



BAB IX

URAIAN TUGAS KHUSUS

IX.1 Furnace

Furnace merupakan suatu alat dengan struktur tertutup yang digunakan untuk pemanasan intens dengan api. Tujuan utama furnace yaitu untuk mencapai suhu pemrosesan yang lebih tinggi daripada yang dicapai di udara terbuka. Meskipun beberapa proses dapat dilakukan di udara terbuka, namun kurang efisien, mengonsumsi lebih banyak bahan bakar, dan mempersulit pengoperasian. Furnace dapat digunakan untuk melakukan berbagai reaksi kimia dan, dalam beberapa kasus, proses fisik sederhana seperti pemanasan dan pengeringan. Salah satu tantangan dalam mendesain furnace adalah menentukan langkah-langkah yang dapat menentukan kecepatan kritis dan memastikan bahwa langkah-langkah tersebut diterapkan dengan benar dalam desain. Dengan mencapai hal tersebut, sering kali dimungkinkan untuk membuat furnace yang lebih kecil, lebih baik, dan lebih efisien (Mullinger, 2008).

Furnace yang ada di PPSDM Migas Cepu digunakan sebagai tempat pemanasan minyak mentah (*crude oil*) dari suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$ menjadi $\pm 330^{\circ}\text{C}$ dimana pada temperature tersebut sebagian besar fraksi-fraksi yang dikandung *crude oil* pada tekanan sedikit di atas 1 atm telah berupa uap kecuali residu. Perpindahan panas pada furnace terjadi secara tidak langsung dengan media perantara berupa pipa-pipa yang di dalamnya mengalir fluida yang akan dipanasi, sedangkan sumber panasnya berasal dari pembakaran bahan bakar. Furnace berfungsi sebagai pemanas lanjutan dari minyak mentah (umpan) yang sebelumnya telah mendapat pemanasan awal pada HE. Tujuan pemanasan dalam furnace adalah menguapkan fraksi-fraksi ringan yang terkandung dalam minyak mentah. Bahan bakar yang digunakan terdiri dari fuel oil, fuel gas, dan steam. Adapun dinding furnace terbuat dari bahan ceramic wool.



IX.1.1 Bagian-Bagian Furnace

a. Tube

Dalam *tube* mengalir minyak mentah.

b. Tube support'

Berfungsi untuk menjaga *tube* agar tidak melengkung pada saat operasi akibat adanya panas pembakaran.

c. Stack (cerobong)

Berfungsi untuk mengeluarkan gas-gas panas hasil pembakaran

d. Refractory

Merupakan lapisan yang ada pada dinding bagian bottom yang tujuannya untuk memperkecil panas yang diserap dinding. Lapisan ini memantulkan panas dan terbuat dari bahan ceramic wool.

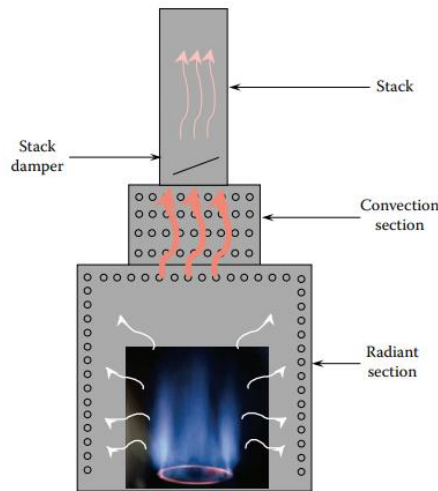
e. Burner

Berfungsi sebagai tempat pembakaran pada dapur dan media yang digunakan adalah fuel oil, fuel gas, dan steam.

f. Lubang intip (peep hole)

Berfungsi untuk mengamati bentuk atau warna api (*flame patern*) dari masing-masing *burner*.

