



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

Proses pengolahan minyak bumi di PPSDM Migas Cepu menggunakan Crude Distillation Unit (CDU), Proses ini terjadi di distilasi atmosferik. Unit distilasi atmosferik merupakan suatu unit yang bertugas melaksanakan seluruh rangkaian kegiatan pemisahan minyak mentah (*crude oil*) menjadi produk-produk minyak bumi berdasarkan tekanan satuan atmosfer. Peralatan utama unit distilasi untuk dapat terlaksananya proses pengolahan, maka dibutuhkan peralatan pokok antara lain:

1. Pompa

Fungsi pompa di kilang adalah untuk mengalirkan cairan dari suatu tempat ke tempat lain. Yang digunakan adalah pompa torak dengan penggerak steam, pompa centrifugal 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 tangki.

2. Alat Penukar Panas (*Heat Exchanger*)

Heat Exchanger merupakan alat untuk memanaskan *crude oil* dengan memanfaatkan panas produk kilang. HE berfungsi sebagai pemanas awal (*preheater*) *crude oil* untuk tujuan efisiensi panas. HE yang digunakan adalah jenis *Shell and Tube Heat Exchanger*, *Crude Oil* dilewatkan pada *tube* dan produk panas dalam *shell*. Jumlah HE yang dioperasikan ada lima unit, dua HE memanfaatkan



panas produk residu, dan tiga HE memanfaatkan panas produk solar, sehingga temperatur *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. Fungsi dari *stabilizer* ini adalah agar aliran produk yang telah keluar dari *Heat Exchanger* stabil untuk masuk ke dalam *furnace*.

4. Dapur Pemanas / *Furnace*

Berfungsi untuk memanaskan *crude oil* dari kurang lebih 110°C menjadi kurang lebih 330°C. Pada temperatur 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 titik 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 tiga *stripper* yang dioperasikan yaitu : satu unit untuk *stripper* solar, satu unit untuk *stripper* residu dan satu unit pertasol CC *stripper*.

8. Kondensor

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

9. *Cooler*



Berfungsi untuk mendinginkan fluida panas menjadi fluida dingin sesuai suhu yang 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 atau menyimpan *crude oil* dan produk-produknya. Ada beberapa tangki yang dioperasikan dan tiap-tiap dari tangki tersebut memiliki wama yang berbeda-beda tergantung dari jenis fluida di dalam tangki tersebut.

II.2 Uraian Tugas Khusus

HE (*heat exchanger*) adalah suatu alat digunakan dalam proses perpindahan panas fluida dengan fluida yang lain tanpa terjadi perpindahan massa didalamnya dan dapat dipergunakan sebagai pemanas maupun pendingin (Veriyawan, 2014). Efisiensi penggunaan dan pemanfaatan panas dari proses *heat exchanger* dapat mempengaruhi ekonomi operasi pada kilang. Pengoperasian dan pemanfaatan *heat exchanger* secara optimum akan meningkatkan efisiensi energi pada suatu unit proses yang pada akhirnya berpengaruh terhadap *operating cost unit* proses maupun kilang tersebut. Pada alat *heat exchanger* memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap keberhasilan dari keseluruhan rangkaian proses pada suatu industri. Jika terjadi kegagalan operasi pada peralatan ini baik mekanikal maupun operasional dapat menyebabkan berhentinya unit operasi. Selain itu dalam suatu kilang minyak, proses perpindahan panas sangat penting dalam rangka energi konservasi, keperluan proses, persyaratan keamanan dan perlindungan terhadap lingkungan. Oleh karena itu suatu alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) dituntut untuk memiliki kinerja yang baik agar diperoleh hasil yang maksimal serta dapat menunjang penuh terhadap suatu unit operasi.

II.2.1 Prinsip Kerja *Heat Exchanger*

Prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda di mana transfer panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung:

a) Secara kontak langsung

Panas yang dipindahkan antara fluida panas dan dingin melalui permukaan kontak langsung berarti tidak ada dinding antara kedua fluida. Transfer panas yang terjadi yaitu melalui interfase / penghubung antara kedua fluida. Contoh: aliran steam pada kontak langsung yaitu 2 zat cair yang immiscible (tidak dapat bercampur), gas-liquid, dan partikel padat-kombinasi fluida.

