

ANALISA ENERGI *FURNACE* 101-H-2 PASKA *TURN AROUND* 2017 PERTAMINA *REFINERY* UNIT II SEL. PAKNING

Dian Putra Satria¹, Romy²
Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau
¹dian.satria@pertamina.com, ²romy@yohoo.com

ABSTRACT

Furnace is a heating equipment for petroleum processing, which requires the largest operational costs in the processing business. During the first quarter of 2019 Pertamina II of the total raw materials used amounted to 10.16% for processing energy needs of which 75% of the energy consumed by the furnace. Furnaces that are operated with optimal conditions will result in savings in operational costs. Analysis of furnaces has been carried out by analyzing energy efficiency after Turn Around in 2019 and comparing it with data before Turn Around in 2017. As a result, efficiency was obtained after Turn Around in 2019 by 97% and before Turn Around in 2017 at 68% -75%. It was known that when TA-2017 has been carried out a total replacement of tubes, castables, and stacks or repairs of the mayor. Meanwhile, when TA-2019 was carried out repairs and cleaning or minor repairs.

Keywords: *furnace, energy. efficiency, crude oil, residue*

1. Pendahuluan

Furnace merupakan peralatan pemanas dikilang pengolahan minyak bumi, yang menyumbang biaya operasional terbesar di bisnis pengolahan minyak bumi. Pertamina RU II quartal I 2019 dari 100% bahan baku, diperoleh 10,16% untuk kebutuhan energi pengolahan (Materi iMWT Direktur Keuangan Pertamina) dan 75% dari kebutuhan energi pengolahan dikonsumsi oleh *furnace*.

Furnace menurut Shekarchian [1] adalah sebagai bagian dari pabrik yang berkontribusi paling besar terhadap unit pengolah energi dalam penyulingan minyak bumi dan industri petrokimia. Dan efisiensi termal *furnace* memainkan peran penting dalam penghematan energi pabrik. Jadi, sangat penting untuk memaksimalkan nilai kalor yang ditransfer ke proses pengolahan *crude oil* dan meminimalkan kalor yang hilang dari *furnace*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Kern, [2] dalam proses perpindahan panas untuk *furnace* eksisting nilai efisiensi energi berkisar 60 – 75%. Dan dari penelitian Rosen dan Scott [3] pada stasiun PLTU, boiler khususnya, mendapatkan hasil efisiensi energi lebih besar dibandingkan dengan efisiensi eksergi, yang mana masing-masing bernilai 95% dan 50%.

Proses perpindahan panas pada *furnace* terjadi antara fluida yang dipanasi dengan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Berdasarkan pertukaran panas tersebut maka efisiensi *furnace* 101-H-2 di Kilang minyak Pertamina RU II Sei. Pakning sangat menarik untuk diteliti dengan membandingkan efisiensi *furnace*

yang dioperasikan sebelum TA-2017 dan paska TA-2019. Sehingga mendapatkan indikasi berhasil

atau tidaknya pelaksanaan TA-2017, TA adalah singkatan dari *Turn Around*.

2. Landasan Teori

Furnace memiliki beberapa fitur umum, komponen-komponen utama *furnace* (lihat gambar 1) adalah ruang radiasi (*radiation chamber*), bagian konveksi (*convection section*), cerobong (*stack*), dan beberapa komponen *auxiliary* seperti; alat pembakar (*burner*), dan pipa-pipa (*tubes*) [4].

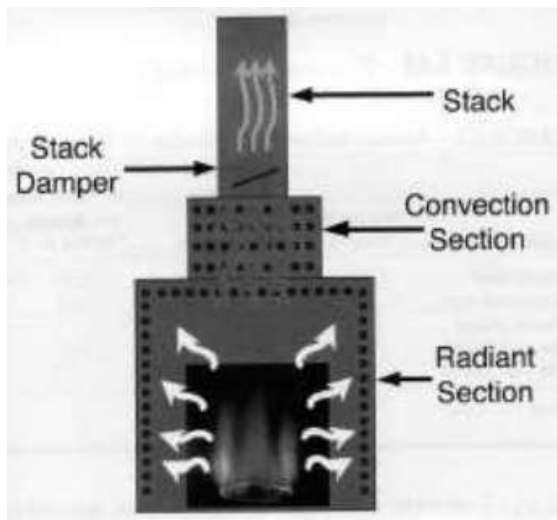
Perpindahan panas dalam *furnace* terjadi dalam dua cara, yaitu:

a. Radiasi

Dalam *furnace* terjadi pada pemanasan dari nyala api burner ke dinding pipa *furnace*

b. Konveksi

Perpindahan panas dalam suatu fluida dari suhu tinggi ke suhu rendah disertai perpindahan molekul dari suatu tempat ke tempat yang lain. Perpindahan panas pada minyak di dalam pipa *furnace* merupakan perpindahan secara konveksi.