IX.1.2 Proses Pembakaran di Furnace

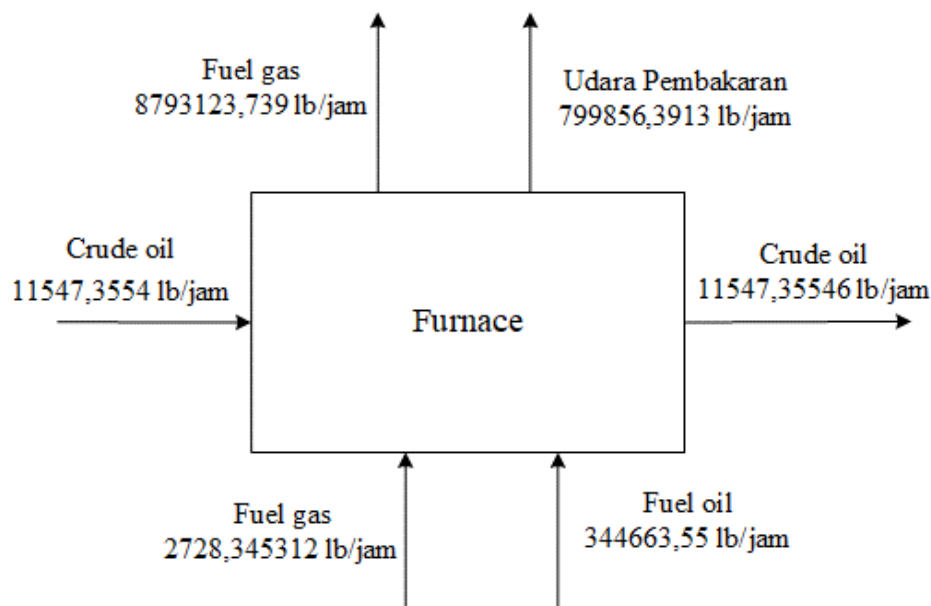


Gambar IX. 1 Proses Pembakaran di *Furnace*

Proses pembakaran di dalam furnace diawali dengan pelepasan panas dengan cara membakar bahan bakar dengan udara (atau oksigen), atau dari energi listrik, dan sebagian panas ini kemudian ditransfer ke produk. Panas yang tersisa akan keluar melalui gas buang dan melalui lubang seperti pintu pengisian daya, atau hilang dari permukaan luar. Panas yang tertanam dalam produk seringkali cukup kecil dibandingkan dengan panas keseluruhan yang disuplai, banyak panas yang hilang dalam gas buang dan produk sampingan atau bahan limbah seperti terak. Pemanas kilang dapat mengalirkan cairan pada suhu setinggi 1500°F (810°C) dan tekanan hingga 1600 psig (110 barg). Mode utama perpindahan panas dalam pemanas proses adalah radiasi, konduksi dan konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi karena panas yang ditransfer dari dinding luar *tube furnace* ke dinding bagian dalam *furnace*. Sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi ketika panas pada dinding bagian dalam *furnace* yang mengalir dan akhirnya dapat memanaskan *crude oil*. Panas yang berlebihan menyebabkan hidrokarbon membentuk kokas di dalam tabung. Kokas semakin memperburuk masalah dengan mengurangi konduktivitas termal melalui lapisan kokas di dalam tabung. Konduktivitas termal yang berkurang mencegah cairan proses menyerap panas

yang cukup untuk mendinginkan tabung, yang mengakibatkan panas berlebih dan kegagalan tabung. Salah satu tantangan utama bagi perancang pemanas adalah mendapatkan distribusi panas yang merata di dalam pembakar untuk mencegah kokas di dalam tabung. Bell dan Lowy memperkirakan bahwa sekitar 70% energi ditransfer ke cairan di bagian radiasi pemanas biasa dan keseimbangan di bagian konveksi (Baukal, 2013).

IX.2 Diagram Alir Furnace-02



Gambar IX. 2 Diagram Alir Furnace

IX.2.1 Spesifikasi *Furnace 02*

Berikut adalah spesifikasi furnace-02 yang ada di unit kilang PPSDM Migas Cepu :

- Fungsi : Pemanas *crude oil*
- Type : Box
- Jumlah : 1 unit
- Kapasitas : 200 m³/hari
- Tinggi : 7,405 m
- Panjang : 6 m
- Lebar : 3,88 m



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



- Jumlah *tube* : 95 buah
- Dimensi *tube* : Diameter = 4 in
Jarak antar *tube* = 250/330 mm
p = 6 m
- Status : Operasi

IX.2.2 Data Kondisi Operasi

IX.2.2.1 Data Kondisi Operasi Furnace-02

Data operasi Furnace-02 diperoleh dari lapangan dengan melakukan pengambilan data pada *control room* selama lima hari pada hari Rabu, 6 November 2024 - Kamis, 14 November 2024. Data tersebut meliputi:

- a. Pengukuran flow rate fluida yang meliputi:
 1. *Flow Rate crude oil (kl/day)*
 2. *Flow Rate fuel oil (kl/day)*
- b. Pengukuran suhu inlet dan outlet yang meliputi:
 1. Suhu *crude oil inlet* (°C)
 2. Suhu *crude oil outlet* (°C)
 3. Suhu *fuel oil inlet* (°C)
 4. Suhu *stack furnace* (°C)
 5. Suhu *wall furnace* (°C)
- c. Pengukuran tekanan inlet dan outlet yang meliputi:
 1. Tekanan *crude oil inlet* (kg/cm²)
 2. Tekanan *crude oil outlet* ((kg/cm²)
 3. Tekanan *fuel oil inlet* (kg/cm²)
 4. Tekanan *fuel gas* di dalam *furnace* (kg/cm²)
- d. Pengukuran sifat fisis minyak yang meliputi
 1. Spesifik gravity *crude oil* (SG 60/60 °F)
 2. Densitas *crude oil* dan *fuel oil* (kg/m³)



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



Tabel IX. 1 Data suhu masuk dan keluar *furnace-02*

No.	Tanggal	Suhu (°C)					
		<i>Crude Oil</i> Masuk	<i>Crude Oil</i> Keluar	<i>Fuel Gas</i> Masuk	Dinding	<i>Fuel Oil</i> Masuk	<i>Stack</i>
1.	06/11/2024	269,2	301,8	66,6	807,2	108	312,1
2.	07/11/2024	270,8	306,7	66,6	764,33	69,4	322,5
3.	08/11/2024	261,5	318,2	66,6	753,07	48,4	309,9
4.	13/11/2024	269,8	314,5	66,6	664,3	60,3	318,8
5.	14/11/2024	271,4	309,3	66,6	734,9	45,5	321,5
Rata-rata		268,54	310,1	66,6	744,76	66,32	316,96

Tabel IX. 2 Data tekanan *furnace-02*

No.	Tanggal	Tekanan (kg/cm ²)			
		<i>P Crude Oil</i> Masuk	<i>P Crude Oil</i> Keluar	<i>P Fuel Oil</i> Masuk	<i>P Fuel Gas</i> Masuk
1.	06/11/2024	2,2	3	4,9	0,01
2.	07/11/2024	2,1	3	4,9	0,01
3.	08/11/2024	2,4	3	4,9	0,01
4.	13/11/2024	2,3	3	4,9	0,01
5.	14/11/2024	2,4	3	4,9	0,01
Rata-rata		2,28	3	4,9	0,01