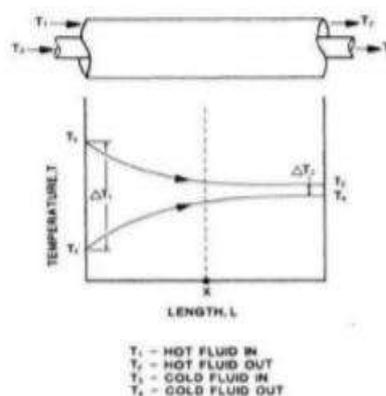
b) Secara kontak tak langsung

Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah, sehingga sistem ini, kedua fluida akan mengalir (Kern, 1965).

II.2.2 Jenis Aliran pada *Heat Exchanger*

1. *Parallel flow* (Aliran Searah)

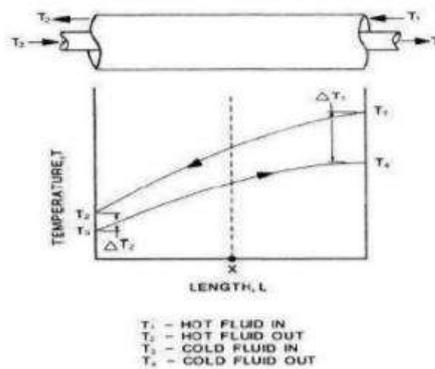
Aliran searah terjadi ketika arah aliran dua cairan dalam penukar panas sejajar. Ini berarti bahwa kedua cairan memasuki satu sisi dan keluar dari sisi lainnya, mengalir dalam arah yang sama. Karakter dari jenis penukar panas ini adalah bahwa suhu energi yang menyediakan cairan akan selalu lebih tinggi daripada yang menerima energi dari saat memasuki penukar panas sampai keluar



Gambar II. 1 Aliran Searah

2. *Counter flow* (Aliran Berlawanan Arah)

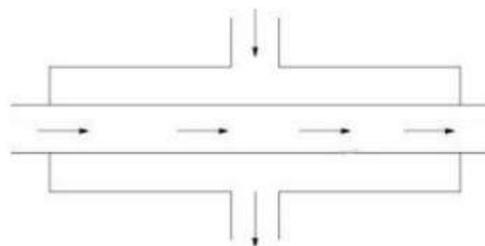
Aliran berlawanan arah adalah arah berlawanan dari aliran, di mana satu fluida masuk di ujung penukar panas, sedangkan fluida lain masuk di ujung lain dari penukar panas, yang masing-masing mengalir dalam arah berlawanan. Untuk jenis aliran arus balik ini memberikan panas yang lebih baik bila dibandingkan dengan aliran langsung atau paralel. Sementara jumlah lintasan mempengaruhi efektivitas penukar panas yang digunakan



Gambar II. 2 Aliran berlawanan Arah

3. *Cross flow* (Aliran Silang)

Cross-flow atau sering disebut dengan aliran silang adalah apabila fluida-fluida yang mengalir sepanjang permukaan bergerak dalam arah saling tegak lurus. Pada aliran ini, besarnya beda temperatur rata-rata adalah besarnya LMTD aliran berlawanan dikalikan besarnya faktor koreksi. Besarnya faktor koreksi diberikan sesuai dengan bentuk dari konstruksi saluran dimana dua fluida yang berbeda temperatur mengalir.



Gambar II. 3 Aliran Silang

(Husen, 2020)

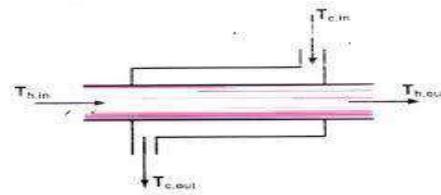


II.2.3 Jenis *Heat Exchanger*

Dalam industri proses perpindahan panas antara dua fluida umumnya dilakukan di *heat exchanger*. Jenis yang paling umum adalah cairan dimana fluida panas dan dingin tidak bersentuhan langsung satu sama lain tetapi dipisahkan oleh dinding tabung atau permukaan datar atau melengkung. Ada beberapa macam jenis *heat exchanger* yang pertama *double pipe heat exchanger*, *shell and tube exchanger*, *cross flow exchanger*.

