

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

II.1 Prinsip Dasar Distilasi Atmosferis

Proses pengolahan minyak bumi di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi menggunakan unit Distilasi Atmosferis. Unit Distilasi Atmosferis merupakan suatu unit yang melaksanakan seluruh rangkaian kegiatan pemisahan minyak mentah (*Crude Oil*) menjadi produk-produk minyak bumi berdasarkan perbedaan titik didih (*Boilling Range*) komponen pada tekanan 1 atm yang berlangsung melalui proses pemanasan untuk penguapan dan pendinginan untuk pengembunan. Bertujuan untuk memisahkan fraksi-fraksi yang ada pada *Crude Oil* menjadi produk-produk yang dikehendaki pada tekanan atmosfer (Geankoplis, J.C. 2003)

II.1.1 Peralatan Utama di Unit Kilang

Peralatan utama unit distilasi untuk dapat terlaksananya proses pengolahan, maka dibutuhkan peralatan pokok antara lain:

1. Pompa

Pompa berfungsi untuk mengalirkan cairan dari suatu tempat ke tempat lain. Pada unit kilang PPSDM pompa yang digunakan adalah pompa *reciprocating* (torak) dengan penggerak steam, pompa sentrifugal dengan penggerak listrik dan pompa screw dengan penggerak motor listrik. Penggunaan pompa menurut fungsinya adalah sebagai berikut :

- a) Pompa Feed (umpan) : digunakan untuk memompa *feed* (umpan) dari tangki *feed* ke proses.
- b) Pompa *Reflux* : digunakan untuk memompa dari tangki naphta ke kolom C-1 dan C-2.
- c) Pompa *Fuel Oil* : digunakan untuk memompa bahan bakar (*fuel oil*) dari tangki *fuel oil* ke *furnance* dan boiler.
- d) Pompa Distribusi : digunakan untuk memompa produk dari tangki produk ke tangki depot dan mobil tangka.

2. Alat Penukar Panas (*Heat Exchanger*)

Merupakan alat untuk memanaskan *crude oil* dengan memanfaatkan panas produk kilang. *Heat Exchanger* berfungsi sebagai pemanas awal (*Preheater*) *crude oil* untuk tujuan efisiensi panas. *Heat Exchanger* yang digunakan adalah jenis *Shell and Tube Heat Exchanger*. *Crude Oil* dilewatkan pada *shell* dan produk panas dalam *tube*. Jumlah *Heat Exchanger* yang dioperasikan ada lima unit, dua *Heat Exchanger* memanfaatkan panas produk residu, satu HE memanfaatkan panas produk naphta, dan dua *Heat Exchanger* memanfaatkan panas produk solar, sehingga temperature *crude oil* naik dari kurang lebih 33 °C. menjadi kurang lebih 120 °C.

3. *Stabilizer*

Setelah keluar dari *Heat Exchanger* (HE), produk yang bersuhu 120 °C masuk kedalam *stabilizer* yang terdapat setelah keluar dari *Heat Exchanger* yang berjumlah 1 buah. *Stabilizer* ini berfungsi agar aliran produk yang telah keluar dari *Heat Exchanger* stabil untuk masuk ke dalam furnace.

4. Dapur Pemanas / *Furnance*

Berfungsi untuk memanaskan *crude oil* dari kurang lebih 120 °C. menjadi kurang lebih 330 °C. Pada temperature tersebut sebagian besar fraksi- fraksi pada *crude oil* pada tekanan sedikit diatas 1 atm telah menguap kecuali residu.

5. Evaporator

Berfungsi untuk memisahkan antara uap dan cairan (residu) dari *crude oil* yang sudah dipanaskan dari furnace. Produk dari furnace dengan suhu 330°C masuk ke dalam evaporator. Sehingga di dalam evaporator uap dan cairan residu produk dapat terpisahkan. Terdapat 1 unit evaporator dalam proses ini.

6. Kolom Fraksinasi

Berfungsi memisahkan masing-masing fraksi yang dikehendaki sesuai trayek didihnya. Jumlah kolom fraksinasi ada tiga unit, dua unit dioperasikan dan satu unit idle, sebagai alat kontak uap-cairan kolom fraksinasi dilengkapi *bubble cup tray*.

7. Kolom *Stripper*

Berfungsi untuk menguapkan kembali fraksi ringan yang ikut pada suatu produk. Ada dua *stripper* yang dioperasikan yaitu : satu unit unuk *stripper* solar

dan satu unit untuk *stripper* residu.

8. Kondensor

Berfungsi untuk mengubah fase produk uap solvent ringan (pertasol CA) dari puncak kolom C-2 menjadi fase cair. Terdapat 12 unit *condenser* yang dioperasikan, empat unit *condenser* sebagai partial condenser dan delapan unit *condenser* sebagai total *condenser*.

9. Cooler

Berfungsi untuk mendinginkan fluida panas menjadi fluida dingin sesuai suhuyang dikehendaki. Ada 14 cooler tipe shell and tube dan enam box cooler.

10. Separator

Berfungsi untuk memisahkan air, minyak dan gas dalam produk. Ada 9 separator yang dioperasikan.

11. Tangki

Berfungsi untuk menampung ata menyimpan crude oil dan produk – produknya. Ada beberapa tangki yang dioperasikan dan tiap-tiap dari tangki tersebut memiliki warna yang berbeda-beda tergantung dari jenis zat di dalam tangki tersebut (PPSDM Migas, 2021)

II.2 Uraian Tugas Khusus

II.2.1 Furnace

Menurut (Geankoplis, J.C. 2003) menyatakan proses pengolahan minyak bumi di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi menggunakan unit Distilasi Atmosferis. Unit Distilasi Atmosferis merupakan suatu unit yang melaksanakan seluruh rangkaian kegiatan pemisahan minyak mentah (*Crude Oil*) menjadi produk-produk minyak bumi berdasarkan perbedaan titik didih (*Boilling Range*) komponen pada tekanan 1 atm yang berlangsung melalui proses pemanasan untuk penguapan dan pendinginan untuk pengembunan. Bertujuan untuk memisahkan fraksi-fraksi yang ada pada *Crude Oil* menjadi produk-produk yang dikehendaki pada

tekanan atmosfer

Furnace adalah suatu ruangan yang digunakan sebagai tempat pembakaran yang dilengkapi alat-alat pembakaran, seperti *burner* atau *stoker*. *Burner* adalah perlengkapan yang digunakan untuk melangsungkan pembakaran bahan bakar berupa gas dan cair, sedangkan yang digunakan sebagai bahan bakar padat disebut *stoker*. *Furnace* terdiri dari daerah radiasi dan daerah konveksi.,

II.2.1.1 Perpindahan Panas pada Furnace

Perpindahan panas terjadi karena perbedaan suhu dimana mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah. Perpindahan energi dalam bentuk panas dapat terjadi pada banyak proses kimia. Perpindahan panas sering terjadi dalam kombinasi beberapa unit operasi seperti pada proses evaporasi, pengeringan, distilasi alkohol, pembakaran bahan bakar, dll. Panas dapat berpindah melalui radiasi, konveksi dan konduksi. Media yang digunakan dalam perpindahan panas bisa berupa zat padat, cair maupun udara (gas).
Persamaan neraca energi umum :

$$\begin{array}{ccccccc} (laju\ panas) & (laju\ generasi) & (laju\ panas) & (laju\ akumulasi) \\ | masuk & | + | & panas & | = | & keluar & | + | & panas & | \\ (&) & (&) & (&) & (&) \end{array}$$

a. Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah, dengan media penghantar panas tetap. Panas dapat dikonduksi melewati padatan, cairan dan gas. Panas dipindahkan oleh transfer energi gerak antara molekul-molekul yang berdekatan.

. Contoh perpindahan panas yang lain disebabkan oleh konduksi adalah perpindahan panas melewati dinding *exchanger*, perlakuan panas baja tempa, pembekuan tanah selama musim dingin, dan sebagainya. Setiap benda

mempunyai konduktivitas termal (kemampuan mengalirkan panas) tertentu yang akan mempengaruhi panas yang dihantarkan dari sisi yang panas ke sisi yang lebih dingin. Semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu benda, semakin cepat ia mengalirkan panas yang diterima dari satu sisi ke sisi yang lain.

Contoh perpindahan panas secara konduksi adalah terjadi karena adanya transfer panas dari dinding luar *tube furnace* ke dinding bagian dalam *tube* tersebut. Perpindahan panas secara konduksi mengikuti persamaan pada Hukum Fourier untuk konduksi panas dalam cairan atau padatan :

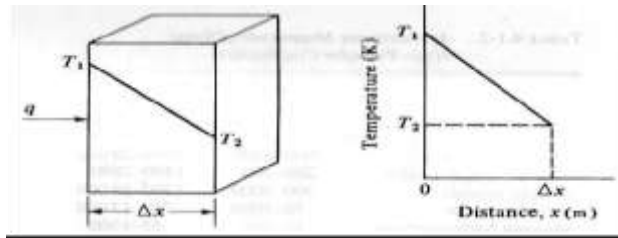
$$\frac{q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx}$$

Dimana q_x adalah laju perpindahan panas pada arah x dalam *watts* (W), A adalah luas penampang normal terhadap arah aliran panas dalam m^2 , T adalah suhu dalam K, x adalah jarak dalam m, dan k adalah konduktivitas termal dalam W/m.K dimana dalam satuan SI. Kuantitas q_x/A disebut fluks panas dalam W/m^2 , kuantitas dT/dx adalah gradient suhu dalam arah x . Tanda minus diperlukan karena jika aliran panas tersebut positif dalam arah yg diberikan, maka suhu menurun ke arah ini.

Jika dibicarakan secara tepat, maka hanya konduksi dan radiasi dapat di golongkan sebagai proses perpindahan panas, karena hanya kedua mekanisme ini yang untuk terselenggaranya tergantung semata-mata pada bedasuhu Yang disebut terakhir dari ketiga cara itu , yaitu konveksi, tidak secara tepat memenuhi definisi perpindahan panas, karena untuk penyelenggaraanya tergantung pada transport massa mekanik pula.