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



Tabel IX. 3 Data kapasitas masuk *furnace-02*

No.	Tanggal	Kapasitas			
		<i>Crude Oil</i> (m ³ /hari)	<i>Fuel Oil</i> (m ³ /hari)	<i>Crude Oil</i> (m ³ /jam)	<i>Fuel Oil</i> (m ³ /jam)
1.	06/11/2024	145,5	4151,33	6,063	172,986
2.	07/11/2024	130,8	4312	5,450	179,681
3.	08/11/2024	148,1	3936	6,171	164,031
4.	13/11/2024	156	4224,67	6,501	176,042
5.	14/11/2024	164,2	4691	6,842	195,474
Rata-rata		148,92	4263	6,205	177,639

Tabel IX. 4 Data densitas *crude oil* dan *fuel oil*

No.	Tanggal	Densitas	
		<i>Crude Oil</i> (kg/m ³)	<i>Fuel Oil</i> (kg/m ³)
1.	06/11/2024	845,6	880
2.	07/11/2024	838,7	880
3.	08/11/2024	838,7	880
4.	13/11/2024	851,3	880
5.	14/11/2024	845,6	880
Rata-rata		843,98	880



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



1. Spesifikasi *Crude Oil*

- Temperatur masuk *crude oil* : 268,54 °C
- Temperatur keluar *crude oil* : 310,1 °C
- Tekanan masuk *crude oil* : 2,28 kg/cm²
- Tekanan keluar *crude oil* : 3 kg/cm²
- Kapasitas masuk *crude oil* : 148,92 m³/hari
- Densitas : 843,98 kg/m³
- SG 60/60 °F : 0,8447
- °API : $\frac{141,5}{SG\ 60/60°F} - 131,5 = 36,007$

2. Spesifikasi *Fuel Oil*

- Temperatur masuk *fuel oil* : 66,32 °C
- Tekanan masuk *fuel oil* : 4,9 kg/cm²
- Kapasitas masuk *fuel oil* : 66,32 m³/hari
- Densitas : 880 kg/m³
- SG 60/60 °F : 0,8808 °F
- °API : $\frac{141,5}{SG\ 60/60°F} - 131,5 = 29,151$

3. Udara Pembakaran

- Temperatur masuk : 32 °C
- Tekanan masuk : 1 atm

4. Kondisi *Furnace*

- Temperatur dinding *furnace* : 744,76 °C
- Temperatur *stack* : 316,96 °C



IX.3 Perhitungan Furnace-02

A. Neraca Massa

1. Massa masuk *fuel oil*

Laju aliran massa masuk (M_1)

Laju alir volumetric (Q) diperoleh dari data rata-rata kapasitas masuk *fuel oil* selama 5 hari

$$\begin{aligned} M_1 &= \text{Laju alir volumetrik (m}^3/\text{hari)} \times \text{Densitas } \textit{fuel oil} \text{ (kg/m}^3\text{)} \\ &= 4263 \text{ m}^3/\text{hari} \times 880 \text{ kg/m}^3 \\ &= 3751440 \text{ kg/hari} \\ &= 8271925,2 \text{ lb/hari} \\ &= 344663,55 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

2. Massa masuk *crude oil*

Laju alir volumetric (Q) diperoleh dari data rata-rata kapasitas masuk *crude oil* selama 5 hari

$$\begin{aligned} M_2 &= \text{Laju alir volumetrik (m}^3/\text{hari)} \times \text{Densitas } \textit{crude oil} \text{ (kg/m}^3\text{)} \\ &= 148,92 \text{ m}^3/\text{hari} \times 843,98 \text{ kg/m}^3 \\ &= 125685,5016 \text{ kg/hari} \\ &= 277136,531 \text{ lb/hari} \\ &= 11547,3554 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

3. Massa Masuk Fuel Gas

Pemakaian *fuel gas* dapat dihitung menggunakan persamaan Weymouth (*Furnace Operation* hal.122) :

$$Q_s = 443,35 \frac{T_s}{P_s} \times d^{2,667} \times \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{L \times S_g \times T}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

Q_s : *gass flow* (SCF/day)

d : internal diameter (inch)

P_1 : *initial pressure* (psia)

P_2 : *final pressure* (psia)

L : *length of line* (miles)



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



T : absolute temperature of flowing gas ($^{\circ}\text{R}$)

T_s : standart absolute temperature ($^{\circ}\text{R}$)

P_s : standart pressure (psia)

Diketahui :

P (Tekanan fuel gas masuk *furnace*) = 14,8423 psia

R (Konstanta Gas Ideal) = 10,731 psia.cuft/lbmol $^{\circ}\text{R}$

BM (Berat Molekul) = 25,06 lb/lbmol

T (Temperatur Udara Masuk *furnace*) = 611,88 $^{\circ}\text{R}$

T_s (Konstanta Atmosfer) = 492 $^{\circ}\text{R}$

P_1 (Tekanan Absolute) = 14,8423 psia

P_2 (Tekanan Atmosfer) = 14,7 psia

P_s (Tekanan Standart) (*fig.5-27 Nelson*) = 14,7 psia

d (Diameter) = 4 inch

L (Panjang) = 0,0037 mile

Menghitung spesifik gravity

$$P.V = n.R.T \dots\dots\dots(2)$$

$$P.V = \frac{\text{Massa}}{BM} \times R \times T$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{fuel gas}} &= \frac{P \times BM}{R \times T} \\ &= \frac{14,8423 \text{ psia} \times 25,06 \text{ lb/mol}}{10,731 \text{ psia} \cdot \frac{\text{cuft}}{\text{lbmol}} \cdot 611,88 \text{ }^{\circ}\text{R}} \\ &= 0,0566 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{udara}} = 0,0749$$