1. *Double-Pipe Heat Exchanger*

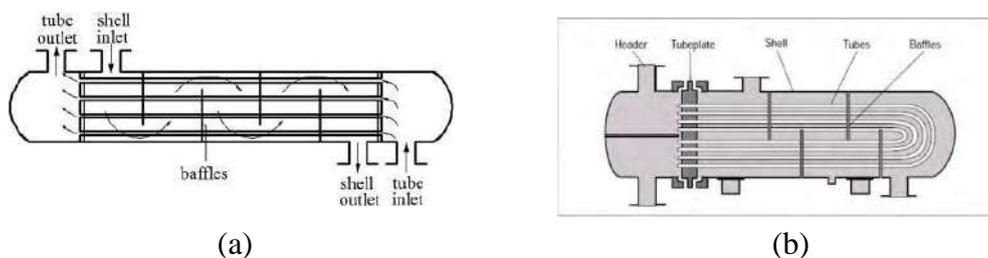
Penukar paling tipis adalah penukar pipa ganda atau pipa konsentris. Dimana satu fluida mengalir didalam satu pipa dan fluida lainnya dalam ruang melingkar diantara dua pipa. Cairan bisa dalam aliran *cocurrent* atau *countercurrent*. Alat penukar dapat dibuat dari sepasang pipa dengan panjang tunggal dengan alat kelengkapan di ujung atau dari beberapa pasang yang saling berhubungan secara sama. Jenis penukar ini berguna terutama untuk laju aliran kecil. Untuk menghindari tempat yang terlalu panjang, *heat exchanger* ini dibentuk menjadi U. Penukar kalor pipa ganda terdiri atas dua set pipa konsentris, dua *tee* (katup) penghubung, *return head* (kepala balik) dan *return bend* (tikungan balik). Pipa bagian dalam didukung di dalam pipa luar dengan kelenjar pengepakan, dan cairan memasuki pipa bagian dalam melalui koneksi berulir yang terletak di luar bagian penukar yang tepat. Katup memiliki koneksi *nozel* atau sekrup yang melekat untuk memungkinkan masuk dan keluarnya cairan *anulus* yang melintasi dari satu pipa ke pipa lainnya melalui kepala balik. Kedua panjang pipa bagian dalam dihubungkan oleh sebuah tikungan balik yang biasanya terbuka dan tidak memberikan permukaan perpindahan panas yang efektif (Geankoplis, 1993). Penukar kalor pipa ganda adalah peralatan yang digunakan untuk menukarkan kalor antara fluida panas dan fluida dingin menggunakan dua pipa konsentrik. Pada penelitian ini penukar kalor pipa ganda digunakan pada aplikasi pemanas air tenaga surya menggunakan dua fluida yang berbeda (Safitra, 2018).



Gambar II. 4 *Flow in a double pipe heat exchanger*

2. *Shell and Tube Exchanger*

Penukar panas *shell and tube* merupakan jenis penukar panas yang populer karena fleksibilitasnya memungkinkan untuk berbagai tekanan dan suhu. Umumnya digunakan dalam industri proses kimia, terutama di kilang minyak yang melibatkan volume besar cairan yang akan diproses (Ameta, 2017). Jika arus yang lebih besar terlibat, penukar *shell and tube* digunakan, yang merupakan jenis penukar terpenting yang digunakan dalam industri proses. Dalam penukar ini alirannya kontinu. Tabung disusun dalam *bundle*, ditutup dalam satu cangkang. Penukar *shell tube* yang paling sederhana ditunjukkan pada gambar II.4a untuk 1 *shell pass* dan 1 *tube pass*, atau penukar *counterflow* I-1. Cairan dingin masuk dan mengalir ke dalam melalui semua tabung masuk secara parallel (Geankoplis, 1993). Alat ini terdiri dari sebuah *shell* (tabung/slinder besar) dimana didalamnya terdapat suatu *bundle* (berkas) pipa dengan diameter yang relatif kecil. Satu jenis fluida mengalir didalam pipa-pipa sedangkan fluida lainnya mengalir dibagian luar pipa tetapi masih didalam *shell*, dimana temperatur fluida di dalam *tube bundle* berbeda dengan di luar *tube* (di dalam *shell*) sehingga terjadi perpindahan panas antara aliran fluida didalam *tube* dan di luar *tube*. Adapun daerah yang berhubungan dengan bagian dalam *tube* disebut dengan *tube side* dan yang di luar dari *tube* disebut *shell side*. Jenis ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan dalam industri perminyakan (Budiman, 2014).