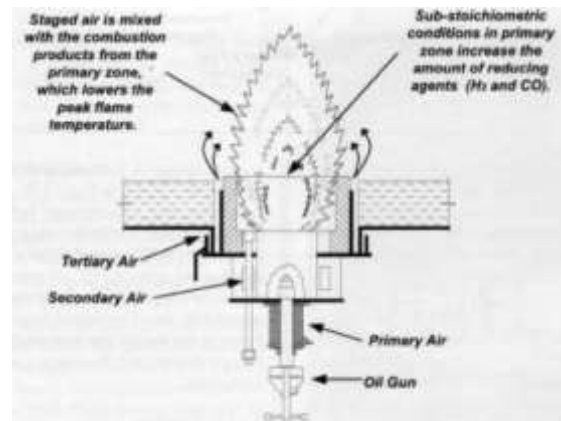
Gambar 1. Skema Proses *Furnace* [10]

Pembakaran merupakan reaksi antara oksigen dengan bahan bakar disertai timbul panas (lihat gambar 2). Untuk terjadinya pembakaran harus tersedia unsur-unsur yang dibutuhkan antara lain [4]:

- Bahan Bakar : Ada tiga jenis yang digunakan yaitu gas, minyak dengan viskositas tinggi dan rendah.
- Udara: Kebutuhan oksigen untuk pembakaran diambil dari udara sekitar/bebas sehingga secara langsung udara berpengaruh terhadap pembakaran.
- Api : Bahan ini digunakan untuk mencapai kondisi dimana pembakaran dapat berlangsung dengan sendirinya.

Mekanisme pembakaran terdiri dari:

- Pembakaran Lengkap Dan Sempurna**
Jika semua atom "C" yang dibakar membentuk karbon dioksida serta atom "H₂" menjadi air
 $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$
- Pembakaran Lengkap Tapi Tak Sempurna**
Hasil pembakaran masih ada udara yang tersisa atau tidak semua oksigen bereaksi.
 $CH_4 + 3O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + O_2$
- Pembakaran Tak Sempurna**
Udara tidak cukup untuk proses pembakaran sehingga beberapa atom karbon membentuk karbon dioksida.
 $3CH_4 + 5O_2 \rightarrow CO_2 + 2CO + 6H_2O$



Gambar 2. Skema Udara, Bahan Bakar Minyak dan Api Untuk Menghasilkan Pembakaran [10]

Untuk mencari efisiensi *furnace* dipengaruhi oleh beberapa faktor [6], seperti yang diperlihatkan oleh gambar 3 diantaranya adalah:

Kalor masuk *furnace* 101-H-2 terdiri dari:

- ✓ Kalor pembakaran *fuel oil*: $Q_{f.o} = \dot{m}_f \cdot NCV, \text{ kJ/h}$ (1)
- ✓ Kalor sensibel *fuel oil*: $Q_{s.f.o} = \dot{m}_f \cdot C_{p_f} \cdot T_f, \text{ kJ/h}$ (2)
- ✓ udara pembakaran: $Q_{s.u.p} = \dot{m}_u \cdot C_{p_u} \cdot T_u, \text{ kJ/h}$ (3)
- ✓ Kalor sensibel *steam atomizing*: $Q_{sa} = \dot{m}_{sa} \cdot h, \text{ kJ/h}$ (4)