$$\begin{aligned} SG_{\text{fuel gas}} &= \frac{\rho_{\text{fuel gas}}}{\rho_{\text{udara}}} \\ &= \frac{0,0566 \text{ lb/ft}^3}{0,0749 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 0,7563 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= 443,35 \frac{T_s}{P_s} \times d^{2,667} \times \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{L \times SG \times T}} \\ &= 443,45 \frac{492 \text{ }^{\circ}\text{R}}{14,7 \text{ psia}} (4 \text{ inch})^{2,667} \sqrt{\frac{(14,8423 \text{ psia})^2 - (14,7 \text{ psia})^2}{0,0037 \text{ mile} \times 0,7563 \text{ lb/ft}^3 \times 611,88 \text{ }^{\circ}\text{R}}} \end{aligned}$$



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



$$= 938045,619 \text{ SCF/hari}$$

Diketahui kondisi standar ($T=32^\circ\text{F}$, $P = 1 \text{ atm}$)

$$\text{Setiap } 1 \text{ lb mol gas} = 359 \text{ cuft}$$

$$Q_s \text{ dalam berat} = 65480,2875 \text{ lb/hari}$$

$$= 2728,345312 \text{ lb/jam}$$

4. Massa Udara Pembakaran

Tabel IX. 5 Data Komposisi Udara Sekitar

Komponen	BM	Komposisi
CO ₂	44	10,25
O ₂	32	7,26
N ₂	28	82,49

Sumber : Analisis osrat, Nelson hal. 429 Edisi 7

Kandungan C dalam *fuel oil* = 0,8, sehingga kandungan H :

$$\begin{aligned} H &= 1 - C \\ &= 1 - 0,8 \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

Dalam 1 kg *fuel oil* terdapat 0,8 C dan 0,2 H

Menentukan massa dan mol masing-masing komponen

$$\begin{aligned} mC &= M_i \times C \\ &= 8271925,2 \text{ lb/hari} \times 0,8 \\ &= 6617540,16 \text{ lb/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} nC &= \frac{mC}{BM} \\ &= \frac{6617540,16 \text{ lb/hari}}{12} \\ &= 551461,68 \text{ mol/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} mH &= M_i - mC \\ &= 8271925,2 \text{ lb/hari} - 6617540,16 \text{ lb/hari} \\ &= 1654385,04 \text{ lb/hari} \end{aligned}$$



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



$$nH = \frac{mH}{BM}$$
$$= \frac{1654385,04 \text{ lb/hari}}{1}$$

$$= 1654385,04 \text{ mol/hari}$$

Menghitung N₂ dan O₂ yang masuk

Karbon yang ada pada fuel gas hanya CO₂, maka diasumsikan

$$\%C = \%CO_2$$

$$nN_2 = \frac{nC \times \%N_2}{\%CO_2}$$
$$= \frac{551461,68 \frac{\text{mol}}{\text{hari}} \times 0,8249}{0,1025}$$
$$= 4438055,998 \text{ mol/hari}$$

$$nO_2 = \frac{nC \times \%O_2}{\%CO_2}$$
$$= \frac{551461,68 \frac{\text{mol}}{\text{hari}} \times 0,8249}{0,1025}$$
$$= 390596,2729 \text{ mol/hari}$$

Menghitung kelebihan udara pembakaran

Dalam udara bebas perbandingan mol N₂ : O₂ = 79 : 21, sehingga kelebihan O₂ yang masuk

$$O_2 \text{ Berlebih} = \frac{21 \times nN_2}{79} + nO_2$$
$$= \frac{21 \times 4438055,998 \text{ mol/hari}}{79} + 390596,2729$$
$$= 1570332,677 \text{ mol/hari}$$

$$O_2 \text{ pembakaran} = \frac{nO_2 \times \%CO_2}{\%O_2}$$
$$= \frac{390596,2729 \frac{\text{mol}}{\text{hari}} \times 0,1025}{0,0726}$$
$$= 551461,68 \text{ mol/hari}$$

$$H_2O \text{ terbentuk} = 0,5 \times nH$$
$$= 0,5 \times 1654385,04 \text{ mol/hari}$$
$$= 827192,52 \text{ mol/hari}$$



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



$$\begin{aligned}\Sigma O_2 &= O_2 \text{ pembakaran} + H_2O \text{ terbentuk} \\ &= 551461,68 \text{ mol/hari} + 827192,52 \text{ mol/hari} \\ &= 1378654,2 \text{ mol/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Excess Air} &= \frac{O_2 \text{ berlebih} - \Sigma O_2 \text{ pembakaran}}{\Sigma O_2 \text{ pembakaran}} \times 100\% \\ &= \frac{1570332,677 \text{ mol/hari} - 551461,68 \text{ mol/hari}}{551461,68 \text{ mol/hari}} \times 100\% \\ &= 0,139033035 \\ &= 13,90\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma \text{ udara berlebih} &= \frac{100 \times n N_2}{79} \\ &= \frac{100 \times 4438055,998 \text{ mol/hari}}{79} \\ &= 5617792,403 \text{ mol/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma \text{ udara pembakaran} &= \Sigma \text{ udara berlebih} + (\text{excess air} \times \Sigma \text{ udara berlebih}) \\ &= 5617792,403 \text{ mol/hari} + (0,139033035 \times 5617792,403 \text{ mol/hari}) \\ &= 6398851,13 \text{ mol/hari}\end{aligned}$$

$$\text{BM rata-rata fuel gas} = 30 \text{ lb/mol}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa udara pembakaran} &= \text{BM} \times \Sigma \text{ udara pembakaran} \\ &= 30 \text{ lb/mol} \times 6398851,13 \text{ mol/hari} \\ &= 191965533,9 \text{ lb/hari} \\ &= 7998563,913 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