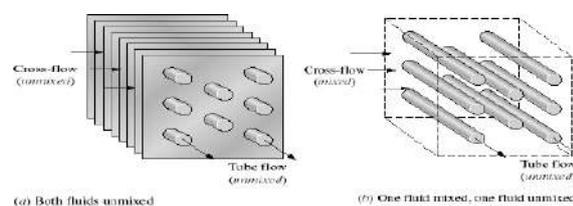


Gambar II. 5 (a) 1 *shell pass* dan 1 *tube pass*, (b) 1 *shell pass* dan 2 *tube pass*

Cairan panas masuk di ujung lain dan mengalir berlawanan arah di luar tabung. *Baffle* silang digunakan sehingga fluida dipaksa untuk mengalir tegak lurus melintasi tepian tabung daripada sejajar dengannya. Turbulensi tambahan yang dihasilkan oleh aliran silang ini meningkatkan koefisien perpindahan panas sisi- *shell*. Pada Gambar II.5b sebuah penukar arus balik paralel 1-2 diperlihatkan. Cairan di sisi tabung mengalir dalam dua lintasan seperti yang ditunjukkan dan cairan sisi cangkang mengalir dalam satu lintasan. Pada lintasan pertama sisi tabung fluida dingin mengalir berlawanan dengan fluida sisi *shell* panas, dan pada lintasan kedua sisi tabung fluida dingin mengalir secara paralel (arus bersama) dengan fluida panas. Jenis penukar lain memiliki 2 lintasan sisi-*shell* dan 4 lintasan tabung.

3. *Cross flow exchanger*

Ketika gas seperti udara dipanaskan atau didinginkan, perangkat yang umum digunakan adalah penukar panas aliran silang yang ditunjukkan pada Gambar II.6b. Salah satu fluida, yaitu cairan, mengalir ke dalam melalui tabung dan gas luar mengalir melintasi bundel tabung dengan konveksi paksa atau kadang-kadang alami. Cairan di dalam tabung dianggap tidak tercampur karena dibatasi dan tidak dapat bercampur dengan aliran lain. Aliran gas di luar tabung tercampur karena dapat bergerak bebas di antara tabung dan akan ada kecenderungan suhu gas untuk menyamakan arah normal dengan aliran. Untuk fluida yang tidak tercampur di dalam tabung akan terjadi gradien temperatur baik sejajar maupun normal terhadap arah aliran.



Gambar II. 6 *Flow patterns of cross-flow heat exchanger: (a) both fluid unmixed (b) one fluid mixed, one fluid unmixed*

(Geankoplis, 1993)

Penukaran kalor arus silang banyak digunakan dalam pemanasan dan pendinginan udara atau gas. Alat penukar panas yang menggunakan aliran silang biasanya digunakan Ketika kedua fluida tidak tercampur atau satu fluida tercampur



dan yang lain tidak tercampur. Contoh penggunaan *heat exchanger* jenis ini biasanya digunakan dalam AC (*air conditioner*), cara kerjanya gas dialirkan menyilang berkas tabung dan gas dibatasi oleh dinding-dinding pemisah atau sering dikenal sebagai fin dan fluida lain berada di didalam tabung (Haryadi, 2012).

II.2.4 *Shell and Tube Heat Exchanger*

Heat exchanger jenis ini merupakan tipe penukar panas yang paling sering digunakan terutama di industri karena harganya yang relatif murah dan perawatannya yang mudah. *Heat exchanger-02* merupakan jenis *shell and tube*, yang mana perpindahan panasnya terjadi secara konduksi dan radiasi. Dilihat dari penggunaannya alat ini dibagi ke dalam dua kategori, yaitu:

1. Penukar panas proses (proses *heat exchanger*)
2. Penukar panas pembangkit tenaga

Kelebihan:

1. Memberikan luas permukaan yang besar dengan volume kecil
2. Mampu dioperasikan pada tekanan tinggi
3. Dapat dirancang dengan menggunakan berbagai jenis bahan atau material
4. Mudah dalam perawatan
5. Memiliki prosedur thermal dan desain mekanik yang baik.

Kekurangan:

Pemasangan sekat akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menyebabkan beban kerja pompa bertambah berat, sehingga laju alir fluida harus diatur sedemikian rupa.

II.2.5 *Komponen Shell and Tube Heat Exchanger*

Komponen-komponen utama *shell and tube heat exchanger* ini terdiri dari:

1. *Shell*

Konstruksi dari *shell* ini bergantung pada kondisi *tube* yang akan ditempatkan di dalam *shell* dan temperatur fluida yang akan mengalir dalam *shell* tersebut. Untuk temperatur yang sangat tinggi, kadang diberi sambungan ekspansi. Biasanya *shell* dalam sebuah *heat exchanger* berbentuk bulat memanjang (silinder)



yang berisi *tube bundle* sekaligus sebagai wadah mengalirkan zat atau fluida. Untuk kemungkinan korosi, tebal *shell* sering diberi kelebihan 1/8 inch. Pembagian tipe *shell* dibagi berdasarkan *front-end stationary head type*, *shell type*, dan *rear head type*.