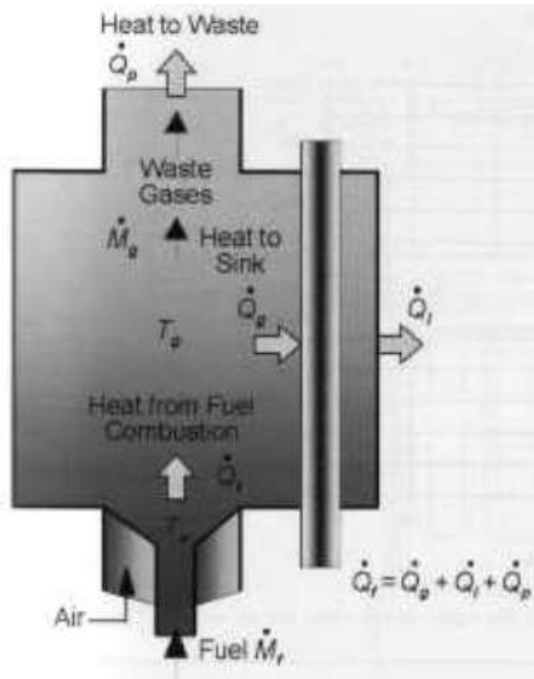
- ✓ Kalor yang dibawa oleh minyak mentah:
 $Q_{c.o.inlet} = \dot{m}_c \times C_{p_{c.inlet}} \times T_{c.inlet}, \text{ kJ/h}$ (5)

Kalor yang diserap dan kalor keluar *furnace* 101-H-2 terdiri dari [6]:

- ✓ Kalor yang diserap oleh *Crude Oil* ruang radiasi (r) dan konveksi (k): $Q_{c.o.r,k} = \dot{m}_c \times C_{p_{r,k}} \times T_{r,k}, \text{ kJ/h}$ (6)
- ✓ Kalor keluar melalui dinding, atap, dan lantai dapur: $Q_{other} = Q_{f.tot} - Q_{c.o.r,k}$ (7)

maka efisiensi energi:

$$\eta = \frac{\text{usefull heat}}{\text{total heat}} \quad (8)$$



Gambar 3. Aliran Kesetimbangan Energi Pada Proses Furnace [10]

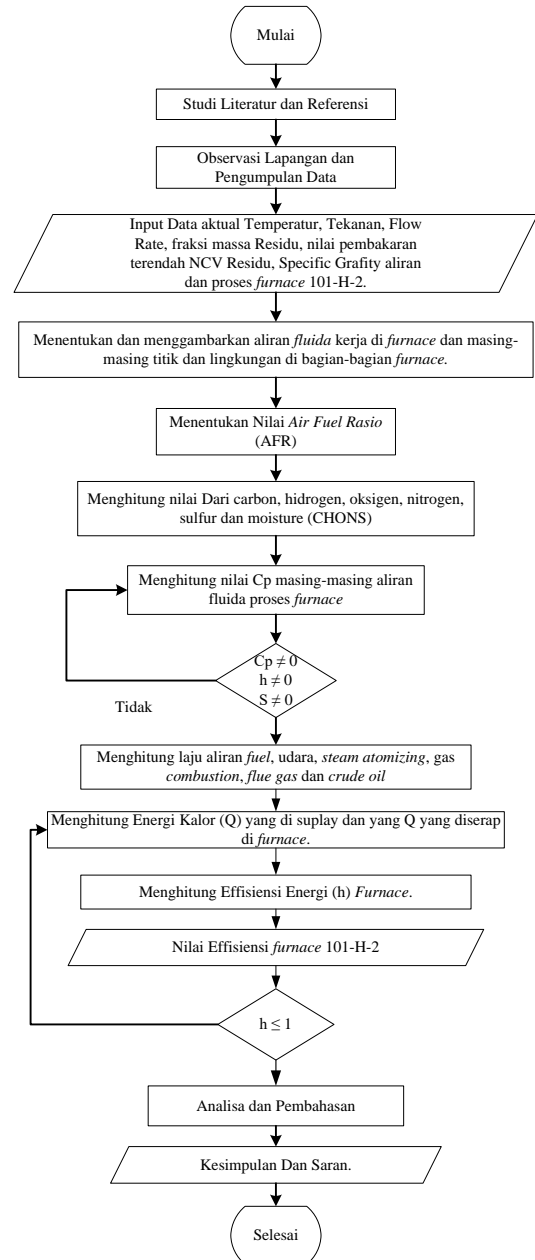
3. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penelitian dengan judul “Analisa Energi Furnace 101-H-2 di Pertamina Refinery Unit II Sci. Pakning” dapat dijelaskan melalui diagram alir perhitungan yang tampak pada gambar 4.