Berdasarkan operasi *furnace* udara untuk atomizing adalah 10% dari kebutuhan udara pembakaran.

$$\begin{aligned}\text{kebutuhan udara pembakaran} &= \text{Massa udara pembakaran} \\ &= 7998563,913 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{kebutuhan udara atomizing} &= 10\% \times \text{kebutuhan udara pembakaran} \\ &= 10\% \times 7998563,913 \text{ lb/jam} \\ &= 799856,3913 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

5. Massa Keluar Crude Oil



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



Di dalam *furnace* tidak terjadi perubahan massa pada *crude oil*. Maka massa keluar *crude oil* = massa masuk *crude oil*, yaitu sebesar 11547,35546 lb/jam.

6. Massa Keluar Fuel Gas

$$\begin{aligned}\Sigma \text{ mol gas} &= nC + nH + nN_2 + nO_2 \\ &= 551461,68 + 1654385,04 + 4438055,998 + 390596,2729 \\ &= 7034498,991 \text{ mol/hari} \\ &= 293104,1246 \text{ mol/jam} \\ \Sigma \text{ massa gas} &= \Sigma \text{ mol gas} \times 30 \text{ lb/mol} \\ &= 293104,1246 \text{ mol/jam} \times 39 \text{ lb/mol} \\ &= 8793123,739 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

Tabel IX. 6 Neraca Massa *Furnace 02*

Komponen	Masuk (lb/jam)	Keluar (lb/jam)
<i>Crude oil</i>	11547,3554 lb/jam	11547,35546 lb/jam
<i>Fuel oil</i>	344663,55 lb/jam	-
<i>Fuel gas</i>	2728,345312 lb/jam	8793123,739 lb/jam
Udara pembakaran	-	799856,3913 lb/jam
Total	358939,2508 lb/jam	9604527,486 lb/jam



B. Neraca Panas

1. Thermal Balance Furnace 02

Berdasarkan tabel 5-1 Nelson Hal.172. Titik didih untuk residu yang digunakan sebagai *fuel oil* sebesar 300-800°F dengan koreksi suhu 53-72°F.

Diasumsikan :

$$TD = 800^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Koreksi} = 72^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Didapatkan TD residu} = 800^{\circ}\text{F} - 72^{\circ}\text{F} = 728^{\circ}\text{F}$$

$$\begin{aligned} K\text{-UOP} &= \frac{\sqrt[3]{\text{titik didih}}}{SG_{60}^{60}} \\ &= \frac{\sqrt[3]{728^{\circ}\text{F}}}{0,8808} = 10,2133 \end{aligned}$$

Berdasarkan fig 5-22 Nelson, Hal.200 diperoleh nilai *GHV fuel oil*

$$GHV = 18610 \text{ BTU/lb}$$

Menghitung Panas Laten Penguapan *Fuel Oil* Masuk *Furnace* (Q_1)

$$\begin{aligned} Q_1 &= M_1 \times GHV \text{ fuel oil} \\ &= 344663,55 \text{ lb/jam} \times 18610 \text{ BTU/lb} \\ &= 6414188666 \text{ BTU/jam} \end{aligned}$$

Menghitung Panas *Sensible Fuel Oil* (Q_2)

$$K\text{-UOP} = 10,2133$$

$$^{\circ}\text{API} = 29,151$$

Didapatkan nilai *correction factor* dari fig 5-1 nelson = 0,92

$$CP \text{ fuel oil } 77^{\circ}\text{F} = 0,435 \text{ BTU/lb } ^{\circ}\text{F}$$

$$CP \text{ fuel oil } 151,376^{\circ}\text{F} = 0,49 \text{ BTU/lb } ^{\circ}\text{F}$$

$$\begin{aligned} CP \text{ rata-rata} &= \frac{0,435 + 0,49}{2} \\ &= 0,4625 \text{ BTU/lb } ^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CP \text{ sesungguhnya} &= CP \text{ Rata-rata} \times \text{correction factor} \\ &= 0,4625 \text{ BTU/lb } ^{\circ}\text{F} \times 0,92 \\ &= 0,4225 \text{ BTU/lb } ^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



Q_2

$$\begin{aligned}
 &= M_1 \times cP \text{ sesungguhnya} \times \Delta T \\
 &= 344663,55 \text{ lb/jam} \times 0,4225 \text{ BTU/lb} \\
 &\quad ^\circ\text{F} \times (151,376-77) ^\circ\text{F} \\
 &= 10907563,23 \text{ BTU/hari} \\
 &= 454481,8013 \text{ BTU/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel IX. 7 *Fuel gas LPG*