2. Tube

Tube pada sebuah *Heat Exchanger* biasanya berupa pipa-pipa kecil dalam jumlah tertentu dan dalam diameter tertentu pula. Diameter dalam merupakan diameter dalam aktual dalam ukuran inchi, dengan toleransi yang sangat tepat. *Tube* dapat dibuat dari berbagai jenis logam seperti besi, tembaga, muniz metal, perunggu, 70-30 tembaga-nikel, aluminium perunggu, aluminium dan stainless steel. Untuk ukuran ketebalan pipa tube yang berbeda-beda dinyatakan dalam bilangan yang disebut "*Birmingham WireGage*" (BWG). Ukuran pipa tersebut secara umum biasanya digunakan dengan mengikuti ukuran-ukuran yang telah baku. Semakin besar bilangan BWG maka semakin tipis tubenya. *Tube* dalam *shell* memiliki beberapa jenis susunan. Susunan yang lazim digunakan adalah segitiga (*triangular*), persegi (*square*), dan diamond (*rotated square*).

Tabel II. 1 Perbandingan Pola Segitiga, Persegi, dan Diamond pada Susunan *Tube*

Jenis	Kelebihan	Kekurangan
Segitiga	<ol style="list-style-type: none">1. Laju perpindahan panas cukup besar2. Jumlah <i>tube</i> dapat dibuat menjadi lebih banyak	<ol style="list-style-type: none">1. Pressure drop cukup besar2. Pembersihan sulit, menggunakan bahan kimia
Persegi	<ol style="list-style-type: none">1. <i>Pressure drop</i> rendah2. Dapat dibersihkan secara mekanik3. Cocok untuk menangani fluida <i>fouling</i>	<ol style="list-style-type: none">1. Koefisien film relatif rendah
Diamond	<ol style="list-style-type: none">1. Koefisien film lebih tinggi dibandingkan pola persegi, tetapi	<ol style="list-style-type: none">1. Koefisien film relatif rendah



	lebih rendah dibandingkan pola segitiga	
	2. Mudah dibersihkan secara mekanik	
	3. Baik untuk fluida <i>fouling</i>	

3. *Tube sheet*

Berfungsi sebagai tempat untuk merangkai ujung-ujung *tube* sehingga menjadi satu yang disebut *tube bundle*. *Tube sheet* terbuat dari material dengan ketebalan dan jenis tertentu tergantung dari jenis fluida yang mengalir pada peralatan tersebut. *Heat exchanger* dengan tube lurus pada umumnya menggunakan dua buah *tube sheet*. Sedangkan pada tube tipe U inenggunakan satu buah *tube sheet* yang berfungsi untuk menyatukan *tube-tube* menjadi *tube bundle* dan sebagai pemisah antara *tube side* dengan *shell*. *Tube sheet* harus tahan korosi terhadap fluida

4. *Tube Pitch*

Lubang-lubang pipa pada penampang *shell* dan *tube* tidak disusun secara begitu saja namun mengikuti aturan tertentu. Lubang *tube* (*tube hole*) tidak boleh saling berdekatan. Jarak antar dua buah *tube* yang saling berdekatan disebut dengan *clearance*. Jumlah pipa dan ukuran *tube* pun harus disesuaikan dengan ukuran *shell*-nya, ketentuan ini mengikuti aturan buku yang ada. Untuk lubang lubang pipa dapat berbentuk persegi atau segitiga. Bentuk susunan lubang-lubang pipa secara persegi dan segitiga ini disebut sebagai *tube pitch*. Jenis-jenis *tube pitch* yang utama adalah:

a) *Square pitch*

Digunakan untuk *heat exchanger* dengan *pressure drop* yang rendah dan pembersihan secara mekanik dilakukan pada bagian luar *tube*. Pusat-pusat *tube* saling membentuk sudut 90°.

b) *Triangular pitch*

Digunakan untuk fluida yang tingkat kekotorannya tinggi ataupun rendah. Pusat-pusat *tube* saling membentuk sudut 60° searah dengan aliran fluidanya.

c) *Square pitch rotated*

Digunakan untuk *heat exchanger* dengan *pressure drop* dan nilai perpindahan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan *square pitch*. Pusat pusat *tube* saling membentuk sudut 45°.



d) *Triangular pitch with cleaning lanes*

Tipe ini jarang digunakan, tetapi dapat digunakan untuk *heat exchanger* dengan *pressure drop* sedang hingga tinggi. Memiliki nilai perpindahan panas yang lebih baik dari *square pitch*.