3.1 Cara pengumpulan data

Data yang didapat merupakan data harian pengamatan oleh operator di lapangan maupun di panel *control room* bersama panelman serta observasi langsung kelapang, ditambah spesifikasi dari dan *design furnace* itu sendiri. Data dapat berupa diagram, *logsheet*, gambar-gambar dan data UPS dan lain sebagainya seperti data komposisi senyawa unsur zat. Data *logsheet online* dikumpulkan dan diambil per dua jam dalam satu hari.

3.2 Diagram perhitungan



Gambar 4. Diagram Alir Perhitungan

4. Hasil

Untuk contoh perhitungan hasil menggunakan data paska TA tanggal 1 Mei 2019 jam 13.00 WIB. Sementara untuk pembahasan menggunakan data lengkap 24 jam baik paska TA maupun sebelum TA. Untuk mendapatkan perbandingan nilai effisiensinya sehingga diketahui tingkat keberhasilan pelaksanaan TA.

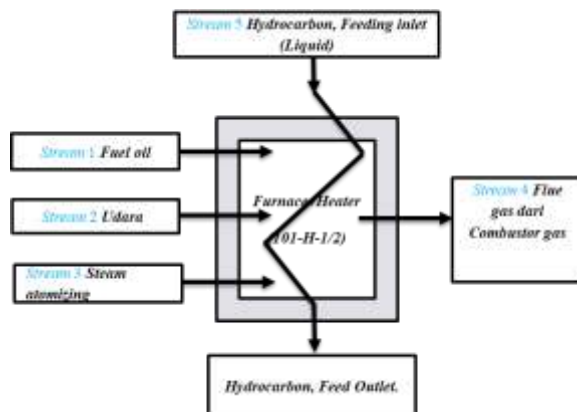
Perhitungan kalor *furnace* 101-H-2, seperti yang diperlihatkan oleh gambar 5 terdiri dari:

✓ Kalor pembakaran *fuel oil*: $Q_{f.o}$:

$Q_{f.o} = \dot{m}_r \cdot NCV$, maka untuk:

$\dot{m}_r = \dot{V}_{residu} \cdot SG \cdot \rho$

$$= 1,18 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0,9309 \cdot \frac{1000\text{kg}}{\text{m}^3} = 1.098,46 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



Gambar 5. Skema Alir Energi Furnace101-H-2

Untuk nilai NHV, Dirjen Migas No. 03/P/DM/Migas/1986 tertanggal 14 April 1986 spesifikasi minimal *Colorific Value Gross* (CVG/HHV) adalah 18.000BTU/lb (41.909,196 kJ/kg) sehingga diperoleh NCV/NHV sebesar [7]:

$$\text{NCV} = \text{CVG} - 3240$$

$$41.909,196 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 3240 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 38.669,196 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Maka diperoleh

$$Q_{f.o} = 1.098,46 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 38.669,196 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 42.476.542,38 \text{ kJ/h}$$

Maka energi pembakaran bahan bakar residu adalah 11,799 MW.

✓ Kalor sensibel *fuel oil*: $Q_{s.f.o}$:

$$Q_{s.f.o} = \dot{m}_r \cdot C_p \cdot T_{f.o}$$

Untuk mencari C_p residu menggunakan K-UOP dan grafik [8]. Didapatkan C_p residu setelah dikalikan dengan faktor koreksi sebesar 1,06 kJ/kg.K. untuk temperatur residu masuk ke pembakaran secara observasi didapatkan 90°C, maka:

$$Q_{s.f.o} = 1.098,46 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 1,06 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 363,15\text{K}$$

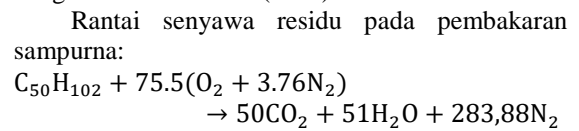
$$= 421.156,05 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Didapatkan $Q_{s.f.o}$ sebesar 0,117 MW

✓ udara pembakaran: $Q_{s.u.p}$:

$$Q_u = \dot{m}_u \cdot C_{p_u} \cdot T_u$$

\dot{m}_u atau *mass flow* udara didapatkan dengan rasio *mass flow* bahan bakar residu yang disebut dengan *Air Fuel Ratio* (AFR):