Konduksi melalui dinding datar :

Perpindahan panas konduksi *steady state* melalui dinding datar dengan luas penampang konstan, tak ada generasi panas :



Gambar II. 1 Panas konduksi pada dinding datar

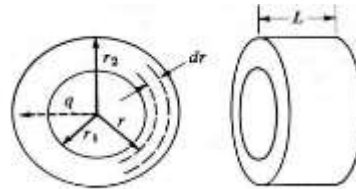
$$\frac{q_x}{A} \int_{x_1}^{x_2} dx = -k \int_{T_1}^{T_2} dT$$

Dimana untuk k konstan, temperatur berubah linier terhadap jarak ($Dx = x_2 - x_1$) untuk $T = T_2$ pada $x = x_2$.

$$\frac{q_x}{A} = \frac{k}{x_2 - x_1} (T_1 - T_2)$$

$$\frac{q_x}{A} = \frac{k}{\Delta x} (T_1 - T_2)$$

Sedangkan untuk konduksi pada silinder berlubang;



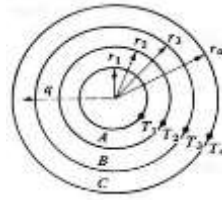
Gambar II. 2 Konduksi Panas pada silinder berlubang

$$q = k \frac{2\pi L}{\ln(r_2/r_1)} (T_1 - T_2)$$

Saat pembilang & penyebut dikalikan dengan $(r_2 - r_1)$;

$$q = k A_{lm} \frac{(T_1 - T_2)}{(r_2 - r_1)} = \frac{(T_1 - T_2)}{(r_2 - r_1) / (k A_{lm})} = \frac{T_1 - T_2}{R}$$

Pada konduksi panas melalui multilayer silinder;



Gambar II. 3 Konduksi melalui multilayer silinder

$$q = \frac{(T_1 - T_4)}{(r_2 - r_1) / (k_A A_{A_{lm}}) + (r_3 - r_2) / (k_B A_{B_{lm}}) + (r_4 - r_3) / (k_C A_{C_{lm}})}$$

b. Konveksi

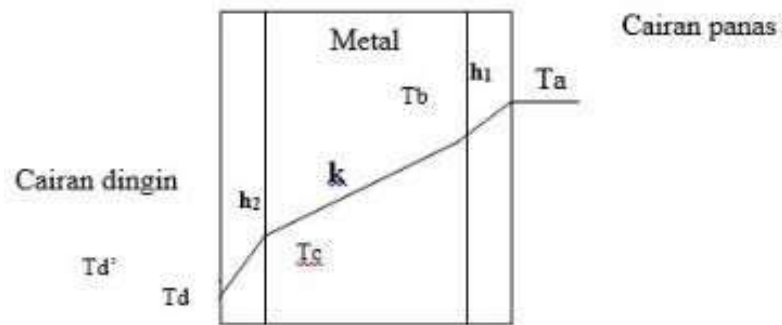
Konveksi merupakan perpindahan kalor yang terjadi pada medium cair dan gas. Berbeda dengan konduksi, **perpindahan kalor ini disertai dengan perpindahan medium**. Jadi yang bergerak tidak hanya kalor tetapi juga medium perambatannya. Contoh perpindahan kalor secara konveksi pada furnace misalnya pada daerah konveksi umpan panas terkena panas secara konveksi dari panas yang melewati sekat dari tube umpan. Laju perpindahan kalor secara konveksi dapat dirumuskan

$$\text{laju kalor} = \frac{Q}{t} = hA (T_2 - T_1)$$

h = adalah tetapan konveksi. Setiap benda memiliki tetapan konveksi yang berbeda. Semakin mudah benda itu menyerap atau melepas kalor dan memindahkannya maka semakin besar nilai tetapan ini. A adalah luas penampang melintang dan $T_2 - T_1$ adalah selisih suhu.

Tahanan Gabungan Konduksi Konveksi

Gradien atau beda suhu pada fluida yang dipanaskan atau didinginkan yang mengalir dalam aliran turbulen, pola kecepatan, ΔT akan besar di sekitar dinding. Misalkan panas mengalir seperti gambar 2-4.



Gambar II. 4 Perpindahan Panas Secara Konveksi Fluida Panas ke Fluida Dingin Melalui Metal

Panas mengalir dari suatu fluida panas ke fluida dingin melalui dinding metal. Gradien suhu dari fluida panas ke metal dapat ditunjukkan dengan kurva T_a , T_b ,. Temperatur T_a adalah temperatur pada bidang batas antara aliran turbulen (badan fluida) dan aliran viskos (stationer), dekat permukaan tipis. Sedangkan T_b adalah temperatur bidang metal dan fluida (interface), sedangkan panas yang mengalir dari metal ke fluida dingin ditunjukkan dengan penjelasan yang sama oleh kurva T_c , T_d , T_d' .

Dalam gambar 2 terlihat bahwa satuan panas yang mengalir q dengan satuan Btu/J, adalah panas yang mengalir dari fluida panas ke fluida dingin melalui metal (dibayangkan suatu bagian pipa).

Misalnya luas dinding yang menerima panas A_1 sedang luas pada bagian dinding yang lain A_2 , maka luas rata-ratanya adalah A_m , dan panas yang mengalir adalah:

$$q = h_1 \cdot A_1 (T_a - T_b) \tag{2-10}$$

h_1 adalah sesuai atau analog dengan k/x , sehingga $1/(h_1.A_1)$ adalah merupakan tahanan panas. Demikian juga panas yang mengalir dari metal ke fluida dingin

$$q = h_2 \cdot A_2 (T_c - T_d) \quad (2-11)$$

dan panas yang mengalir di dalam metal itu sendiri $q = A_m \cdot \Delta k / (T_b - T_c)$ atau tahanan panas dalam metal $= \Delta x / k \cdot A_m$

Bila ketiga tahanan tersebut dijumlahkan maka persamaan tersebut menghasilkan:

$$q = \frac{\Delta T_{total}}{\frac{1}{h_1 A_1} + \frac{x}{k \cdot A_m} + \frac{1}{h_2 \cdot A_2}} \quad \text{atau} \quad q = UI \cdot A_1 \cdot \Delta T_{total}$$

c. Radiasi

Berbeda dengan 2 jenis perpindahan kalor sebelumnya yang menggunakan medium, perpindahan kalor ini tidak membutuhkan medium atau perantara. Contoh radiasi pada furnace di daerah radiasi tube umpan terkena radiasi panas dari pembakaran secara langsung dan pantulan dari dinding *furnace* Setiap benda bisa menyerap kalor dipancarkan secara radiasi.

Semakin hitam sebuah benda maka benda tersebut akan cenderung semakin menyerap panas yang dipancarkan melalui radiasi. Kehitaman sebuah inilah yang disebut sebagai emisivitas bahan disimbolkan dengan e . Laju penyerapan kalor yang dipancarkan secara radiasi dirumuskan

$$\text{laju kalor} = \frac{Q}{t} = \sigma e A T^4$$

Dengan e adalah emisivitas benda, dimana jika benda hitam mempunyai nilai $e = 1$ jika benda berwarna hitam dan e bernilai 0 (nol) jika benda berwarna putih. σ adalah konstanta Stefan-Boltzman $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{C}$. A adalah luas permukaan benda dan T adalah suhu dalam kelvin.

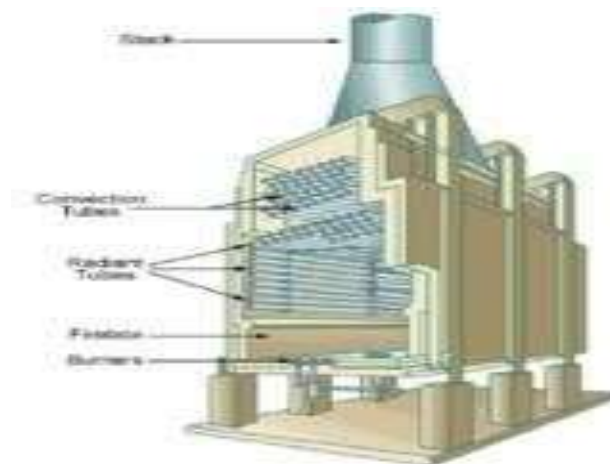
(Kern, 2010)

II.2.1.2 Tipe - Tipe Furnace

Adapun tipe-tipe furnace berdasarkan bentuk,

1. Tipe Bentuk Dapur (*Cabin Furnace Type*)

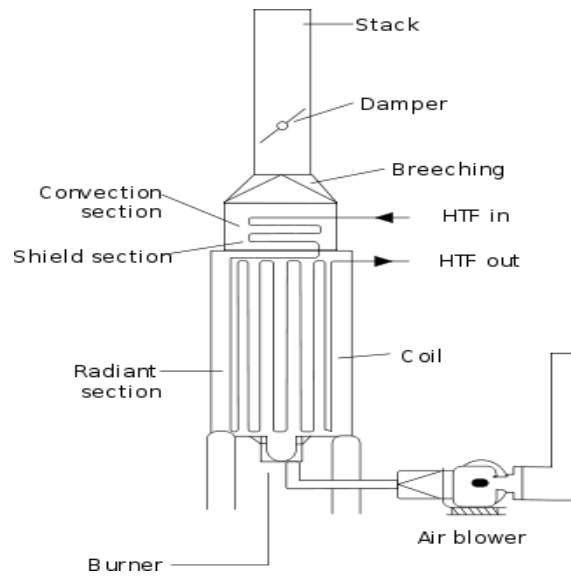
Pada tipe ini, tidak ada bridge yang memisahkan antara bagian konveksi dan radiasi. Tube-tube letaknya horizontal pada dinding sedangkan burnernya dipasang pada bagian bawah secara vertikal sehingga tegak lurus dengan tube-tubanya.



Gambar II. 5 Cabin Furnace Type

2. Tipe Silinder Tegak (*Vertical Cylindrical Furnace Type*)

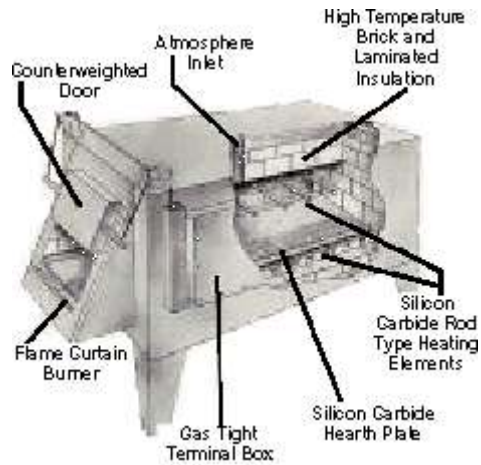
Tipe ini berbentuk melingkar di mana tube-tubanya dipasang secara vertikal di sekeliling dinding sedangkan burnernya dipasang di bagian bawah secara vertikal sehingga nyala api sejajar dengan tube-tubanya.



Gambar II. 6 Vertical Cylindrical Furnace Type

3. Tipe Bentuk Kotak (*Box Furnace Type*)

Pada furnace ini, bagian radiasi dan konveksi dipisahkan oleh suatu dinding pemisah sedangkan burnernya dipasang horizontal di dinding.



Gambar II. 7 Box Furnace Type

II.2.1.3 Bagian - Bagian Furnace

Bagian - bagian utama dari *furnace* :

Dalam penggunaannya, *furnace* memiliki dengan bagian-bagian dengan fungsi yang berbeda-beda. Konstruksi *furnace* dapat dibedakan menjadi 4 bagian utama, yaitu :

a. Dinding dapur

Dinding dapur terbuat dari baja (*carbon steel*) yang dilapisi dengan isolasi, batu tahan api dan *refractory* yang semuanya itu bertujuan untuk mencegah terjadinya kehilangan panas.

b. *Tube coil*

Merupakan bagian yang paling penting pada instalasi *furnace*. Biasanya *tube coil* terdiri dari beberapa *tube* yang disambung dengan menggunakan U-bend. Apabila terjadinya pembentukan kerak di dalam *tube furnace*, saat dibersihkan menggunakan fasilitas *Steam Air Decoding* (SAD). Mengingat bahan panas dan tekanan yang berbeda dengan kondisi masing-masing proses, maka pemilihan bahan *tube* dapat digolongkan sebagai berikut :

- Untuk beban *furnace* 1.000 °F, dipakai *carbon steel*
- Untuk beban *furnace* 1.000 – 2000 °F, dipakar *chrome alloy steel*.
- Untuk beban *furnace* >2.000 °F, dipakai nikel dan *chrome alloy steel*.

