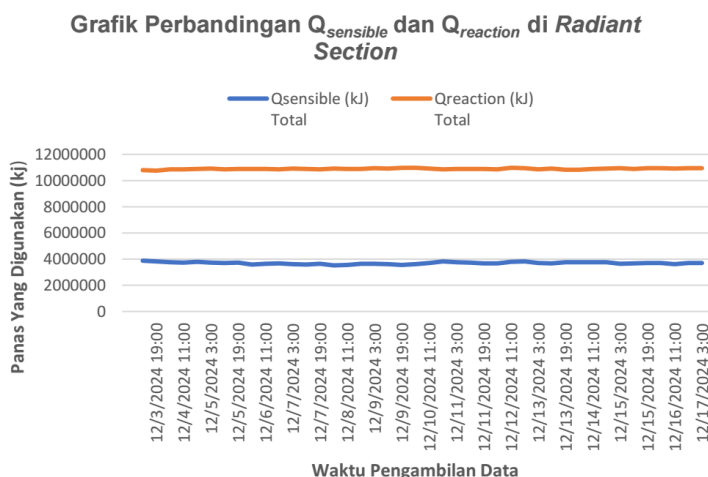


Gambar 3.2 Grafik perbandingan  $Q_{sensible}$  dan  $Q_{latent}$  di *convection section*

Gambar 3.2 menunjukkan bahwa nilai panas *latent* selalu lebih tinggi dari pada panas *sensible*. Hal ini disebabkan nilai *enthalpy* penguapan ( $\Delta H_V$ ) untuk menghitung panas *latent* selalu lebih besar dari pada integrasi kapasitas panas *liquid* EDC terhadap perubahan *temperature* untuk menghitung panas *sensible*.

2) Grafik Perbandingan  $Q_{sensible}$  dan  $Q_{reaction}$  di Radiant Section

Dalam *radiant section*, EDC vapor dipanaskan hingga menyentuh *cracking temperature* sehingga EDC akan terpecah membentuk VCM dan HCl. Proses pemecahan ini juga membutuhkan panas hingga menyentuh rasio konversi *cracking* yang sudah ditentukan. Proses peningkatan EDC vapor hingga menyentuh *cracking temperature* menggunakan panas *sensible* dan panas reaksi untuk proses *cracking*-nya. Di bawah ini menunjukkan perbandingan panas *sensible* dan panas reaksi yang digunakan selama 14 hari (setiap 8 jam) di *convection section*, sebagai berikut:

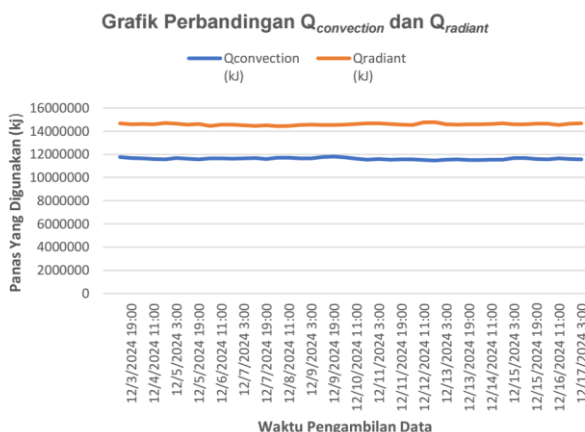


Gambar 3.3 Grafik perbandingan  $Q_{sensible}$  dan  $Q_{reaction}$  di radiant section

Gambar 3.3 menunjukkan bahwa nilai panas reaksi selalu lebih tinggi dari pada panas *sensible*. Hal ini disebabkan nilai *enthalpy* pembentukan ( $\Delta H_f$ ) untuk menghitung panas reaksi selalu lebih besar dari pada nilai integrasi kapasitas panas gas EDC terhadap perubahan *temperature*.