Didapatkan AFR stoic.:

$$\text{C}_{50}\text{H}_{102} = 12,011 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \cdot 50 + 1,008 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \cdot 102$$

$$= 703,37 \frac{\text{kg}}{\text{kmol fuel}} \text{ (massa molar residu)}$$

$$\text{O}_2 = \frac{15.999\text{kg}}{\text{kmol}} \cdot 75,5 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol fuel}} \cdot 2$$

$$= \frac{2.414,49\text{kg}}{\text{kmol fuel}}$$

Diketahui jumlah massa atom oksigen di udara adalah 21%, sedangkan massa atom N_2 adalah 79%. Maka massa atom udara adalah:

$$\text{massa molar udara} = \frac{79 + 21}{21} \cdot \text{O}_2$$

$$= \frac{79 + 21}{21} \cdot \frac{2.414,49 \text{ kg}}{\text{kmol fuel}}$$

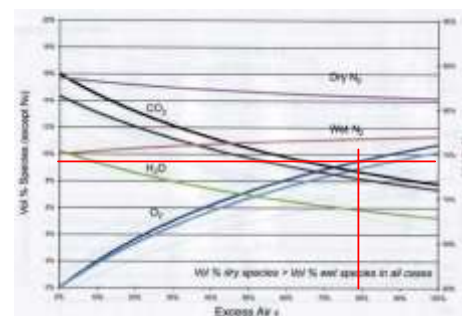
$$= 11.497,57\text{kg/kmol fuel}$$

$$\text{AFR}_{\text{stoic}} = \frac{\text{massa molar udara}}{\text{massa molar residu}}$$

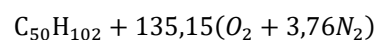
$$\text{AFR}_{\text{stoic}} = \frac{11.497,57 \text{ kg}}{703,37 \text{ kg}} \frac{\text{kmol fuel}}{\text{kmol fuel}}$$

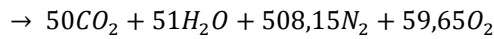
$$= 16,36 \text{ (massa udara stoichiometry)}$$

Dari data CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*) gas buang *stack furnace* 101-H-2 didapatkan data *Excess Air* untuk bahan bakar residu dari nilai *excess O₂ (vol., dry)* 9,22% sebesar 79% sesuai grafik pada gambar 6, maka AFR *excess air* dari reaksi senyawa residu menjadi:



Gambar 6. Kelebihan Udara Bahan Bakar Residu [10]





$$O_2 = \frac{15,999 \text{ kg}}{\text{kmol}} \cdot 135,15 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol fuel}} \cdot 2$$

$$= \frac{4324,37 \text{ kg}}{\text{kmol fuel}}$$

$$\text{massa molar udara} = \frac{79 + 21}{21} \cdot O_2$$

$$\text{massa molar udara} = \frac{79 + 21}{21} \cdot \frac{4.324,37 \text{ kg}}{\text{kmol fuel}}$$

$$= 20.592,24 \text{ kg/kmol fuel}$$

Maka AFR aktual adalah:

$$AFR_{9,22\% \text{ vol. } O_2} = \frac{20.592,24 \text{ kg}}{\frac{703,37 \text{ kg}}{\text{kmol fuel}}}$$

$$= 29,28 \text{ (keadaan aktual, excess air 79\%)}$$

$$\dot{m}_u = \dot{m}_r \cdot AFR = 1.098,46 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 29,28$$

$$= 32.159,34 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Untuk Cp udara dari literatur [8] 1,006 kJ/kg.K sehingga didapatkan nilai energi udara pada temperatur 40°C (data observasi) sebesar:

$$Q_u = 32.159,34 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1,006 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 313,15 \text{ K}$$

$$= 10.128.575,36 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \text{ atau } 2,8 \text{ MW}$$

Kalor sensibel *steam atomizing*: Q_{sa} :

$$\dot{m}_{\text{steam}} = 0,4 \cdot \dot{m}_{\text{residu}} = 0,4 \cdot \dot{V}_{\text{residu}} \cdot SG \cdot \rho \text{ [7]}$$

$$\dot{m}_{\text{steam}} = 0,4 \cdot 1,18 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \cdot 0,9309 \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 439,38 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