Tube yang dipasang pada daerah konveksi berguna untuk memperbesar perpindahan panas, sehingga dibutuhkan *extend furnace tube* (pipa bersirip).

c. *Burner*

Merupakan sarana pembakaran yang dilengkapi dengan sistem pengapian dan pencampuran dengan menggunakan udara primer atau sekunder serta sistem *atomizing steam*, sehingga bahan bakar dapat terbakar secara sempurna.

Adapaun jenis-jenis *burner* adalah :

- *Gas burner*
- *Fuel oil burner*
- *Combination burner*

d. Stack

Material yang digunakan pada *stack* biasanya terbuat dari *carbon steel*, pada temperatur *stack* biasanya perlu dijaga agar suhunya tidak terlalu tinggi (antara 350 – 900 °F) supaya tidak terjadi korosi. Untuk menjaga agar temperatur *stack* tetap berada pada temperatur yang diharapkan, maka pada *stack* dipasang fasilitas-fasilitas diantaranya :

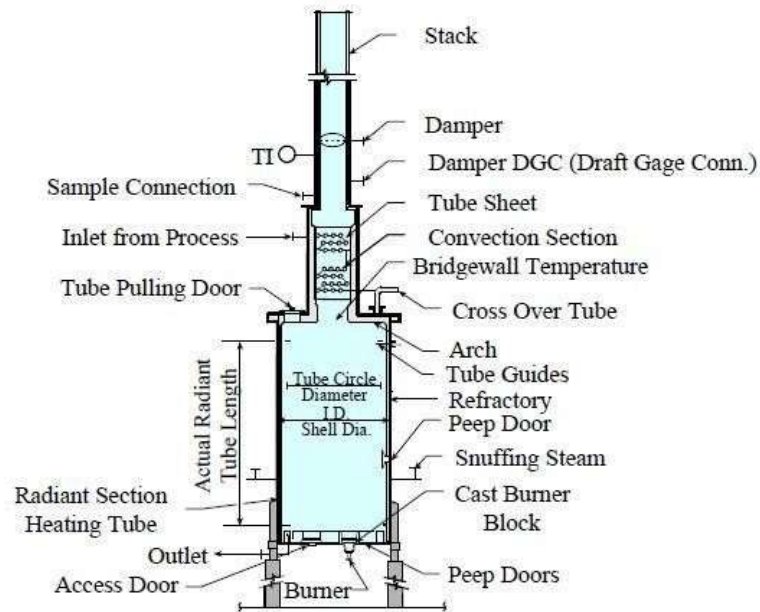
- *Damper*, berfungsi untuk mengatur *draft* dalam dapur.
- *Thermocouple*, berfungsi untuk mengatur temperatur *fuel gas* (sisa pembakaran) untuk dianalisa.
- *Draft gauge*, berfungsi untuk mengatur tekanan di dalam ruang bakar.

II.2.1.4 Spesifikasi furnace kilang PPSDM Migas Cepu

Di kilang Cepu terdapat 1 unit *furnace* yang beroperasi, spesifikasinya adalah :

- Tipe : *vertical silinder furnace*
- Bahan bakar : *fuel oil, fuel gas (natural gas), steam*
- Dinding : *ceramic wool*
- *Burner* : *gas atomizing burner, gas burner*
- *Draft* : *force draft*

Furnace dengan jumlah 48, diameter 2 *inch* dihubungkan dengan U-band masuk pada dapur bagian atas dan keluar di bagian tengah. *Fuel oil* dan *fuel gas* diinjeksikan pada bagian bawah *furnace* dengan *gun burner*. Gambar – 2.1 berikut ini adalah gambar *vertical silinder furnace*.



Gambar II. 8 Vertical Cylindrical Furnace Type

(Kardjono, 2010)

II.2.1.5 Standar operation procedure Furnace

1. Start up operation

Cara pengoperasian *furnace* harus memperhatikan beberapa hal yang menyangkut masalah prosedur dan keselamatan kerja. Hal-hal yang harus diperhatikan antara lain :

- Persiapan sebelum mengoperasikan *furnace*

Agar proses pengoperasian *furnace* berjalan dengan baik dan peralatan *furnace* tidak mengalami kerusakan maka perlu dilakukan pemeriksaan, yaitu :

1. Di dalam *furnace* dan sekitarnya harus bebas dari benda-benda yang mudah terbakar.
2. Menyiapkan bahan bakar solar dan residu.
3. *Header box door* dan *peep hole* harus tertutup supaya udara tidak masuk ke dalam *furnace*.

4. Memeriksa *valve* untuk *fuel gas* dan *fuel oil*, untuk mengetahui apakah bekerja dengan baik atau tidak, kemudian ditutup.
5. Cerobong asapa (*stack*) harus dalam keadaan terbuka penuh.
6. Melakukan *steaming out* selama 15 menit untuk mengusir gas-gas yang ada dalam ruang pembakaran.
7. Setelah yakin benar dengan keadaan sekitar dan kondisi peralatan dalam keadaan sudah siap pakai, barulah dilakukan penyalaan burner.
 - Penyalaan *burner*
 1. Penyalaan api dapur pertama dilakukan dengan *fuel gas* kemudian setelah normal operasi bisa diganti dengan *fuel oil*.
 2. Memasukan obor ke dalam *furnace* lewat lubang yang ada di depan *burner* lalu dibuka *valve* bahan bakar dengan perlahan-lahan sampai *burner* tersebut menyala.
 3. Menaikan suhu secara perlahan-lahan dengan tujuan untuk mengeringkan dinding *furnace* agar tidak retak.
 4. Setelah suhu umpan keluar dapur 100 °C maka ditahan kira-kira 24 jam, tujuannya pada suhu 100 °C air yang meresap pada dinding *furnace* akan menguap dan selama 24 jam diperkirakan dinding dapur sudah kering dari air.
 5. Kemudian penambahan suhu dapat dilakukan lagi dengan penambahan kira-kira 5-10 °C perjam sampai tercapai suhu operasi normal.

2. Prosedur pelaksanaan operasi *furnace*

- a. Melakukan pengecekan terhadap fasilitas serta bahan penunjang.
- b. Melakukan pengecekan terhadap kondisi operasi seperti *flow rate*, tekanan dan *level*.

- c. Melakukan sirkulasi dingin sampai temperatur maksimum 35 °C.
- d. Sirkulasi dengan *flow rate* sekitar 60% dari kapasitas operasi agar kebocoran sambungan terdeteksi dan aliran proses bersih dari air.
- e. Sebelum melakukan sirkulasi panas, memeriksa ulang keadaan dan kondisi sirkulasi dingin apakah sudah stabil.
- f. Melakukan sirkulasi panas dengan tahapan *gas freeing*, *gas test* dan penyalaan api, kenaikan suhu sampai 100°C ditahan selama 4 jam guna memberikan kesempatan penguapan pada dinding *furnace*.
- g. Bila suhu mencapai diatas 280 °C mulai merubah sirkulasi dengan *crude oil*.

3. Shut down operation

Sebelum menyetop suatu kilang, perlu direncanakan langkah-langkah yang harus dilakukan. Langkah-langkah untuk *normal shutdown* suatu kilang adalah sebagai berikut:

- a. Menghubungi bagian-bagian yang berhubung.
- b. Menyiapkan tangki sirkulasi.
- c. Menurunkan kapasitas umpan secara bertahap sampai batas minimum.
- d. Menurunkan suhu *furnace* secara bertahap.
- e. Mematikan api *burner* dan mengganti *feed* dengan solar.
- f. *Flushing* saluran *fuel oil* dengan solar.
- g. Mensirkulasi terus solar sampai seluruh peralatan yang berhubungan dengan *furnace* menjadi dingin.
- h. Menghentikan sirkulasi dingin dan mengosongkan *tube furnace* dari sisa minyak.

4. *Emergency shut down*

Dalam keadaan darurat langkah pertama yang dilakukan adalah pengamanan dan penyelamatan *furnace* karena apabila *furnace* terbakar akan menimbulkan bahaya yang sangat besar dan berakibat fatal. Langkah yang dilakukan antara lain :

- a. Mengurangi umpan sampai batas minimum
- b. Mematikan api *burner*
- c. Melakukan *emergency blow down*
- d. Apabila bahan bakar utama memakai bahan bakar berat yang mudah membeku, secepatnya melakukan penggantian dari bahan bakar fraksi berat dengan bahan bakar fraksi ringan agar tidak terjadi kebuntuan (sumbatan) pada saluran bahan bakar dan langsung melakukan *flushing steam* pada *furnace*
- e. Apabila penyebab terjadinya *emergency shut down* sudah dapat diatasi, segera melakukan sirkulasi dengan soalnya

II.2.1.6 Mengatasi kebocoran *Tube Furnace*

1. Memeriksa kondisi kebocoran *tube furnace* dengan jalan :

- a. Mengamati dari lubang intip bagian depan, belakang, samping (apakah terdapat tetesan minyak/nyala api yang memancar dan asap tebal di ruang pembakaran, jika terjadi kebocoran *tube* di bagian dalam pembakaran maka akan menjadi tidak terang)
- b. Melakukan pengamatan dari luar, apabila terjadi kepulan asap di cerobong dan tetesan minyak/nyala api pada sistem sambungan di bagian luar *furnace*.

2. Melaporkan kebocoran *furnace* dan upaya yang telah dilakukan dalam mengatasi kebocoran tersebut.

3. Melakukan *stop emergency furnace* yaitu :

a. Langkah melakukan *stop emergency furnace* dilakukan kalau kebocoran belum menimbulkan nyala api, langkah ini menggunakan fasilitas sirkulasi *emergency furnace*

1. Mengamankan dengan *steam spray* pada daerah kebocoran dan *header box*.

2. Mematikan *fuel oil* dan *fuel gas furnace* yang bocor dengan dilanjutkan mengalirkan *fuel oil* solar.

3. Melakukan sirkulasi *emergency furnace*, kecuali kebocoran kalau yang terjadi berkembang menjadi kebakaran harus diambil langkah *stop operation emergency* kebocoran *furnace*.

4. Setelah dingin dan cukup aman, menghentikan sirkulasi dan membuang sisa minyak ke *blow down* dengan pengamatan *steam flashing/steam spray* terlebih dahulu.

5. Melakukan perbaikan dan inspeksi jika kondisi cukup aman.

b. Langkah *stop operation emergency* kebocoran *furnace* dilakukan kalau kebocoran di dalam *furnace*/di luar *furnace* sudah menimbulkan nyala api atau sudah ada tetesan minyak yang dapat memungkinkan kebakaran, dan *stop* operasi kilang secara total dengan langkah sebagai berikut :

1. Mematikan *fuel oil* dan *fuel gas* pada *furnace* dan dilanjutkan operasi *fuel oil* solar dan persiapan operasi *gas flare*.

2. Menjalankan *steam spray* pada *header box*, *steam purging/snuffing steam* untuk mematikan api dari kebocoran, kalau perlu menutup pintu udara.