5. *Tie Rods*

Batangan besi yang dipasang sejajar dengan *tube* dan ditempatkan di bagian paling luar dari *baffle* yang berfungsi sebagai penyangga agar jarak antara *baffle* yang satu dengan lainnya tetap.

6. *Baffle*

Baffle merupakan bagian yang penting dari alat penukar panas. Kondisi kecepatan aliran baik dalam *shell* maupun *tube* dapat diatur oleh *baffle*. Fungsi *baffle* ini adalah untuk membuat aliran turbulen sehingga perpindahan panas menjadi lebih baik, dimana harga koefisien perpindahan panas yang didapat besar serta menambah waktu tinggal (*residence time*). Tetapi pemasangan *baffle* akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus diatur. Luas *baffle* 75% dari penampungan *shell*. Spasi antar *baffle* tidak lebih dekat dari $1/5$ diameter *shell* karena apabila terlalu dekat akan didapat kehilangan tekanan yang besar.

7. *Longitudinal Baffle*

Longitudinal baffle merupakan lempengan sekat yang dipasang sejajar poros *shell* yang berfungsi memperbanyak jumlah aliran fluida dalam *shell*.

8. *Channel*

Channel berfungsi untuk membalikkan arah aliran fluida dalam *tube* pada *fixed tube exchanger*.

9. *Nozzle*

Nozzle merupakan saluran masuk dan keluar fluida dalam *shell* ke dalam *tube*.

II.2.6 Pemilihan Fluida yang dilewatkan *Tube and Shell*

Dalam pemilihan fluida yang akan dilewatkan dalam *tube* maupun *shell* terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi, faktor-faktor tersebut antara lain:



1. Kemudahan Perawatan

Jika membandingkan cara membersihkan antara *tube and shell*, maka akan lebih mudah membersihkan bagian *tube*. Karena fluida bersih dialirkan pada bagian *shell* dan fluida kotor melalui *tube*. Fluida kotor dialirkan melalui *tube* karena *tube* lebih mudah dibersihkan.

2. Sifat Aliran Fluida

Apabila laju arus fluida dalam *tube* kecil maka pola alirannya laminar sehingga tidak sesuai dengan yang diinginkan. Pola aliran seharusnya turbulen karena koefisien perpindahan panasnya akan lebih besar. Aliran dalam *tube* mempunyai kecepatan yang besar sehingga dapat mencegah terjadinya endapan.

3. Kekotoran Fluida

Fluida kotor dilewatkan melalui *tube* karena lebih mudah dibersihkan. Fluida kotor juga dapat dilewatkan melalui *shell*, apabila *tube* tidak bisa dibersihkan karena terdapat reruntuhan yang terkumpul di *shell*.

4. Kekorosan Fluida

Korosi dipengaruhi oleh penggunaan paduan logam. Paduan logam tersebut besar oleh karena itu fluida yang korosif dialirkan melalui *tube* untuk memangkas biaya yang diakibatkan oleh kerusakan *shell*.

5. Tekanan

Fluida bertekanan tinggi dilewatkan pada *tube* karena apabila dilewatkan *shell* membutuhkan diameter dan ketebalan *shell* yang lebih sehingga membutuhkan biaya yang lebih besar.

6. Temperatur

Fluida bertemperatur tinggi dilewatkan pada *tube* karena panasnya akan ditransfer seluruhnya ke arah permukaan luar *tube* atau ke arah *shell* sehingga akan diserap seluruhnya oleh fluida yang mengalir di *shell*. Apabila fluida dengan temperature lebih tinggi dilewatkan pada *shell* maka perpindahan panas tidak hanya dilakukan ke arah *tube*, tetapi ada kemungkinan perpindahan panas juga terjadi ke arah luar *shell* atau ke lingkungan.

7. Kuantitas



Fluida yang bervolume besar dilewatkan melalui *tube* untuk memaksimalkan proses perpindahan panas yang terjadi.

8. Viskositas

Fluida yang memiliki viskositas tinggi akan dilewatkan melalui *shell* karena dapat menggunakan *baffle*.