### 3) Grafik Perbandingan $Q_{convection}$ dan $Q_{radiant}$

Proses keseluruhan dalam sistem *furnace* terbagi menjadi dua bagian pemanas. *Convection section* digunakan sebagai *pre-heating* di mana terdapat perubahan fasa di dalamnya, sumber panas yang digunakan di seksi ini berasal dari *flue gas* hasil pembakaran bakar setelah melewati *radiant section*. Setelah melewati *convection section*, EDC akan masuk ke *radiant section* yang merupakan seksi utama dalam sistem *furnace* karena terdapat pemanasan dan perengkahan EDC menjadi VCM dan HCl. Oleh karena itu, jumlah panas yang dibutuhkan dari 2 seksi tersebut berbeda. Di bawah ini menunjukkan perbandingan panas yang dibutuhkan di kedua seksi tersebut:



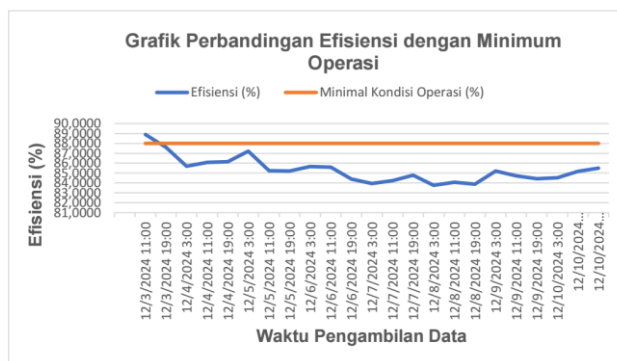
Gambar 3.4 Grafik perbandingan  $Q_{convection}$  dan  $Q_{radiant}$

Gambar 3.4 menunjukkan bahwa nilai panas yang digunakan di *radiant section* selalu lebih tinggi dari pada panas yang digunakan di *convection section*. Hal ini disebabkan karena *radiant section* merupakan bagian utama dari sistem *furnace* untuk perengkahan EDC sedangkan *convection section* digunakan sebagai bagian untuk *pre-heating*. Konveksi

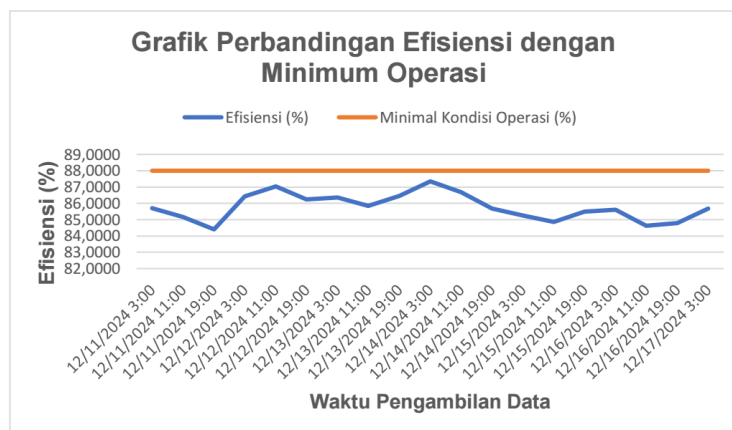
digunakan untuk memanaskan dan menguapkan umpan dari EDC liquid 30°C ke 250°C, sementara reaksi perengkahan utama EDC terjadi di bagian radiasi dengan memanaskan EDC dari 250°C ke 500-530°C yang menunjukkan bahwa sebagian besar energi panas digunakan dalam radiasi untuk mendukung perengkahan [6].

4) Grafik Perbandingan Efisiensi dengan Minimum Operasi

Efisiensi *furnace* adalah performa sebuah *furnace* dalam memberikan panas yang dihasilkan oleh pembakaran *fuel* kepada fluida yang dipanaskan dalam keseluruhan bagian *tube furnace*. Di bawah ini grafik perbandingan efisiensi *furnace* selama 14 hari (setiap 8 jam), sebagai berikut:



Gambar 3.5 Grafik efisiensi selama 7 hari pertama



Gambar 3.6 Grafik efisiensi selama 7 hari terakhir

Dari hasil yang diperoleh, hanya efisiensi *furnace* pada tanggal 03 Desember 2024 pukul 11:00 yang berada di atas minimal kondisi operasinya (88%) dengan nilai 88,898% dengan rata-rata efisiensi selama 14 hari adalah 85,513%. Nilai tersebut merupakan efisiensi tertinggi selama 14 hari *furnace* beroperasi. Setelahnya, nilai efisiensi turun dan cenderung fluktuatif di bawah minimal kondisi operasinya. Nilai efisiensi terkecil terdapat pada tanggal 08 Desember 2024 pukul 03:00 dengan nilai 83,764%. Penyebab efisiensi cenderung fluktuatif dan di bawah kondisi operasi adalah perubahan kondisi operasi seperti jumlah fluida yang masuk dan jumlah fluida yang dibakar sebagai bahan bakar. Performa perpindahan panas sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi seperti jadwal produksi, laju aliran material, dimensi material, pengontrolan manual dapat menyebabkan fluktuasi efisiensi [7]. Metode yang dapat dilakukan untuk menjaga kinerja *furnace* adalah dengan menjaga jumlah fluida yang masuk sesuai dengan spesifikasi desain *furnace*. Jika jumlah fluida yang masuk kurang dari spesifikasinya maka akan menyebabkan *tube* dalam *furnace* pecah dan ketika jumlah fluida

yang masuk kurang maka proses pemanasan akan terganggu [8]. Selain jumlah fluida yang dipanaskan dan dijadikan bahan bakar, pengaruh seperti suhu *fuel gas*, suhu saluran masuk udara untuk pembakaran, ketebalan, dan emisivitas dinding refraktori juga mempengaruhi nilai efisiensi sebuah *furnace* [9]. Penurunan suhu *fuel gas* meningkatkan efisiensi hingga 73%, peningkatan suhu saluran masuk udara untuk pembakaran meningkatkan efisiensi hingga 61%, dan peningkatan ketebalan dinding refraktori meningkatkan efisiensi tungku. Meskipun begitu, dalam proses pengolahan data yang dilakukan oleh penulis, nilai suhu *fuel gas*, suhu saluran masuk udara untuk pembakaran, ketebalan, dan emisivitas dinding tidak masuk dalam perhitungan karena sudah fokus terhadap panas yang dibutuhkan dalam setiap proses pemanasan (*convection* dan *radiant section*) terhadap panas yang dihasilkan (*generate heat*). Dalam proses pengoperasiannya, pengontrolan laju bahan bakar dilakukan dengan manual yang meningkatkan kemungkinan keterlambatan waktu, kekurangan, serta kelebihan beban dalam proses tuning sehingga meningkatkan kemungkinan penggunaan bahan bakar secara berlebih atau kurang yang berpengaruh pada efisiensi *furnace* dalam pengoperasiannya. Pengontrolan secara adaptif dengan *Model Predictive Control* (MPC) dapat mengurangi konsumsi bahan bakar hingga 87,2% dibandingkan dengan *control* tradisional. Hal ini dapat terjadi karena MPC mencegah *overshoot* atau *undershoot* dan osilasi suhu sehingga mengurangi limbah energi. MPC bekerja dengan memprediksi efek gangguan seperti perubahan beban dan menyesuaikan aksi kontrol secara proaktif sehingga menjaga efisiensi meskipun kondisi operasi bervariasi. Dalam penggunaannya, menjaga kinerja sebuah *furnace* tetap dalam kondisi yang baik dapat dilakukan dengan proses pemeliharaan atau *maintenance* [10]. Selain itu, dalam hal analisa energi *furnace* setelah *turn around* (TA) didapatkan nilai keseluruhan *energy furnace* stabil di angka 97% sedangkan sebelum *turn around* nilai efisiensi cenderung fluktuatif dikisaran 68-75%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai efisiensi setelah *turn around* lebih besar dibandingkan dengan waktu sebelumnya *turn around* [11].