3. Melakukan sirkulasi dari tangki sirkulasi.

4. Mematikan sirkulasi pada *furnace* yang bocor kalau tidak segera padam/ sirkulasi justru memperbesar kebocoran atau pembakaran.

5. Membuang sisa minyak ke *blow down* setelah sirkulasi dimatikan/kondisi cukup aman tidak menyebabkan nyala sendiri (kurang dari 200 °C) dengan memperhatikan *safety* operasinya (injeksi *steam/steam spray*)
6. Menunjang pelaksanaan pemadaman oleh Pemadam Api dan Kebakaran (PAK) jika langkah pengamanan di atas gagal.
7. Langkah pengaturan/penagwasan *stop* operasi yang lain mengikuti prosedur operasi.
8. Perbaikan hanya dilakukan setelah *stop operation furnace* dilaksanakan dengan kondisi cukup aman.

II.2.1.7 Perawatan *furnace*

Furnace sangat memerlukan perawatan yang baik, dengan tujuan untuk memperkecil terjadinya kerusakan. Dalam perawatan *furnace* ada dua kategori :

1. Perawatan rutin

Perawatan rutin adalah perawatan yang dilakukan secara rutin tanpa mengganggu kondisi operasi *furnace* tersebut, misalnya membersihkan kotoran minyak maupun kotoran lainnya yang berada di sekitar *furnace*.

2. Perawatan berkala (*periodic*)

Bagian-bagian *furnace* yang harus diperhatikan dan diperiksa antara lain *tube furnace*, *header*, *stack damper*, *burner*, dan kebersihan lingkungan di sekitar *furnace*.

II.2.1.8 Perpindahan Panas Dalam Furnace

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari suatu tempat ke tempat yang lain akibat Perbedaan suhu antara suhu antara tempat tersebut. Suhu minyak mentah (*crude oil*) dalam *tube furnace* naik disebabkan karena adanya perpindahan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar minyak maupun gas pada *burner*.

a. Perpindahan panas secara Radiasi

Panas secara radiasi yang terjadi dalam *furnace* akibat adanya pancaran energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar pada *furnace* tanpa adanya media penghantar.

b. Perpindahan panas secara Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi terjadi pada permukaan dinding dalam *tube* ke minyak mentah yang ada dalam *tube* tersebut.

II.2.1.9 Proses Pemanasan *Crude Oil Furnace*

Bahan bakar yang digunakan dalam pengoperasian *furnace* adalah *fuel oil* (residu) sistem pembakaran yang digunakan adalah sistem pembakaran dengan menggunakan uap air untuk pengabutan (*atomizing*). Hal ini bertujuan untuk membuat kabut/uap minyak bakar (residu) agar mudah kontak dengan oksigen sehingga akan memudahkan terjadinya proses pembakaran. Oksigen untuk proses pembakaran diambil dari udara luar secara alamiah diambil dengan pengaturan *stack damper*.

Umpan yang berupa minyak mentah masuk melalui bagian atas *furnace* (daerah konveksi) dan dialirkan ke bagian bawah masuk ke bagian radiasi. Minyak mentah yang suhunya sudah sesuai dengan yang diinginkan keluar dari *furnace* selanjutnya dialirkan ke separator. Minyak mentah dimasukkan melalui bagian atas terlebih dahulu karena suhu di bagian atas terlebih rendah daripada bagian bawah dan agar minyak mentah mendapatkan panas secara bertahap dan untuk pemanfaatan energi panas (efisiensi) yang keluar melalui *stack*.

Apabila minyak mentah dipanaskan secara mendadak (tidak melalui pemanasan di daerah konveksi terlebih dahulu), maka akan terjadi *cracking*. Dan apabila terjadi *cracking* secara berlanjut maka dapat menyebabkan terbentuknya kerak yang menempel pada dinding sebelah dalam *tube*. kerak tersebut akan menghambat perpindahan panas dari *tube* ke *crude oil* yang ada dalam *tube* tersebut, bahkan dapat mengakibatkan pemanasan setempat pada *tube* (*hot spot*). Terjadinya *hot spot*

dalam waktu lama menyebabkan pecahnya *tube furnace* (*tube burst*).

Pemanasan *crude oil* dalam *furnace* dikendalikan secara otomatis dengan menggunakan peralatan instrumen. Operator akan mengatur tinggi rendahnya suhu *crude oil* yang keluar dari *furnace*, yaitu dengan jalan aliran bahan bakar minyak diatur dengan *control valve* sesuai dengan kebutuhan. Adanya pengaturan pemanasan *crude oil* secara otomatis adalah apabila suhu *crude oil* keluar *furnace* lebih tinggi dari yang diharapkan maka alat instrumen secara otomatis mengirim sinyal ke *control valve* untuk menutup, sehingga bahan bakar minyak ke *burner* alirannya berkurang. Hal ini akan berakibat api pada *burner* mengecil sehingga suhu *crude oil* yang keluar *furnace* menurun. Sebaliknya apabila suhu *crude oil* yang keluar lebih rendah dari yang dikehendaki maka alat instrument secara otomatis mengirim sinyal ke *control valve* untuk menambah bukannya sehingga bahan bakar minyak yang ke *burner* lebih besar alirannya. Hal ini menyebabkan suhu *crude oil* yang keluar *furnace* bertambah.

(W. Trinks, 2000)

II.2.1.10 Metode Perhitungan

Efisiensi *furnace* adalah kemampuan atau perfoma dari *furnace* untuk memberikan panas dari hasil pembakaran bahan bakar kepada cairan (fluida) yang dipanaskan dalam perhitungan ini adalah dengan mengguna metode perhitungan panas yang hilang (*heat loses*), yaitu dengan cara :

- Menghitung panas yang masuk *furnace*
- Menghitung panas yang keluar *furnace*

Efisiensi *furnace* digunakan untuk mengetahui seberapa besar panas yang dihasilkan oleh *furnace* untuk memanaskan bahan, dalam hal ini *crude oil*. Efisiensi dapur diketahui dengan cara mengurangi panas yang masuk dengan panas yang keluar, kemudian dibagikan dengan panas yang masuk dikalikan 100%.

Atau dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{panas yang masuk furnace} - \text{panas yang keluar furnace}}{\text{panas yang masuk furnace}} \times 100\%$$

II.2.1.11 Analisa Performance Furnace

II.2.1.11.1 Prosedur

Langkah-langkah prosedur yang digunakan dalam penyelesaian analisa evaluasi furnace-05 pada kilang PPSDM MIGAS adalah sebagai berikut:

1. Mengambil data yang diperlukan di lapangan
 - a. Data suhu gas buang (*flue gas*) melalui *stack* cerobong *furnace*
 - b. Data suhu masuk dan keluar *furnace*
 - c. Data tekanan masuk dan keluar *furnace*
 - d. Data spesifikasi *furnace*
 - e. Data densitas *crude oil* dan *fuel oil*
2. Mencari literature dan referensi yang dibutuhkan
3. Mengolah data yang telah diperoleh dari lapangan
4. Menghitung panas masuk dan keluar dari *furnace*
5. Menghitung efisiensi *furnace*
6. Menganalisis dan mengevaluasi hasil perhitungan dengan kondisi yang ada di lapangan

(Nelson, 2006)

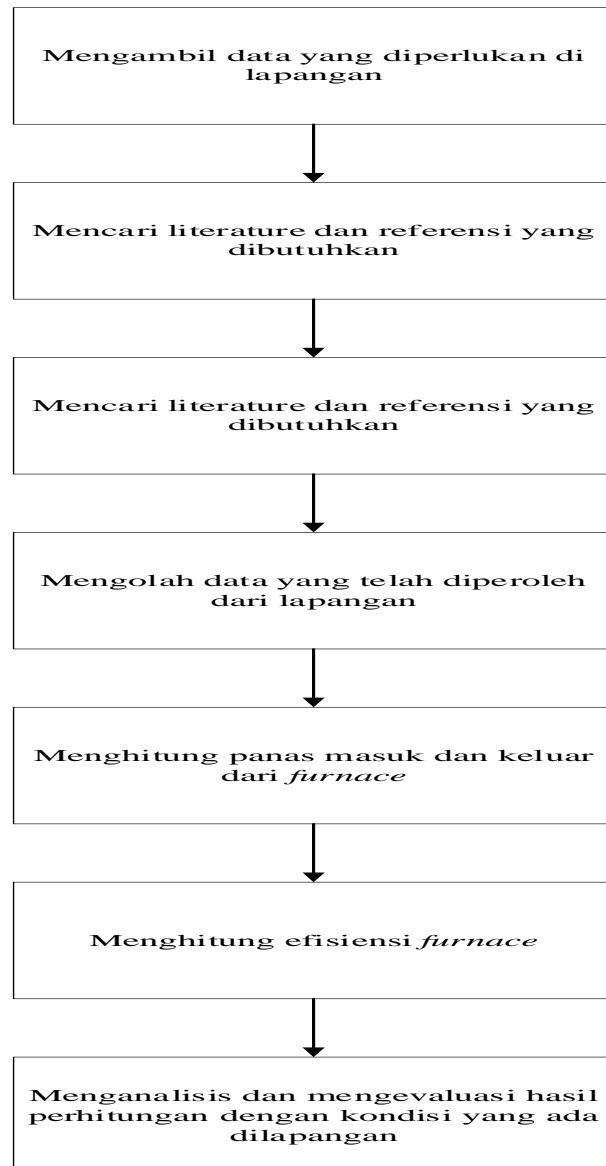
II.2.1.11.2 Skema Kerja

- a. Perhitungan Panas Masuk
 1. Mencari Jumlah *Flue Gas* yang Digunakan
 2. Mencari Nilai Bakar *Fuel Oil*
 3. Mencari *Lower Heating Value (LHV) fuel oil*
 4. Panas Pembakaran *Fuel Oil* (Q1)
 5. Panas Sensibel *Fuel Oil* (Q2)
 6. Panas yang Dibawa Umpan (Q3)
 7. Panas Pembakaran *Flue Gas* (Q4)
 8. Panas Sensibel *Flue Gas* (Q5)

9. Panas *Atomizing Steam* (Q6)
 10. Panas Udara Pembakaran (Q7)
 11. Panas Sensibel Air karena Kelembaban Udara (Q8)
- b. Menghitung Panas yang Termanfaatkan
 1. Menghitung *Crude Oil* yang Teruapkan
 2. Menghitung T EFV
 - c. Menghitung Masing-Masing Panas yang Termanfaatkan
 1. Panas yang terbawa *Crude Oil* dalam Fasa Cair (Qa)
 2. Panas yang Terbawa *Crude Oil* dalam Fasa Uap (Qb)
 - d. Perhitungan Panas yang Hilang
 1. Panas Terbawa Oleh Gas Asap Kering (Q1')
 - a. Menghitung Cp gas asap
 - b. Menghitung berat gas asap per kg bahan bakar
 - c. Penggunaan bahan bakar *fuel oil* seluruhnya
 - d. Besar gas asap per kg bahan bakar
 - e. Berat gas asap keseluruhan
 - f. Panas yang terbawa asap kering (Q1')
 2. Panas Terbawa Oleh Asap Uap Air dalam Gas Asap karena Adanya H₂ dalam Bahan Bakar (Q2')
 3. Panas yang Terbawa Oleh Uap Air dalam Gas Asap karena Kandungan Air (H₂O) dalam Udara Bahan Bakar (Q3')
 4. Panas yang Terbawa Oleh Uap Air dalam Gas karena Kelembaban Udara dalam Bahan Bakar (Q4')
 5. Panas Hilang Melalui Dinding *Furnace* (Q5')
 - e. Perhitungan Neraca Panas *Furnace*
 - f. Perhitungan Efisiensi *Furnace*