Komponen	A	B	C	D	E	F
	BM	%mol	mol fraksi	$D = A \times C$ lb/mol	LHV Btu/cuft	$F = C \times E$
CO ₂	44	25,29	0,2529	11,13	0	0
O ₂	32	-	-	-	-	-
N ₂	28	0,25	0,0025	0,07	0	0
CH ₄	16	67,75	0,6775	10,84	913	618,5575
C ₂ H ₆	30	3,05	0,0305	0,92	1641	50,0505
C ₃ H ₈	44	1,73	0,0173	0,76	2385	41,2605
i-C ₄ H ₁₀	58	0,39	0,0039	0,226	3105	12,11
n-C ₄ H ₁₀	58	0,53	0,0053	0,307	3113	16,4989
i-C ₅ H ₁₂	72	0,22	0,0022	0,158	3716	8,1752
n-C ₅ H ₁₂	72	0,18	0,0018	0,13	3709	6,6762
C ₆ H ₁₄	86	0,61	0,0061	0,525	4412	26,9132
Total	-	100	1	25,06	-	780,2415



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



LHV tiap komponen dapat dilihat pada tabel 9.18 (Perry H)

ΣF adalah LHV bahan bakar gas (*fuel gas*) = 780,2415

ΣD adalah BM rata-rata *fuel gas* = 25,06

Temperatur *fuel gas* masuk dapur = 66,6°C = 151,88°F

Tekanan *fuel gas* masuk dapur = 0,05 kg/cm² = 0,00968 atm

Tekanan *absolute* = 14,8423 psia

Mencari jumlah *fuel gas* yang digunakan

Kebutuhan *fuel gas* pada tekanan 1 atm dan temperatur 32°C adalah :

Diketahui :

P_o = 1 atm

T_o = 32°C

V_o = 938045,619 SCF/hari

P_1 = 14,8423 psia

T_1 = 611,88°R

Persamaan $P.V = n.R.T$

Karena n dan R konstan, maka persamaan menjadi:

$$\frac{P_o \times V_o}{T_o} = \frac{P_1 \times V_1}{T_1}$$

Sehingga,
$$V_1 = \frac{P_o \times V_o \times T_1}{P_1 \times T_o}$$

$$V_1 = \frac{1 \text{ atm} \times 938045,619 \text{ SCF/hari} \times 611,88^\circ\text{R}}{14,8423 \text{ psia} \times 32^\circ\text{C}}$$

$$V_1 = 1208479,119 \text{ cuft/jam}$$

Menghitung panas pembakaran *fuel gas* (Q_1) ΣF adalah

LHV bahan bakar (*fuel gas*)

Sehingga, Q_3 = kebutuhan *fuel gas* (V_1) x LHV

$$= 1208479,119 \text{ cuft/jam} \times 780,2415 \text{ Btu/cuft}$$

$$= 942905560,4 \text{ Btu/jam}$$

Menghitung panas *sensible fuel gas* (Q_4)

Temperatur *fuel gas* masuk *furnace* = 66,6°C = 151,88°F

Temperatur basis = 32°F



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



$$\Delta T = 119,88^{\circ}\text{F}$$

$$W_s \text{ dalam berat} = 2728,345312 \text{ lb/jam}$$

Tabel IX. 8 Perhitungan Panas Sensibel *fuel gas*

Komponen	A	B	C	D	E
	%mol	Fraksi mol	$W_s \text{ dalam berat} \times$ A	CP (BTU/lb F)	$C \times D \times$ deltaT
CO ₂	25,29	0,2529	68999,85295	0,2015	1741193,349
N ₂	0,25	0,0025	682,0863281	0,2483	20303,12079
CH ₄	67,75	0,6775	184845,3949	0,5318	11784297,63
C ₂ H ₆	3,05	0,0305	8321,453203	0,4183	417285,9613
C ₃ H ₈	1,73	0,0173	4720,03739	0,3982	225316,7244
i-C ₄ H ₁₀	0,39	0,0039	1064,054672	0,3979	50755,67599
n-C ₄ H ₁₀	0,53	0,0053	1446,023016	0,4004	69409,03534
i-C ₅ H ₁₂	0,22	0,0022	600,2359687	0,3972	28581,03757
n-C ₅ H ₁₂	0,18	0,0018	491,1021562	0,398	23431,58394
C ₆ H ₁₄	0,61	0,0061	1664,290641	0,3966	79127,71324
Total	100	1	272834,5312	3,7972	14439701,83

Maka panas *sensible fuel gas* (Q_4) = 14439701,83 Btu/jam

2. Panas Udara Pembakaran (Q_5)

Menghitung udara pembakaran (Q_5)

Diketahui :

$$\text{Massa udara pembakaran} = 7998563,913 \text{ lb/jam}$$

$$C_p \text{ udara (Fig.3 Kern 1965) suhu } 60^{\circ}\text{F sebesar } 0,25 = 0,25 \text{ Btu/lbF}$$

$$\begin{aligned} Q_5 &= \text{massa udara pembakaran} \times C_p \times \Delta T \\ &= 7998563,913 \text{ lb/jam} \times 0,25 \text{ Btu/lbF} \times (57,6) \\ &= 115179320,3 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



Panas Udara *Automizing* (Q_6)

Diketahui :

Jumlah kebutuhan udara *automizing* = 7998563,913 lb/jam

$$\begin{aligned} Q_6 &= \text{kebutuhan udara automizing} \times C_p \text{ udara} \times \Delta T \\ &= 7998563,913 \text{ lb/jam} \times 0,25 \text{ Btu/lbF} \times (57,6) \\ &= 11517932,03 \text{ Btu/lbF} \end{aligned}$$

3. Panas Sensible Crude Oil (Q_7)

Diketahui :

Massa *crude oil* masuk = 11547,35546 lb/jam

Berdasarkan fig. 5-1 Nelson TD residu yang digunakan sebagai *fuel oil* adalah 400-700°F dengan koreksi suhu 104-128°F.