Nilai entalpi (h) didapatkan pada data tekanan kerja *steam* 5,96 kg/cm² gauge (6,96 kg/cm² absolut) nilai dari tabel A-5 [8]. Berdasarkan tekanan *steam* didapatkan nilai interpolasi tabel entalpi sebesar 2.762,5 kJ/kg. Sehingga didapatkan energi *steam* yaitu:

$$Q_{\text{Steam}} = 439,38 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \cdot \frac{2.762,5 \text{ kJ}}{\text{kg}} = \frac{1.213.819,84 \text{ kJ}}{\text{jam}}$$

Atau sebesar 0,337 MW.

✓ Kalor yang dibawa oleh minyak mentah $Q_{c.o.inlet}$:

Merupakan kalor yang masuk keruang konveksi dengan nilai sebesar:

$$Q_{c.inKv} = \dot{m}_c \cdot Cp_{c.inKv} \cdot T_{c.inKv}$$

Jika Cp didapatkan dari literatur [8] berdasarkan temperatur *crude oil* dan *properties*

crude oil sebesar 2,42 kJ/kg.K dan untuk mendapatkan nilai *mass flow rate* dari rumusan $\dot{m}_c = \dot{V}_c \cdot SG \cdot \rho$, yang mana untuk \dot{V}_c dan $T_{c.inKv}$ didapatkan dari data *logsheet* operator dan SG dari dokumen *crude assay* Pertamina, maka:

$$Q_{c.inKonv} = 50.211,41 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2,417 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 468,15 \text{ K}$$

$$= \frac{56.820.471,61 \text{ kJ}}{\text{h}} \text{ atau sebesar } 15,78 \text{ MW}$$

✓ Kalor gas pembakaran:

$$Q_{HC} = \dot{m}_{HC} \cdot Cp_{HC} \cdot T_{HC}$$

Dimana :

$$\dot{m}_{HC} = \dot{m}_{\text{steam}} + \dot{m}_r + \dot{m}_{\text{udara}}$$

$$= 439,38 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 1.098,46 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 32.159,34 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$= 33.697,19 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Rumusan untuk kalkulasi Cp_{HC} didapatkan dari referensi [10]. Sehingga Cp dengan temperatur 1.233K adalah 1,254 kJ/kg.K. maka:

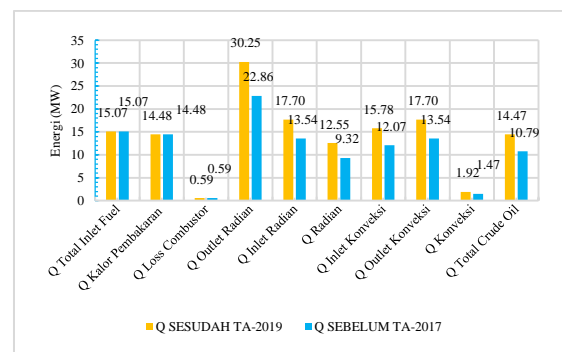
$$Q_{HC} = 33.697,19 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 1,254 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1233,15 \text{ K}$$

$$= 52.121.161,45 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \text{ atau } 14,48 \text{ MW.}$$

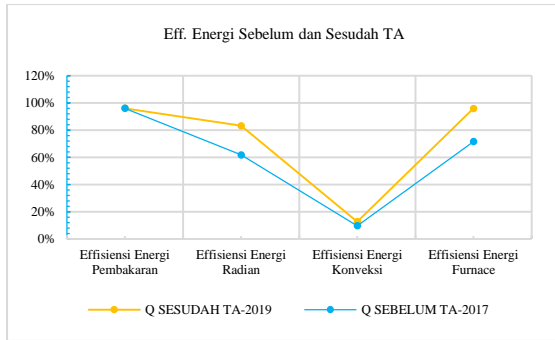
✓ Kalor yang diserap *crude oil*

Sama dengan menggunakan $Q_{c.inKv}$, maka didapatkan $Q_{c.outKv}$, $Q_{c.inRad}$ dan $Q_{c.outRad}$ masing-masing 17,69 MW, 17,69 MW dan 30,25 MW. Sehingga dapat diketahui $Q_{c.Rad} = 12,55$ MW dan $Q_{c.Kv} = 1,92$ MW sehingga total energi yang diserap oleh *crude oil* di *furnace* adalah 14,47 MW paska TA jam 13.00 tanggal 1 Mei 2019.