(PPSDM MIGAS, 2021)

II.2.1.11. 3 Blog Diagram Perhitungan Efisiensi Furnace



Gambar II. 9 Diagram Perhitungan Efisiensi Furnace

II.2.2 Perhitungan

Tabel II. 1 Data Temperatur Furnace, Crude Oil, dan Fuel Oil

Tanggal	T Crude Oil masuk (°C)	T Crude Oil Keluar (°C)	T Flue Gas (°C)	T Crude dinding dalam (°C)	T Crude dinding luar (°C)	T fuel oil masuk (°C)
6/9/2021	100.6	343	31.88	639	80.7	41
8/9/2021	92	354.3	31.88	584	79	42
10/9/2021	107	346	31.88	642	83	44
13/9/2021	108	352	31.88	646	79.7	42
Rata2	101.9	348.83	31.88	627,75	80.6	42,25

Tabel II. 2 Data Tekanan Crude Oil dan Fuel Oil

Tanggal	Tekanan Crude Oil Masuk (Kg/cm2)	Tekanan Crude Oil Keluar (Kg/cm2)
6/9/2021	4.4	0.42
8/9/2021	2,59	0.39
10/9/2021	2.6	0.38
13/9/2021	2.6	0.42
Rata2	3.05	0.4

Tabel II. 3 Data Kapasitas Crude Oil dan Fuel Oil

Tanggal	Kapasitas Crude Oil Masuk (m ³ /hari)	Kapasitas Fuel Oil Masuk (m ³ /hari)
6/9/2021	295,351	11,867
8/9/2021	322,352	12,652
10/9/2021	284,145	11,248
13/9/2021	295,960	11,887
Rata2	299,452	11,9135

1.2 Alat dan Bahan

a. Spesifikasi *Furnace*

Tipe : Silinder

Kapasitas	:	3500	m ³ /hari
Tinggi	:	7405	mm
Panjang	:	6000	mm
Lebar	:	3800	mm

Tube

Diameter	:	2	inch
Panjang	:	6000	mm
Jarak Antar Tube	:	350/330	mm
Tata Letak	:	Vertical	
Bahan	:	Low Cr. Mo	
Bahan Bakar	:	Fuel Oil and Gas	

Temperature

Temperature dinding dalam *furnace* : 627,75 °C = 1161,95 °F

Temperature dinding luar *furnace* : 80,6 °C = 177,08 °F

Temperature lingkungan sekitar *furnace* : 32 °C = 89,6 °F

b. *Crude Oil*

SG 60/60 *Crude Oil* = 0,8378

°API = $\frac{141,5}{\frac{SG_{60}^{60} \text{Crude Oil}}{60}} - 131,5$
= 37,39

Temperature *Crude Oil* Masuk = 101,9 °C

Temperature *Crude Oil* Keluar = 348,83 °C

Tekanan *Crude Oil* Masuk = 3,05 kg/cm²

Tekanan *Crude Oil* Keluar = 0,4 kg/cm²

Jumlah Umpan Masuk = 299,452 m³/hari

= 12,477 m³/jam

c. *Fuel Oil*

SG 60/60 *Crude Oil* = 0,9127

°API = $\frac{141,5}{\frac{SG^{60} \text{Crude Oil}}{60}} - 131,5$

60

$= 23,534$
 Jumlah Umpan Masuk $= 11,9135 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,4964 \text{ m}^3/\text{jam}$
 Temperature *Fuel Oil* Masuk $= 42,25 \text{ }^\circ\text{C} = 108,05 \text{ }^\circ\text{F}$
kWater Content (%wt) $= 0,1$
 Tekanan Atmosfer $= 14,7 \text{ Psi}$
 Temperature Atmosfer $= 32 \text{ }^\circ\text{C} = 89,60 \text{ }^\circ\text{F}$
 Tekanan Uap Air pada $32 \text{ }^\circ\text{C} = 0,6982 \text{ Psi}$
Relative Humidity pada suhu $89,6 \text{ }^\circ\text{F}$ adalah 50%
 Perbandingan volume O_2 dan N_2 di atmosfer adalah $21:79 \text{ H/C} = 1,$

d. *Flue Gas*

Tabel II. 4 Analisa Flue Gas

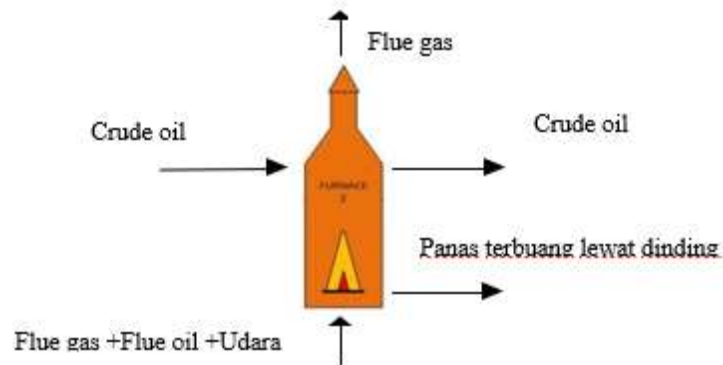
Komponen	A	B	C	D	E	F
	BM	%mol	Mol Fraksi	$D = A \times C$ (lb/lbmol)	LHV (Btu/cuft)	$F = C \times E$ (Btu/lb)
C ₃ H ₈	44	49	0,49	21,56	2371	1161,79
C ₄ H ₁₀	58	49	0,49	28,42	2977	1458,73
C ₅ H ₁₂	72	2	0,02	1,44	3479	69,58
Total	-	100	-	51,42	-	2690,1

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

ΣF adalah LHV bahan bakar gas $= 2690,1 \text{ Btu/lb}$
 ΣD adalah BM rata-rata *flue gas* $= 51,42 \text{ lb/lbmol}$
 Temperature *flue gas* masuk $= 31,88 \text{ }^\circ\text{C} = 89,38 \text{ }^\circ\text{F}$
 Tekanan *flue gas* masuk $= 0,03 \text{ kg/cm}^2 = 0,029 \text{ atm}$
 Tekanan *Absolut* $= 0,029 \text{ atm} + 1 \text{ atm}$
 $= 1,029 \text{ atm}$
 $= 1,029 \text{ atm} \times 14,7 \text{ psia}$
 $= 15,13 \text{ psia}$

e. Udara Pembakaran

Tekanan masuk dapur = 4,5 kg/cm²
 Temperature masuk dapur = 32 °C = 89,60 °F



Gambar II. 10 Flowdiagram furnace 5 di PPSDM Migas Cepu
 (Sumber : PPSDM Minyak dan Gas Alam Cepu, 2021)

A. Perhitungan Panas Masuk

1. Mencari Jumlah *Flue Gas* yang Digunakan

Pemakaian *flue gas* dapat dihitung menggunakan persamaan (Perry, 2008)

$$W_s = 443,35 \frac{T_s}{P_s} \times d^{2,667} \times \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{L \times SG \times T}}$$

Dimana :

Ws	: gas flow	(SCF/day)
d	: inside diameter	(inch)
P ₁	: initial pressure	(psia)
P ₂	: final pressure	(psia)
L	: length of line	(miles)
T	: absolute temperature of following gas	(°R)
T _s	: standart absolute temperature	(°R)
P _s	: t pressure	(14,7 psia)

Diketahui

P	: tekanan <i>flue gas</i> masuk dapur	= 15,13	psia
R	: konstanta gas ideal	= 10,371	psia.cuft/lbmol °R
BM	: berat molekul	= 51,42	lb/lbmol
T	: temperatur udara masuk dapur	= 549,27	°R
T _s	: temperature atmosfer	= 549,27	°R
P ₁	: tekanan absolute	= 15,13	psia
P ₂	: tekanan atmosfer	= 14,7	psia
P _s	: tekanan atmosfer	= 14,7	psia
D	: diameter	= 4	inch
L	: Panjang	= 6000	mm
		= 0,00373	mile

Menghitung *Spesific Gravity*

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$P \cdot V = (\text{massa}/\text{BM}) \times R \times T$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{fuel gas}} &= (P \times \text{BM}) / (R \times T) \\ &= (15,13 \times 51,42 \text{ lb/lbmol}) / (10,37 \text{ psia.cuft/lbmol}^\circ\text{R} \times 549,27 \text{ }^\circ\text{R}) \\ &= 0,1366 \text{ lb/cuft} \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{udara}}(27^\circ\text{C}) = 1,2 \quad \text{kg/m}^3$$

$$= 0,0749 \quad \text{lb/cuft}$$

$$\text{S.G flue gas} = \frac{\rho_{\text{flue gas}}}{\rho_{\text{udara}}} = \frac{0,1366}{0,0749} = 1,823$$

Maka :

$$W_S = 443,35 \frac{T_S}{P_S} \times d^{2,667} \times \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{L \times SG \times T}}$$

$$= 1238113,5591 \text{ SCF/hari}$$

Diketahui kondisi standar (T = 77 °F, P = 1 atm) setiap 1 lbmol gas = 359 ft³.

Maka

flue gas dalam berat adalah :

$$= \frac{1238113,5591 \text{ SCF/hari}}{359 \text{ cuft}} \times 25,06 \frac{\text{lb}}{\text{lbmol}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} = 3601,1056 \text{ lb/jam}$$

2. Mencari Nilai Bakar *Fuel Oil*

$$\text{S.G. } 60/60 = 0,9127$$

$$^{\circ}\text{API} = 23,534$$

$$\text{Temperature fuel oil masuk } \textit{furnace} = 108,95 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Temperature Basis} = 60 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Mencari kandungan Hidrogen dalam *fuel oil* dengan asumsi *fuel oil* tidak mengandung sulfur dari persamaan 9-8 (Perry, 2008)

$$H = 26 - 15S$$

Dimana : H = kandungan Hidrogen (% Wt)

S = *Specific Gravity* 60/60

$$\% \text{ wt Hidrogen} = 26 - 15(0,9127) = 12,309$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Carbon} &= 100 - \% \text{ Wt Hidrogen} \\ &= 100 - 12,309 \\ &= 87,691 \end{aligned}$$

Dari tabel 5-, Mid Boiling Point fuel oil 348,05 °C atau 658,49 °F (dari data *crude oil* keluar *furnace*) koreksinya 66,55 °F (interpolasi tabel 5-1)

$$\begin{aligned} \text{Average Boiling Point fuel oil} &= 658,49 \text{ }^{\circ}\text{F} - 66,55 \text{ }^{\circ}\text{F} \\ &= 591,94 \text{ }^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

Dari figure 5-23, didapatkan harha K = 11,4

Dari figure 5-22, Gross Heating Value (GHV) = 19050 Btu/lb (Nelson, 2006)