9. *Pressure Drop*

Peletakan fluida dalam *tube* akan lebih mudah dalam kalkulasi *pressure drop*.

10. *Sediment* atau *Suspended Solid* atau *Fouling*

Fluida yang mengandung sedimen atau padatan yang tersuspensi sebaiknya dialirkan melalui *tube* sehingga *tube-tube* dengan mudah dibersihkan. Jika fluida yang mengandung sedimen dialirkan di *shell*, maka sedimen tersebut akan terakumulasi pada *stagnant zone* di sekitar *baffle*, sehingga pembersihan pada sisi *shell* menjadi tidak mungkin dilakukan tanpa mencabut *tube bundle*.

Dalam penggunaan alat-alat perpindahan panas tersebut, terdapat dua hal yang perlu diperhatikan dan ditetapkan batasnya yaitu:

- a. Hal yang berkaitan dengan kemampuan alat untuk mengalihkan panas dari fluid dingin melalui dinding *tube*.
- b. Hal yang berkaitan dengan penurunan tekanan yang terjadi pada masing-masing fluida ketika mengalir melalui alat tersebut.

Suatu alat perpindahan panas dinilai mampu berfungsi dengan baik dalam penggunaannya apabila memenuhi ketentuan yaitu mampu memindahkan panas sesuai dengan kebutuhan proses operasi dalam keadaan kotor. R_d adalah gabungan maksimum terhadap perpindahan panas yang diperlukan oleh kotoran yang menempel pada bagian permukaan dinding *shell and tube* apabila tidak dibersihkan akan mengurangi perpindahan panas yang terjadi. Penurunan tekanan yang terjadi pada masing-masing aliran berbeda dalam batas yang diizinkan, yaitu:

- a. Untuk aliran uap dan gas P tidak melebihi 0,5-2,0 psi
- b. Untuk aliran cairan P tidak melebihi 5-10 psi

Kedua ketentuan tersebut harus diperhatikan baik dalam melaksanakan evaluasi maupun performa suatu alat perpindahan panas.



II.2.7 Pembersihan dan Pemeliharaan *Heat Exchanger*

Heat exchanger dihitung faktor kekotorannya setelah beberapa periode penggunaannya. Jika sudah mendekati periode pembersihannya, *heat exchanger* akan tidak dapat bekerja secara maksimal karena adanya kotoran-kotoran yang melekat pada dinding *shell* maupun *tube*. Hal ini dapat diatasi dengan cara memberhentikan *heat exchanger* sementara kemudian dilakukan pembersihan.

Dalam pemurnian minyak bumi, sering ditemukan kotoran yang korosif dan dapat merusak alat. Untuk meminimalkan kadar korosi, biasanya digunakan suatu alat katalisator negatif dalam pengoperasiannya. Pada prinsipnya, pembersihan dapat dikelompokkan menjadi *planned maintenance* dan *unplanned maintenance*. *Maintenance* dapat dikelompokkan menjadi empat yaitu:

a. *Preventive Maintenance*

Tindakan tersebut dilakukan agar peralatan tidak mengalami kerusakan yang bertujuan untuk menekan keadaan yang menunjukkan gejala kerusakan sebelum peralatan tersebut mengalami kerusakan fatal sehingga dapat memperpanjang umur pemakaiannya.

b. *Corrective Maintenance*

Tindakan ini tidak hanya memperbaiki kerusakan tetapi juga mempelajari sebab-sebab dan bagaimana cara mengatasi kerusakan tersebut.

c. *Break Down*

Break down adalah suatu bentuk tindakan perbaikan peralatan dengan cara membongkar pasang peralatan yang mengalami *overhead*. Penentuan *overhead* berdasarkan tingkat kerusakan peralatan, waktu yang digunakan untuk perbaikan, kebutuhan tenaga ahli, besarnya biaya.

d. *Shut Down*

Peralatan yang mendadak mati atau dimatikan karena keperluan tindakan perbaikan peralatan.

e. *Overhaul*

Pemeriksaan dan perbaikan secara menyeluruh terhadap suatu fasilitas atau peralatan sehingga mencapai standar. *Overhaul* dibedakan menjadi dua yaitu, minor *overhaul* yang berarti perbaikan dalam kriteria ringan dan major *overhaul* yang



berarti perbaikan dalam kriteria berat. Kriteria ringan dan berat ini berdasarkan tingkat kesulitan, waktu yang digunakan, keahlian tenaga kerja, dan besarnya biaya yang dibutuhkan.