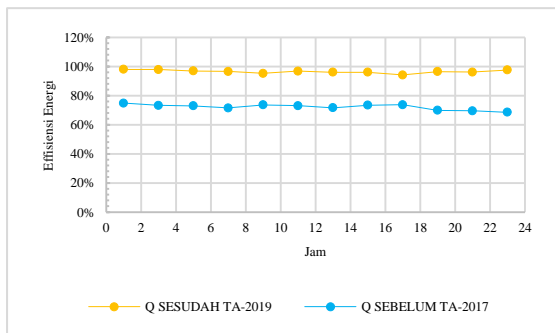
Maka hasil kalkulasi energi di *furnace* paska TA dan sebelum TA dapat di lihat pada gambar 7, gambar 8 dan gambar 9.



Gambar 7. Energi Furnce 101-H-2 Paska TA dan Sebelum TA



Gambar 8. Effisiensi Energi *Furnace* 101-H-2 Paska TA dan Sebelum TA



Gambar 9. Effisiensi Energi *Furnace* 101-H-2 dalam 24 Jam Data Paska TA dan Sebelum TA

5. Simpulan dan Sara

Nilai efisiensi energi keseluruhan *furnace* pada waktu setelah TA sangat stabil diangka 97% sedangkan waktu sebelum TA nilai efisiensi energi cenderung fluktuatif dikisaran 68%-75%. Effisiensi energi pada waktu setelah TA lebih besar dan stabil di bandingkan dengan waktu sebelum TA, dengan arti lain TA mayor yang dilakukan tahun 2017 (*total retubing, castable, restack*) dan TA minor yang dilakukan 2019 (*repair and cleaning*) berhasil meningkatkan efisiensi energi sebesar rata-rata 20%.

Adapun saran yang bisa di berikan penulis untuk kemajuan dan pengembangan penelitian ini adalah agar parameter dan instrumentasi alat ukur di *furnace* 101-H-2 di lengkapi selalu dalam keadaan standar.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Shekarchian M., Zarifi F., Moghavammi M., Motasemi F., Mahlia T.M.I., 2013,

“Energy, Eksergi, Environmental and Economic Analysis of Industrial Fired Heaters based on Heat Recovery and Preheating Techiniques”. NY, USA: Energy Conversion and Management, 71, 51–61.

- [2] Kern, D.Q, 1950. *Process Heat Transfer*. New York: Mc. Graw-Hill Book Company.
- [3] Rosen, M.A., and David, S.S., 2002, *Entropy Production and Exergy Destruction: Part II-Illustrative Technologies*, International Journal of Hydrogen Energy 28 (2003) 1315 – 1323.
- [4] Bejan, Adrian, George Tsatsaronis, and Michael Moran. 1996. *Thermal Design & Optimization*. Canada: John Wiley & Sosn, Inc.
- [5] Mustakim.,1980, *Furnace* PPT. MIGAS, PPT. MIGAS, Cepu.
- [6] Mullinger, Peter., Jenkins, Barrie., 2008. “*Industrial and Process Furnace – Principle, Design and Operation*”, Elsevier.
- [7] Napitupulu, Farel H., 2006, “Pengaruh Nilai Kalor (*Heating Value*) Suatu Bahan Bakar Terhadap Perencanaan Volume Ruang Bakar Ketel Uap Berdasarkan Metode Penentuan Nilai Kalor Bahan.Bakar Yang Diperlukan, Jurnal Teknik Industri Vol. 7, No.1.
- [8] Nelson, W.L., 1969. “*Petroleum Refinery Engineering*”, 4th edition , Mc Graw Hill Book Company, USA.
- [9] Cengel, Y.A., Boles M.A. 2015. *Thermodynamic An Engineering Approach*. New York: Mc Graw-Hill Education.
- [10] Baukal, Charles E., Schwartz, Robert E., Charles E. Jr., 2001. *The John Zink Combustion Handbook*, CRC Press, Boca Raton.
- [11] Coskun, C., Oktay, Z., Ilten, N. 2009. “A new approach for simplifying the calculation of flue gas specific heat and specific exergy value depending on fuel composition” Turkey: Balikesir University.