3. Mencari *Lower Heating Value (LHV) fuel oil*

$$Q_L = Q_H - 92,7H \text{ (Perry, 2008)}$$

Dimana : $Q_L = \text{LHV (Btu/lb)}$

$$Q_H = GHV \text{ (Btu/lb)}$$

$$H = \text{kandungan Hidrogen (\% Wt)}$$

$$Q_L = Q_H - 92,7H$$

$$= 19050 - 92,7(12,309)$$

$$= 17908,909 \text{ Btu/lb}$$

Maka,

$$GHV = 19050 \quad \text{Btu/lb}$$

$$LHV = 17908,909 \quad \text{Btu/lb}$$

Mencari masing-masing panas masuk

Basis : 1 jam operasi temperature dan tekanan standar ($T = 77^\circ\text{F}$, $P = 1 \text{ atm}$)

4. Panas Pembakaran *Fuel Oil* (Q1)

$$\text{S.G. fuel oil} = 0,9127$$

$$\rho \text{ fuel oil} = \text{S.G. } 60/60 \text{ fuel oil} \times \rho \text{ air}$$

$$= 0,9127 \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$= 912,7 \text{ kg/m}^3$$

Kebutuhan *fuel oil*

$$= 0,4964 \text{ m}^3/\text{jam} \times 912,7 \text{ kg/m}^3 \times 2,205 \text{ lb/kg} = 998,9984 \text{ lb/jam}$$

Panas pembakaran *fuel oil*

$$Q1 = \text{Kebutuhan } Fuel \text{ Oil} \times LHV \text{ Fuel Oil}$$

$$= 998,9984 \text{ lb/jam} \times 17908,909 \text{ Btu/lb}$$

$$= \mathbf{17890970,926 \text{ Btu/jam}}$$

5. Panas Sensibel *Fuel Oil* (Q2)

$$\text{Temperatur } fuel \text{ oil} = 108,05^\circ\text{F}$$

Dari figure 5-1 (Nelson, 2006)

$$\text{Pada temperatur } 108,95^\circ\text{F} \text{ didapatkan } cp \text{ fuel oil} = 0,46 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$\text{Pada temperatur } 77^\circ\text{F} \text{ didapatkan } cp \text{ fuel oil} = 0,435 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

Maka Cp rata-rata adalah $(0,46 + 0,435)/2 = 0,4475 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$

Panas sensibel *fuel oil* (Q2)

$$\begin{aligned} Q2 &= \text{Kebutuhan } fuel \text{ oil} \times C_p \text{ fuel oil} \times (T_2 - T_1) \\ &= 998,9984 \text{ lb/jam} \times 0,4475 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F} \times (108,05 - 77)^\circ\text{F} \\ &= \mathbf{13880,957 \text{ Btu/jam}} \end{aligned}$$

6. Panas yang Dibawa Umpan (Q3)

$$\text{S.G. Crude Oil} = 0,8378$$

$$^\circ\text{API} = 37,3947$$

$$\text{Temperatur umpan masuk} = 235,4^\circ\text{F}$$

$$\text{Flow rate} = 299,452 \text{ m}^3/\text{hari} = 12,4772 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\rho \text{ H}_2\text{O pada } 60^\circ\text{F} = 995,13 \text{ kg/ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Massa umpan} &= 12,4772 \text{ m}^3/\text{jam} \times 995,13 \text{ kg/ m}^3 \times 0,8378 \times 2,205 \text{ lb/kg} \\ &= 27378,168 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Dari figure 5 halaman 807, didapatkan

Cp crude oil pada suhu 60°F adalah sebesar $0,45 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$

Cp crude oil pada suhu $235,4^\circ\text{F}$ adalah sebesar $0,54 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$

Faktor koreksi = 0,88

$$\begin{aligned} C_p \text{ rata-rata} &= ((0,45 \times 0,88) + (0,54 \times 0,88))/2 \\ &= 0,4356 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q3 &= m \times C_p \times \Delta T \\ &= 27378,168 \text{ lb/jam} \times 0,4356 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F} \times (235,4 - 60)^\circ\text{F} \\ &= \mathbf{1853528,059 \text{ Btu/jam}} \end{aligned}$$

7. Panas Pembakaran *Flue Gas* (Q4)

$$\text{Temperatur } flue \text{ gas masuk } furnace = 549,054^\circ\text{R}$$

$$\text{Tekanan } flue \text{ gas masuk } furnace = 1,029 \text{ atm}$$

$$\text{Kebutuhan } flue \text{ gas} = 1238113,5591 \text{ SCF/hari}$$

Kebutuhan *flue gas* pada tekanan $0,03 \text{ kg/m}^2$ dan temperatur $31,88^\circ\text{C}$

adalah :

$$V_o = 1238113,5591 \text{ SCF/hari}$$

$$P_o = 1 \text{ atm}$$

$$T_o = 491,67 \text{ }^\circ\text{R}$$

$$P_1 = 1,029 \text{ atm}$$

$$T_1 = 549,054 \text{ }^\circ\text{R}$$

$P.V = n.R.T$, karena n dan R adalah konstan maka persamaan tersebut menjadi :

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

Sehingga :

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

$$V_1 = \frac{1 \text{ atm} \times 1238113,5591 \frac{\text{SCF}}{\text{hari}} \times 549,054 \text{ }^\circ\text{R}}{1,029 \text{ atm} \times 491,67 \text{ }^\circ\text{R}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$V_1 = 56130,26831 \text{ cuft/jam}$$

Jadi panas pembakaran *flue gas* (Q4) adalah

$$Q4 = \text{Kebutuhan } \textit{flue gas} (V_1) \times \text{LHV } \textit{flue gas}$$

$$= 55985,455 \text{ cuft/jam} \times 2694,1 \text{ Btu/lb}$$

$$= \mathbf{150606472,863 \text{ Btu/jam}}$$

8. Panas Sensibel Flue Gas (Q5)

$$\text{Temperatur } \textit{flue gas} \text{ masuk dapur} = 89,38 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\text{Temperature basis} = 32 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = 57,38 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\text{Ws dalam berat} = 3601,1056 \text{ lb/jam}$$

Panas spesifik tiap komponen dapat dicari dengan bantuan figure 3 dan figure 5 Kern, D. Q. 2010 "Process Heat Transfer"

Tabel II. 5 Perhitungan Panas Masuk Furnace

Komponen	A	B	C	D	E	F
	BM	%mol	Mol Fraksi	D= AxC (lb/lbmol)	LHV (Btu/cuft)	F=CxE (Btu/lb)
C3H8	44	49	0,49	21,56	2371	1161,79
C4H10	58	49	0,49	28,42	2977	1458,73
C5H12	72	2	0,02	1,44	3479	69,58
Total	-	100	-	51,42	-	2690,1

Maka panas sensibel *flue gas* (Q5) = $\Sigma F = 2690,1$ Btu/jam

9. Panas Automizing Steam (Q6)

Steam merupakan *steam* keluaran dari *boiler*

Tekanan *fuel oil* masuk = 12 kg/ cm² = 170,676 psi

Untuk *inside burners* memiliki range tekanan antara 40-60 psig

Kebutuhan *steam* antara 0,2 lb/lbFO – 0,5 lb/lbFO (Nelson, 2006)

Asumsi kebutuhan *steam* = 0,4 lb/lbFO

Kebutuhan *steam* (M steam) = 0,4 x 998,9984 lb/jam

= 399,599 lb/jam

Berdasarkan tabel 7 didapatkan nilai *entalpi saturated steam* (Kern, 2010)

Entalpi steam pada *temperature* 11,2 °F = 1110,49 Btu/lb

Entalpi steam pada *temperature* 60 °F = 1059,9 Btu/lb

Entalpi rata-rata = 1085,195 Btu/lb

$Q_6 = M_{\text{steam}} \times \text{Entalpi rata-rata}$

= 399,599 lb/jam x 1085,195 Btu/lb

= **433643,207 Btu/jam**

10. Panas Udara Pembakaran (Q7)

Tekanan udara = 4,5 kg/cm²

Temperature udara masuk *furnace* = 32 °C

Mencari kebutuhan udara pembakaran :

Komposisi minyak bakar *fuel oil* (H₂) = 12,309 % wt

Komposisi Carbon (C) = 87,691 % wt

Artinya untuk setiap 1 kg *fuel oil* mengandung ;

H₂ = 0,12309 kg

C = 0,87691 kg

Menghitung udara teoritis (W_a) dalam (kg/kg bahan bakar)

$$\begin{aligned} W_a &= 11,59C + 34,78 (H_2 - (O_2/8)) + 4,35S \text{ (Kardjono, 2010)} \\ &= 14,59 \text{ kg/ kg bahan bakar} \end{aligned}$$

Menghitung *excess air* :

Tabel II. 6 Data Komposisi Flue Gas

Komponen	% Volume
CO ₂	10,27
O ₂	7,28
CO	0
N ₂	82,47

(Sumber : Analisa orsat) (Nelson, 2006)

Berdasarkan persamaan 9-14 Robert Perry, *excess air* dapat dihitung :

$$X = \frac{O_2}{0,266 N_2 - O_2} \times 100 \%$$

$$X = \frac{7,28\%}{0,266(82,47\%) - 7,28\%} \times 100 \%$$

$$= 49,67\%$$

$$X = 49,67\%$$

Menghitung kebutuhan Udara pembakaran *fuel oil* sebenarnya (Kardjono, 2010)

$$WA = \left(1 + \frac{X}{100}\right) \times W_a$$

$$\begin{aligned} WA &= \left(1 + \frac{49,67}{100}\right) \times 14,59 \frac{\text{kg}}{\text{kg bahan bakar}} \\ &= 21,835 \frac{\text{kg}}{\text{kg bahan bakar}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penggunaan Fuel Oil} &= \text{Jumlah Umpan Fuel oil} \times \text{S.G. Fuel Oil} \times \rho \text{ air} \\
 &= 0,4964 \frac{m^3}{\text{Jam}} \times 0,9127 \times 1000 \frac{kg}{m^3} \\
 &= 453,0605 \frac{kg}{\text{jam}}
 \end{aligned}$$

Maka kebutuhan udara pembakaran *fuel oil* sebenarnya:

$$= 453,0605 \frac{kg}{\text{Jam}} \times 21,835 \frac{kg}{kg \text{ bahan bakar}} = 9892,69 \frac{kg}{\text{Jam}}$$

Menghitung udara pembakaran *flue gas* teoritis

Tabel II. 7 data Kebutuhan Udara Teoritis

Komponen	Berat Komponen	Kebutuhan Udara Pembakaran	Udara Pembakaran
	(lb)	(lb)	(lb)
CH ₄	78,657	17,27	1358,406
C ₂ H ₆	6,64	16,12	107,037
C ₃ H ₈	5,522	15,7	86,695
i C ₄ H ₁₀	1,64	15,49	25,404
n C ₄ H ₁₀	2,228	15,49	34,512
i C ₅ H ₁₂	1,147	15,35	17,606
n C ₅ H ₁₂	0,943	15,25	14,381
C ₆ H ₁₄	3,81	15,27	58,179
Total			1702,220

Kebutuhan udara pembakaran tiap komponen pada tabel 4.1. (Perry, 2008)