#### IV. Kesimpulan

Hasil perhitungan yang diperoleh beserta uraian dan pembahasannya, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Convection section* terdapat fenomena peningkatan *temperature* dan perubahan fasa dari EDC *liquid* menjadi *vapor* sehingga panas yang digunakan adalah panas *sensible* ( $Q_{sensible}$ ) dan panas *latent* ( $Q_{latent}$ ). Dari hasil yang diperoleh panas *latent* ( $Q_{latent}$ ) selalu lebih besar dari pada panas *sensible* ( $Q_{sensible}$ ). Berbeda dengan *radiant section*, selain terdapat fenomena peningkatan *temperature* ada proses perengkahan di dalamnya sehingga panas yang dibutuhkan adalah panas *sensible* ( $Q_{sensible}$ ) dan panas reaksi ( $Q_{reaction}$ ). Dari hasil yang diperoleh panas reaksi ( $Q_{reaction}$ ) selalu lebih besar dari pada panas *sensible* ( $Q_{sensible}$ ).
2. Nilai panas *radiant* lebih besar dari pada panas *convection*. Hal ini disebabkan karena *radiant section* merupakan bagian utama dari sistem *furnace* untuk perengkahan EDC sedangkan *convection section* digunakan sebagai bagian untuk *pre-heating*.
3. Nilai efisiensi selama 14 hari menunjukkan nilai yang fluktuatif di 88,898%-83,764% dengan rata-rata efisiensi adalah 85,513% di mana hanya satu waktu saja nilai efisiensi di atas minimal kondisi operasinya yaitu pada tanggal 03 Desember 2024 pukul 11:00 yang juga merupakan nilai efisiensi tertinggi meskipun *furnace* sudah melewati proses *maintenance*. Nilai efisiensi terendah terjadi pada tanggal 08 Desember 2024 pukul 03:00

dengan nilai 83.764%. Oleh karena itu, *furnace* dalam 14 hari beroperasi dinilai tidak layak untuk dioperasikan karena nilainya di bawah kondisi minimal operasinya yaitu 88%.

4. Penyebab efisiensi berfluktuasi dan di bawah nilai minimal kondisi operasinya meskipun sudah dilakukan *maintenance* adalah perubahan nilai operasinya seperti laju alir bahan bakar dan laju alir fluida yang ingin dipanaskan (EDC), sekaligus pengontrolan parameter (laju alir) yang masih dilakukan secara manual.

#### V. Daftar Pustaka

- [1] Bento, S. B. (2017). Ethylene Dichloride cracking reactor modelling.
- [2] Maroor, S., Spatenka, S., Lertpukpon, W., Kityanyong, P., Chotiwiriyakun, K., Tiensai, N., & Wong, R. (2018). Optimising EDC cracker operation to enhance VCM plant economics. AIChE Spring Meeting and 14th Global Congress on Process Safety, Computing and Systems Technology Division
- [3] Yaws, C. L. (2001). Chemical Properties Handbook: Physical, Thermodynamic, Environmental, Transport, Safety, and Health Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals. McGraw-Hill.
- [4] Arsy, F., & Lestari, S. (2022). Optimasi Penggunaan Bahan Bakar Pada Furnace (F-1) Di Hvu Pt X Indonesia. In *Fitri Arsy, SNTM* (Vol. 2).
- [5] Rossanese, G. (2016). Modelling of an industrial plant for vinyl chloride production (Master's thesis, Università degli Studi di Padova, Department of Industrial Engineering).
- [6] Hu, Y., Tan, C. K., Broughton, J., Roach, P. A., & Varga, L. (2018). Nonlinear dynamic simulation and control of large-scale reheating furnace operations using a zone method based model. *Applied Thermal Engineering*, 135, 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.02.022>
- [7] Shahab, O. A., & Faisal, A. (2023). Evaluation Of Furnace-02 Efficiency Using The Heat Loss Method In Refinery Units At Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi Cepu-Java. In *JCI Jurnal Cakrawala Ilmiah* (Vol. 2, Issue 6). <http://bajangjournal.com/index.php/JCI>
- [8] Ajah, Stephen A, Idorenyin, Donald, Ezurike, Benjamin O, Nwokenkwo, Uchenna, & Ikwuagwu, C. V. (2022). Thermal analysis to investigate the effects of operating parameters on conventional cupola furnace efficiency. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E*, 237(4), 1354–1366. <https://doi.org/10.1177/09544089221113401>
- [9] Tudon-Martinez, J. C., Lozoya-Santos, J. D. J., Cantu-Perez, A., & Cardenas-Romero, A. (2022). Advanced Temperature Control Applied on An Industrial Box Furnace. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 14(6). <https://doi.org/10.1115/1.4052020>.
- [10] Dian. (2019). *Skripsi Analisis Eksergi Furnace 101-H-2 Paska Turn Arround 2017 Pertamina Refinery Unit Ii Sei. Pakning.*