Asumsi : TD = 700°F

Koreksi = 128°F

TD residu = 572°F

$$\begin{aligned} \text{Menghitung K-UOP} &= \frac{\sqrt[3]{\text{titik didih residu}}}{SG \frac{60}{60} F} \\ &= \frac{\sqrt[3]{572^\circ F}}{0,8447} \\ &= 9,8272 \end{aligned}$$

K-UOP = 10; API = 36,007 ; T crude oil masuk = 515,372°F,

Berdasarkan fig 5-1 Nelson 1985, Hal.169

CP pada 515,372°F = 0,72 BTU/lbF

CP pada 77°F = 0,435 BTU/lbF

CP rata-rata = 0,5775 BTU/lbF

Menghitung *correction factor* K-UOP berdasarkan fig. 5-1 Nelson 198

Correction factor = 0,89

Kemudian mencari *Heat content* crude oil masuk pada 515,372°F berdasarkan fig. 5-3 hal.170 Nelson

Heat content crude oil masuk = 320 BTU/lb

Heat content crude oil sebenarnya



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



$= \text{Heat content crude oil masuk} \times \text{Correction factor}$

$= 284,8 \text{ BTU/lb}$

$Q_7 = \text{Massa crude oil masuk} \times \text{heat content sebenarnya}$

$= 11547,35546 \text{ lb/jam} \times 284,8 \text{ BTU/lb} = 3288686,835 \text{ BTU/jam}$

4. Panas Crude Oil Keluar (Q_8)

Diketahui :

Massa *crude oil* keluar $= 11547,35546 \text{ lb/jam}$

Temperatur *crude oil* keluar $= 590,18^\circ\text{F}$

Dengan K-UOP = 10 didapatkan dari fig 5-1 Nelson

Correction factor $= 0,89$

Kemudian mencari *Heat content* *crude oil* keluar pada $590,18^\circ\text{F}$ berdasarkan fig. 5-3 hal.170 Nelson

Heat content crude oil keluar $= 370 \text{ BTU/lb}$

Heat content crude oil sebenarnya $= 329,3 \text{ BTU/lb}$

$Q_8 = \text{Massa crude oil keluar} \times \text{heat content sebenarnya}$

$= 11547,35546 \text{ lb/jam} \times 329,3 \text{ BTU/lb}$

$= 3802544,153 \text{ BTU/jam}$

5. Panas Udara Terbuang (Fuel Gas) (Q_9)

Diketahui :

$\Sigma n \text{ gas} = 293104,1246 \text{ lbmol/jam}$

$\Sigma \text{ massa gas} = 8793123,739 \text{ lb/jam}$

dari fig.14.1 Nelson, Hal.421

CP udara keluar *stack* $= 4100 \text{ BTU/lb}$

$Q_9 = \Sigma n \text{ gas} \times \text{CP udara keluar stack}$

$= 293104,1246 \text{ lbmol/jam} \times 4100 \text{ BTU/lb}$

$= 1201726911 \text{ BTU/jam}$



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



6. Panas Terbuang Lewat Dinding (Q_{10})

$$\begin{aligned}\text{Panas masuk } furnace &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 \\ &= (6414188666 + 454481,8013 + 942905560,4 \\ &\quad + 14439701,83 + 11517932030,2 + 11517932, \\ &\quad 03 + 3288686,835) \text{ BTU/jam} \\ &= 7501974349 \text{ BTU/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{10} &= 2\% \times 7501974349 \text{ BTU/jam} \\ &= 0,02 \times 7501974349 \text{ BTU/jam} \\ &= 150039487 \text{ BTU/jam}\end{aligned}$$

Tabel IX. 9 Neraca Panas *Furnace 02*

Panas masuk (Btu/jam)		Panas keluar (Btu/jam)	
Panas laten <i>fuel oil</i> (Q_1)	6414188666	Panas <i>crude oil</i> keluar (Q_8)	3802544,153
Panas <i>sensible fuel oil</i> (Q_2)	454481,8013	Panas udara terbuang <i>fuel gas</i> (Q_9)	1201726911
Panas pembakaran <i>fuel gas</i> (Q_3)	942905560,4	Panas yang diserap dinding (Q_{10})	150039487
Panas <i>sensible fuel gas</i> (Q_4)	14439701,83		
Panas udara pembakaran (Q_5)	115179320,3		
Panas udara pembakaran <i>atomizing</i> (Q_6)	11517932,03		
Panas <i>sensible crude oil</i> masuk (Q_7)	3288686,835		
Total	7501974349		1355568942



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



C. Menghitung Efisiensi Furnace 02

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi furnace} &= \frac{\text{total panas masuk} - \text{total panas keluar}}{\text{total panas masuk}} \times 100\% \\ &= \frac{7501974349 - 1355568942}{7501974349} \times 100\% \\ &= 0,8193 \times 100\% \\ &= 81,93\%\end{aligned}$$



IX.4 Pembahasan

Pada proses pengolahan minyak bumi diperlukan proses pemanasan awal terlebih dahulu dalam *furnace* untuk memudahkan proses pemisahan dalam kolom fraksinasi. Bahan bakar yang digunakan *furnace* untuk memanaskan *crude oil* berasal dari *fuel gas* dan *fuel oil*. Tujuan pemanasan pada *furnace* adalah untuk menyesuaikan kondisi operasi pada proses pengolahan selanjutnya yaitu pada suhu sekitar 310°C.