Kebutuhan udara pembakaran *flue gas* sebenarnya :

$$\begin{aligned}
 &= \sum \text{udara pembakaran} \times \text{Excess udara} \\
 &= 1702,220 \text{ lb/jam} \times 0,4945 \\
 &= 841,699 \text{ lb/jam} \times 0,464 \text{ kg/lb} \\
 &= 390,549 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Maka kebutuhan udara pembakaran seluruhnya adalah :

$$= \text{kebutuhan udara pembakaran fuel oil} + \text{kebutuhan udara pembakaran flue gas}$$

$$= 9878,02 \text{ kg/jam} + 390,549 \text{ kg/jam}$$

$$= 10284,986 \text{ kg/jam}$$

Jadi panas udara pembakaran (Q7)

$$Q7 = \text{kebutuhan udara pembakaran seluruhnya} \times C_p \text{ udara} \times (\text{Tactual} - \text{Tbasis})$$

Diketahui C_p udara (60°F) = $0,2404 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$ (Hilsentrath, 1965)

$$Q7 = 10284,986 \text{ kg/jam} \times 0,2404 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (32-0)^\circ\text{C} \times 3,968 \text{ Btu/kkal}$$

$$= \mathbf{292587,0235 \text{ Btu/jam}}$$

11. Panas Sensibel Air karena Kelembaban Udara (Q8)

$$Q8 = (\text{WA} \times \text{Ma}) \times C_p \text{ air} \times (\text{Tactual} - \text{Tbasis})$$

Dimana ,

WA = Kebutuhan udara seluruhnya

Ma = Berat air dalam udara kering
= 0,027 (dari Humidity Chart)

C_p Air = $1 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$

$$Q8 = (10284,986 \text{ kg/jam} \times 0,027) \times 1 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (32-0)^\circ\text{C} \times 3,968 \text{ Btu/kkal}$$

$$= \mathbf{35260,55294 \text{ Btu/jam}}$$

B. Menghitung Panas yang Termanfaatkan

1. Menghitung *Crude Oil* yang Teruapkan

Tabel II. 8 Analisa Distilasi *Crude Oil*, ASTM D-86 (Data LabPenguji Produksi PPSDM Migas, 2020)

No	% Distilasi	T($^\circ\text{C}$)	T($^\circ\text{F}$)
1	IBP	79	174,2
2	10	113	235,4

3	20	131	267,8
4	30	168	334,4
5	40	209	408,2
6	50	248	478,4
7	60	300	572
8	Max	300	572

Menghitung T EFV

Untuk menghitung T EFV diperlukan figure 12.8 dan 12.9 (Wyne, 1974). Figure 12.8 digunakan untuk mencari EFV pada 50% komponen yang diperlukan untuk mencari TEFV 50% adalah T ASTM 30% - T ASTM 10% dan T ASTM 50 %

Tahap Perhitungan :

$$\Delta T \text{ ASTM} = T \text{ ASTM } N\% - T \text{ ASTM } (N-1)\%$$

jika N=30% dan (N-1) = 10%, maka

$$\begin{aligned} \Delta T \text{ ASTM} &= T \text{ ASTM } 30\% - T \text{ ASTM } 10\% \\ &= (334,4 - 235,4)^{\circ}\text{F} = 99^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

Pada T ASTM 50% = 478,4⁰F dari fig. 12.8 Wyne didapatkan

$$\Delta T = -10^{\circ}\text{F}$$

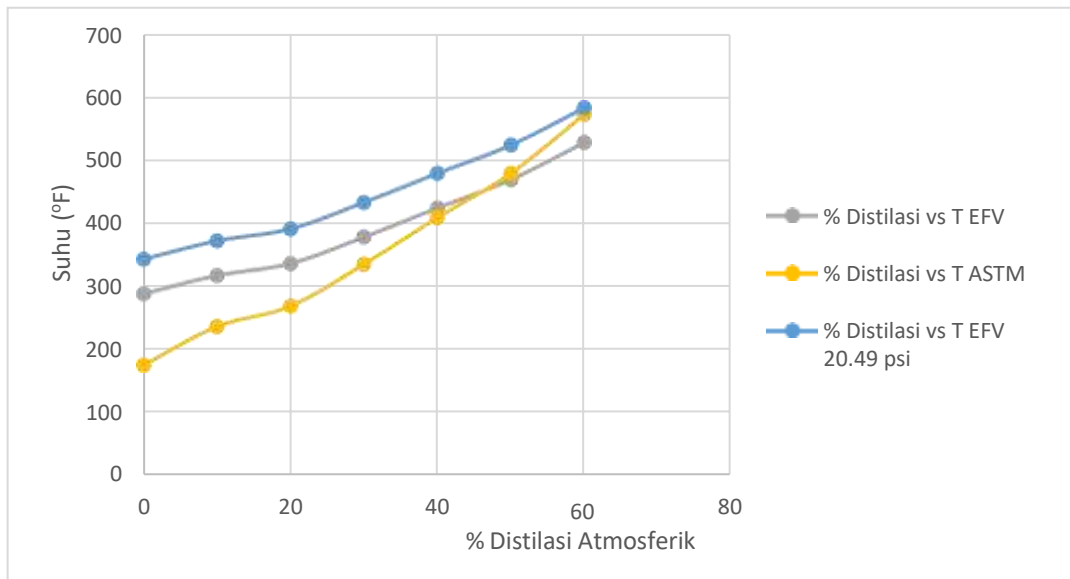
$$\begin{aligned} T \text{ EFV } 50\% &= T \text{ ASTM } 50\% + \Delta T \\ &= (478,4 - 10)^{\circ}\text{F} = 468,4^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

Figure 12.9 digunakan untuk mencari beda temperature untuk masing - masing % distilasi, kemudian beda temperature tersebut dapat digunakan untuk menentukan T EFV. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada tabel di bawah ini :

Tabel II. 9 Perubahan dari T ASTM menjadi T EFV

% Distilasi	Suhu ASTM		Interval	Suhu EFV	
	T (°F)	ΔT		ΔT	T (°F)
IBP	174,2				287,4
		61,2	0-10	29	
10	235,4				316,4
		32,4	10-30	19	
20	267,8				335,4
		66,6	10-30	42	
30	334,4				377,4
		73,8	30-50	46	
40	408,2				423,4
		70,2	30-50	45	
50	478,4				468,4
		93,6	50-70	59	
60	572				527,4

Hasil perhitungan pada tabel diatas dibuat dalam bentuk grafik antara % distilasi dengan T EFV sebagai berikut juga ditampilkan antara hubungan % distilasi dengan T ASTM, % distilasi dengan T EFV pada tekanan 14,7 psi dan % distilasi dengan T EFV pada tekanan operasi 37,8 psi :



Gambar II. 10 Grafik Hubungan % Distilasi Atmosferik vs T ASTM dan T EFV

Perpotongan antara kurva T ASTM dan T EFV merupakan titik campuran yaitu pada suhu 450 °F yang akan digunakan untuk menentukan titik didih *crude oil* pada keadaan standard (dapat dicari dengan bantuan figure 5.27 dan figure 5.27 (Nelson, 2006 pada P = 14,7 psi dan T = 450 °F diperoleh $T_{\text{boiling}} = 460$ °F. Setelah diperoleh titik didih standarnya kemudian dicari titik didih pada kondisi operasi furnace.

Kondisi Operasi *Furnace* :

$$\begin{aligned}
 P \text{ crude oil keluar } \textit{furnace} &= 0,41 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 5,796 + 14,7 \\
 &= 20,496 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$T \text{ crude oil keluar } \textit{furnace} = 339,93 \text{ } ^\circ\text{C} = 643,87^\circ\text{F}$$

Dengan menggunakan figure 5.27 pada suhu boiling yang sama dicari T EFV pada P = 20,496 psi dan diperoleh T = 505 °F. Beda suhu boiling point antara kondisi standard dan aktual adalah 55 °F. Sehingga dapat dibuat grafik distilasi EFV pada P = 20,496 psi yang sejajar dengan

grafik distilasi EFV pada $P = 14,7$ psi, yaitu dengan menambahkan intersept pada kurva sebesar 55°F . Dari grafik diatas untuk suhu keluar *furnace* = $643,87^{\circ}\text{F}$ diperoleh crude oil yang teruapkan adalah 65%.

C. Menghitung Masing-Masing Panas yang Termanfaatkan

1. Panas yang terbawa *Crude Oil* dalam Fasa Cair

$$Q_a = m \times L$$

Dimana :

m = massa *crude oil* fase cair

L = *heat content crude oil* pada fase cair (Tabel 16)

Dari gambar diperoleh massa yang teruapkan adalah 65% dari massa total, sehingga massa fase cairnya adalah $100\% - 65\% = 35\%$

$$\begin{aligned} m &= 0,35 \times 12,4772 \text{ m}^3/\text{jam} \times 264,172 \text{ gal/m}^3 \\ &= 1153,641 \text{ gal/jam} \end{aligned}$$

$$L = 611,4 \text{ Btu/gal}$$

$$\begin{aligned} Q_a &= 1153,641 \text{ /jam} \times 611,4 \text{ Btu/lb} \\ &= \mathbf{705336,306 \text{ Btu/jam}} \end{aligned}$$

2. Panas yang Terbawa *Crude Oil* dalam Fasa Uap

$$Q_b = m \times H$$

Dimana :

m = massa *crude oil* fase cair

H = *heat content crude oil* pada fase uap (Tabel 17)

Dari gambar diperoleh massa yang teruapkan adalah 65% dari massa total, sehingga massa fase uapnya adalah 65%

$$\begin{aligned} m &= 0,65 \times 12,4772 \text{ m}^3/\text{jam} \times 264,172 \text{ gal/m}^3 \\ &= 2142,477 \text{ gal/jam} \end{aligned}$$

$$H = 1378,68 \text{ Btu/gal}$$

$$Q_b = 2142,477 \text{ gal/jam} \times 1378,68 \text{ Btu/gal}$$

$$= 2953789,842 \text{ Btu/jam}$$

D. Perhitungan Panas yang Hilang

1. Panas Terbawa Oleh Gas Asap Kering (Q1')

a. Menghitung Cp gas asap

Tabel II. 10 Data Cp Gas Asap

Komponen	A	B	C	D	E	F
	BM	%	(A*B)/100	fraksi berat	Cp	D*E
	kg/kgmol	Mol	kg/kgmol	D=C/ΣC	kkal/kg °C	
CO2	44	10,25	4,51	0,151	0,2015	0,0304
O2	32	7,26	2,32	0,078	0,2191	0,0170
N2	28	82,49	23,10	0,772	0,2483	0,1916
Total	-	100	29,9304	1	-	0,2390

$$\Sigma F = 0,2390 \text{ Kkal/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Panas pembakaran } flue \text{ gas} = 150606472,863 \text{ Btu/jam}$$

$$\text{LHV } fuel \text{ oil} = 17908,909 \text{ Btu/lb}$$

b. Menghitung berat gas asap per kg bahan bakar

Jika bahan bakar fuel gas diganti dengan *fuel oil*, maka :

$$= \frac{150606472,863 \text{ Btu/jam}}{17908,909 \text{ Btu/lb}}$$

$$= 8409,584 \text{ lb/jam}$$

c. Penggunaan bahan bakar *fuel oil* seluruhnya

$$= 8409,584 \text{ lb/jam} + 998,9984 \text{ lb/jam}$$

$$= 9408,582 \text{ lb/jam} \times 0,464 \text{ kg/lb}$$

$$= 4365,582 \text{ kg/jam}$$

d. Besar gas asap per kg bahan bakar

$$W_{FG} = \frac{11}{3} C + 9 H_2 + 2S + 0,77 W_a + 0,00023 \cdot X \cdot W_A$$

Diketahui :

$$\% \text{ wt C} = 87,691 \% = 0,87691$$

$$\% \text{ wt H}_2 = 12,309 \% = 0,12309$$

$$X = 49,45$$

$$W_a = 14,59 \text{ kg/kg bahan bakar}$$

$$W_A = 21,803 \text{ kg/kg bahan bakar}$$

$$\begin{aligned} W_{FG} &= 11/3(0,87691) + 9(0,12309) + 2(0) + 0,77(14,59) + \\ & 0,00023 \times 49,45 \times 21,803 \\ &= 15,8047 \text{ kg/kg bahan bakar} \end{aligned}$$

e. Berat gas asap keseluruhan

$$\begin{aligned} &= W_{FG} \times \text{penggunaan } \textit{fuel oil} \text{ seluruhnya} \\ &= 15,8047 \text{ kg/kg bahan bakar} \times 4365,582 \text{ kg/jam} \\ &= 69003,0906 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

f. Panas yang terbawa asap kering (Q_1')

$$\begin{aligned} Q_1' &= \text{berat gas asap seluruhnya} \times C_{FG} \times \Delta T \\ &= 69003,0906 \text{ kg/jam} \times 0,239 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (32- \\ & 0)^\circ\text{C} \times 3,97 \text{ Btu/jam} \\ &= \mathbf{2095110,478 \text{ Btu/jam}} \end{aligned}$$

2. Panas Terbawa Oleh Asap Uap Air dalam Gas Asap karena Adanya H_2 dalam Bahan Bakar (Q_2')

$$Q_2' = 9H_2 \times H_{\text{sup}} \times \text{penggunaan bahan bakar } \textit{fuel oil}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} H_{\text{sup}} &= 2875,3 \text{ kJ/kg (Tabel A.2-10) (Geankoplis, 2003)} \\ &= 687,6 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

$$H_2 = \% \text{ wt H}_2 = 0,12309$$

Maka :

$$\begin{aligned} Q_2' &= 9(0,12309) \times 687,6 \text{ kkal/kg} \times 4365,582 \text{ kg/jam} \times 3,968 \text{ Btu/kkal} \\ &= \mathbf{13202356,5084 \text{ Btu/jam}} \end{aligned}$$

3. Panas yang Terbawa Oleh Uap Air dalam Gas Asap karena Kandungan Air (H₂O) dalam Udara Bahan Bakar (Q3')

$$Q3' = W \times H_{\text{sup}} \times \text{penggunaan bahan bakar } \textit{fuel oil}$$

Dimana :

$$W = \text{kandungan air dalam bahan bakar} = 0,1 \text{ (data dari Analisa PPSDM Migas)}$$

$$H_{\text{sup}} = 687,6 \text{ kkal/kg}$$

Maka :

$$\begin{aligned} Q3' &= 0,1 \times 687,6 \text{ kkal/kg} \times 4365,582 \text{ kg/jam} \\ &= 299828,178 \text{ kkal/jam} \times 3,968 \text{ Btu/kkal} \\ &= \mathbf{110656,471 \text{ Btu/jam}} \end{aligned}$$

4. Panas yang Terbawa Oleh Uap Air dalam Gas karena Kelembaban Udara dalam Bahan Bakar (Q4')

$$Q4' = WA \times Ma \times H_{\text{sup}} \times \text{penggunaan bahan bakar } \textit{fuel oil}$$

Dimana :

$$WA = 21,835 \text{ kg/kg bahan bakar}$$

$$Ma = 0,025$$

$$H_{\text{sup}} = 687,6 \text{ kkal/kg}$$

$$\begin{aligned} Q4' &= 21,835 \text{ kg/kg bahan bakar} \times 0,025 \times 687,6 \text{ kkal/kg} \times \\ &\quad 4365,582 \text{ kg/jam} \times 3,968 \text{ Btu/kkal} \\ &= \mathbf{6505288,399 \text{ Btu/jam}} \end{aligned}$$

5. Panas Hilang Melalui Dinding *Furnace* (Q5')

a. Temperature luar dinding (T2)

$$T2 = 176 \text{ }^\circ\text{F} = 635,67^\circ\text{R}$$

b. Temperature lingkungan sekitar *furnace* (T1)

$$T1 = 89,6 \text{ }^\circ\text{F} = 549,27^\circ\text{R}$$

c. Luas permukaan radiasi

$$A = 2052,036 \text{ ft}^2$$

d. *emissivity of external wall surface of the furnace*

$$\epsilon = 0,8 \text{ (dari tabel 5-6 Perry)}$$

e. Asumsi kecepatan angin

$$V = 10 \text{ km/jam} = 9,113 \text{ ft/s}$$

f. Mencari nilai h

$$h = (17,4 \cdot 10^{-10} \times \epsilon \times (T_2^4 - T_1^4)) + ((1 + 0,255 V) \times (T_2 - T_1))$$

$$h = 387,7576 \frac{\text{Btu}}{\text{jam.ft}^2}$$

g. Mencari nilai hi

$$h_i = \frac{h}{T_2 - T_1}$$

$$h_i = \frac{387,7576 \frac{\text{Btu}}{\text{jam.ft}^2}}{(635,67 - 549,27)^\circ\text{R}}$$

$$= 4,4879 \frac{\text{Btu}}{\text{jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{R}}$$

$$Q_5' = h_i \times A \times (T_2 - T_1)$$

$$= 4,4879 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{R} \times 2052,036 \text{ ft}^2 \times (635,67 - 549,27)^\circ\text{R}$$

$$= \mathbf{795633,903 \text{ Btu/jam}}$$

E. Neraca Panas Furnace

Tabel II. 11 Neraca Panas Furnace 5

Panas Masuk	Btu/jam	Panas Keluar	Btu/jam
Panas Pembakaran <i>Fuel Oil (Q1)</i>	17890970,926 Btu/jam	Panas yang Terbawa <i>Crude</i> <i>Oil</i> Fasa Cair (Qa)	705336,306 Btu/jam
Panas <i>Sensibel</i> <i>Fuel Oil (Q2)</i>	13380,957 Btu/jam	Panas yang Terbawa <i>Crude</i> <i>Oil</i> Fasa Uap (Qb)	2953789,842 Btu/jam

Panas yang Dibawa Umpan (Q3)	1853528,059 Btu/jam	Panas Terbawa Oleh Gas Asap Kering (Q1')	2095110,478 Btu/jam
Panas Pembakaran <i>Flue Gas</i> (Q4)	150606472,863 Btu/jam	Panas Terbawa Oleh Asap Uap Air dalam Gas Asap karena Adanya H2 dalam Bahan Bakar (Q2')	13202356,5084 Btu/jam
Panas <i>Sensibel Flue Gas</i> (Q5)	2690,100 Btu/jam	Panas yang Terbawa Oleh Uap Air dalam Gas Asap karena Kandungan Air (H2O) dalam Udara Bahan Bakar (Q3')	110656,471,258 Btu/jam
Panas <i>Automizing Steam</i> (Q6)	433643,207 Btu/jam	Panas yang Terbawa Oleh Uap Air dalam Gas karena Kelembaban Udara dalam Bahan Bakar (Q4')	6505288,399 Btu/jam
Panas Udara Pembakaran (Q7)	292587,0235 Btu/jam	Panas Hilang Melalui Dinding <i>Furnace</i> (Q5')	795633,903 Btu/jam

Panas Sensibel Air karena Kelembaban Udara (Q8)	35260,553 Btu/jam		
Total	171129033,688 Btu/jam	Total	27368171,908 Btu/jam

$$\text{Effisiensi } Furnace = \frac{\text{Total Panas Masuk} - \text{Total panas Keluar}}{\text{Total Panas Masuk}} \times 100 \%$$

$$= \frac{171129033,668 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}} - 27368171,908 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}}{171129033,668 \text{ Btu/jam}} \times 100\%$$

$$= 84,00728893 \% = 84,0073 \%$$

II.2.3 Pembahasan

Pada penelitian ini *Furnace* yang diamati yaitu *Furnace 05* type silinder berfungsi sebagai alat pemanas *crude oil* sebelum memasuki kolom fraksinasi. Pada pengolahan minyak bumi, *crude oil* harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum memasuki kolom fraksinasi. Sumber panas untuk *furnace* berasal dari *fuel oil*, *fuel gas*, dan *steam*. Tujuan pemanasan pada *furnace* agar *crude oil* sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan untuk proses berikutnya. Sistem perpindahan panas yang terjadi pada *furnace* terdiri dari perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada perpindahan panas secara radiasi, terjadi karena adanya energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar pada *burner* yang kemudian diterima secara langsung oleh dinding luar *tube furnace* tanpa adanya media penghantar. Sedangkan pada perpindahan panas secara konduksi terjadi karena adanya transfer panas dari dinding luar *tube furnace* ke dinding bagian dalam *tube* tersebut. Perpindahan panas yang terakhir adalah perpindahan panas secara konveksi, terjadi karena adanya perpindahan panas dari dinding bagian dalam *tube* ke *crude oil* yang ada di dalam *tube furnace* tersebut. *Furnace* di PPSDM MIGAS Cepu memiliki fungsi utama sebagai alat pengolahan *crude oil*, namun juga digunakan untuk pembelajaran bagi mahasiswa, karyawan serta masyarakat. Ada

unit *furnace* di PPSDM MIGAS Cepu, yaitu 2 unit tipe *vertical silinder* dan 4 unit tipe *furnace box*, namun yang dioperasikan hanya 1 disesuaikan dengan bahan baku yakni 1 unit *furnace box*.

Berdasarkan perpindahan panas tersebut, maka efisiensi *furnace* dapat dihitung sebagai indikasi layak atau tidaknya *furnace* tersebut beroperasi. Perhitungan efisiensi ini juga dapat dijadikan acuan bagi PPSDM Migas Cepu untuk *shutdown* dan perbaikan *furnace* tersebut. Operasi *furnace* dapat dikatakan efisien apabila sistem penyalan api *burner* baik, reaksi pembakaran berlangsung sempurna, panas pembakaran dari *fuel oil* dan *flue gas* dapat tersalur dengan baik pada cairan yang dipanaskan, permukaan *tube furnace* bersih, serta dapat memperkecil panas yang hilang baik melalui *stack* maupun dinding *furnace* tersebut.

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh efisiensi *furnace-05* PPSDM Migas Cepu sebesar 84,0073 %,.. Menurut W. Trinks (2000) menyatakan bahwa efisiensi *furnace* yang masih layak dipakai sebesar 60-90 %, sehingga *furnace-05* pada PPSDM Migas Cepu masih layak untuk beroperasi. Penurunan efisiensi *furnace* disebabkan alat telah tua dan *excess air* cukup besar dan adanya kebocoran pada alat baik lewat dinding maupun lewat cerobong.