Cara kerja *furnace* adalah dengan perpindahan secara radiasi akibat adanya energi panas yang diperoleh dari hasil pembakaran pada *burner*, kemudian diterima secara langsung oleh dinding luar *furnace* tanpa media pengantar. Perpindahan panas secara konduksi terjadi karena panas yang ditransfer dari dinding luar *tube furnace* ke dinding bagian dalam *furnace*. Sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi ketika panas pada dinding bagian dalam *furnace* yang mengalir dan akhirnya dapat memanaskan *crude oil*. Adanya sistem perpindahan panas pada *furnace* dapat digunakan untuk menghitung efisiensi kinerja dari *furnace* sebagai indikasi kelayakan dan acuan untuk proses *maintenance furnace* tersebut.

Furnace dapat dikatakan beroperasi dengan efisien, apabila sistem nyala api *burner* berjalan dengan baik, reaksi pembakaran berlangsung sempurna, panas pembakaran *fuel oil* dan *fuel gas* tersalurkan dengan baik pada *liquida* yang dipanaskan, permukaan *tube furnace* bersih, serta dapat memperkecil panas yang hilang melalui *stack* maupun dinding *furnace*. *Furnace* yang telah beroperasi lama tentu dapat mengalami penurunan efisiensi. Berbagai faktor tersebut dapat disebabkan oleh timbulnya kerak, korosi, adanya kebocoran, ketidaksempurnaan pembakaran, maupun jumlah panas yang terbuang melalui dinding alat atau gas buang.

Pada tanggal 06 November sampai 08 November dan 13 November sampai 14 November 2024 telah diambil sebanyak 5 data operasi pada *furnace-02*. Berdasarkan perhitungan diperoleh rata-rata kapasitas *crude oil* sebesar 148,92 m³/hari dan rata-rata kapasitas *fuel oil* sebesar 4263 m³/hari. Selain itu, dari



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



perhitungan yang dilakukan juga diperoleh efisiensi pada *furnace-02* yaitu sebesar 81,9305%. Menurut W.Trinks dan M.H. Mawhinney efisiensi furnace yang masih layak digunakan berada pada rentang 60-90%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *furnace-02* masih layak untuk digunakan. Hal ini disebabkan oleh pemeliharaan berkala yang dilakukan pada *furnace*, serta tingkat excess air yang rendah, yaitu 13,9%, sehingga panas yang terbuang melalui *fuel gas* dapat diminimalisir.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk menjaga kinerja *furnace* tetap efisien yaitu :

- a. Mengurangi Jumlah Excess Air yang Masuk dalam Furnace

Hal ini dikarenakan semakin banyak *excess air* yang masuk maka panas yang dikeluarkan atau yang terbuang melalui cerobong semakin besar, sehingga efisiensi *furnace* akan mengalami penurunan. Menurut Nelson (1985) excess air yang disyaratkan adalah antara 10-25%.

- b. Melakukan Perawatan Secara Berkala

Tindakan ini penting untuk mencegah kebocoran yang dapat menyebabkan hilangnya panas ke lingkungan menjadi signifikan. Setiap tahun, unit kilang di PPSDM Migas melakukan *shutdown* untuk melakukan pemeriksaan alat rutin. Pada saat ini, pembersihan *tube furnace* dari kerak dilakukan untuk memastikan bahwa panas yang diserap oleh *crude oil* menjadi optimal.

- c. Menjaga Suhu Keluaran Furnace Tidak Lebih dari 350oC

Pembersihan ini sangat penting untuk mencegah pembentukan kerak pada *tube*. Ketika *crude oil* dipanaskan hingga suhu di atas 350°C, kemungkinan terjadinya *cracking* meningkat. *Cracking* harus dihindari karena dapat menyebabkan pembentukan kerak pada *tube*. Kerak yang terbentuk dapat mengganggu perpindahan panas yang merata, menyebabkan ketidaksempurnaan dalam proses pemanasan *crude oil*. Selain itu, kerak juga dapat menyebabkan *hot spot*, yaitu titik pemanasan yang berlebihan pada *tube*. Jika *hot spot* tidak diatasi, dapat mengakibatkan pecahnya *tube*. Oleh karena



PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM) CEPU



itu, pembersihan secara berkala sangat penting untuk menjaga kinerja optimal dari tube furnace dan mencegah kerusakan yang tidak diinginkan (Trambouze, 2002).

d. Menjaga Kapasitas Crude Oil Masuk

Penting untuk memastikan bahwa jumlah *crude oil* yang dimasukkan ke dalam *furnace* sesuai dengan kapasitas yang telah direncanakan dalam spesifikasi desainnya. Jika jumlah *crude oil* yang masuk kurang dari yang seharusnya, hal ini dapat mengakibatkan distribusi panas yang tidak merata di dalam *furnace*. Situasi ini juga berpotensi berbahaya karena dapat meningkatkan risiko pecahnya *tube furnace* akibat tekanan yang tidak seimbang pada *tube*. Oleh karena itu, menjaga agar jumlah *crude oil* yang dimasukkan sesuai dengan spesifikasi desain merupakan hal yang krusial untuk memastikan operasi *furnace* berjalan dengan aman dan efisien.

e. Menjaga Suhu Keluaran Fuel Gas

Ketika suhu *fuel gas* meningkat, hal itu akan menyebabkan peningkatan dalam jumlah panas yang hilang melalui *fuel gas*, yang pada akhirnya akan mengurangi efisiensi *furnace*. Oleh karena itu, mengontrol suhu *fuel gas* agar tetap dalam kisaran yang diinginkan dapat membantu menjaga efisiensi keseluruhan dari *furnace*.