f. *Predictive Maintenance*

Predictive maintenance merupakan perkiraan terhadap peralatan yang diperkirakan dalam waktu tertentu akan rusak, mungkin karena sudah menunjukkan gejala atau karena perkiraan umur peralatan tersebut. Jadi *predictive maintenance* adalah bentuk baru dari *planned maintenance* yang mana penggantian komponen dilakukan lebih awal dari waktu terjadinya kerusakan.

g. *Unplanned Maintenance*

Unplanned maintenance adalah pelaksanaan perbaikan terhadap suatu fasilitas karena kerusakan di luar jadwal. Biasanya dilakukan dengan *break down* atau *overhaul* yaitu kejadian yang tidak dikendaki oleh siapapun.

II.2.8 Analisis Kinerja *Heat Exchanger*

Untuk menganalisa performance suatu *Heat exchanger*, parameter-parameter yang digunakan adalah :

1. *Duty (Q)*

Duty merupakan besarnya energi atau panas yang ditransfer per waktu. *Duty* dapat dihitung baik pada fluida dingin atau fluida panas. Apabila *duty* pada saat operasional lebih kecil dibandingkan dengan *duty* pada kondisi desain, kemungkinan terjadi *heat losses*, *fouling* dalam *tube*, penurunan laju alir (fluida panas atau dingin), dan lain-lain. *Duty* dapat meningkat seiring bertambahnya kapasitas. Untuk menghitung unjuk kerja alat penukar panas, pada dasarnya menggunakan persamaan berikut :

$$Q = W \times C_p \times \Delta T$$

Keterangan :

Q = Jumlah panas yang dipindahkan (Btu/hr) W = Laju alir (lb/hr)

C_p = *Specific heat* fluida (Btu/lb °F)

Δt = Perbedaan temperatur yang masuk dan keluar (°F)

2. *Log Mean Temperature Difference (LMTD)*



$$LMTD = \frac{\Delta t_h - \Delta t_c}{\ln \frac{\Delta t_h}{\Delta t_c}}$$

Keterangan :

Δt_h = Beda temperatur tinggi (°F)

Δt_c = Beda temperatur rendah (°F)

3. U_c (*Clean Overall Coefficient*)

Clean Overall Coefficient merupakan coefficient panas menyeluruh pada awal *Heat exchanger* yang dipakai (masih bersih), biasanya ditentukan oleh besarnya tahanan konveksi h_o dan h_{io} , sedangkan tahanan konduksi diabaikan karena sangat kecil bila dibandingkan dengan tahanan konveksi.

$$U_c = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o}$$

4. U_d (*Design/Dirty Overall Coefficient*)

Design/Dirty Overall Coefficient merupakan koefisien perpindahan panas menyeluruh setelah terjadi pengotoran pada *heat exchanger*, besarnya U_d lebih kecil daripada U_c .

$$U_d = \frac{Q}{Nt \times a'' \times L \times LMTD}$$

5. *Heat Balance*

$$Q = W \cdot Cp \cdot (T_1 - T_2) = w \cdot Cp \cdot (t_1 - t_2)$$

Bila panas yang diterima fluida lebih kecil daripada panas yang dilepaskan fluida panas berarti panas yang hilang lebih besar dan ini mengurangi performance suatu *Heat exchanger*.

6. *Fouling factor*

R_d atau *Fouling factor* merupakan *resistance* dan *heat exchanger* yang dimaksudkan untuk mereduksi korosifitas akibat dari interaksi antara fluida dengan dinding pipa *heat exchanger*, tetapi setelah digunakan beberapa lama R_d akan mengalami akumulasi (deposited), hal ini tidak baik untuk *Heat exchanger* karena R_d yang besar akan menghambat laju perpindahan panas antara hot fluid dan cold fluid. Jika *fouling* tidak dapat dicegah, dibutuhkan pembersihan secara periodik. Beberapa cara pembersihan yaitu secara kimia contohnya pembersihan endapan



karbonat dan klorinasi, secara mekanis contohnya dengan mengikis atau penyikatan dan dengan penyemprotan semprotan air dengan kecepatan sangat tinggi.

Pembersihan ini membutuhkan waktu yang tidak singkat sehingga terkadang operasi produksi harus dihentikan.

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d}$$

Bila R_d (deposited) > R_d (allowed) maka *Heat exchanger* tersebut perlu dibersihkan. R_d yang diijinkan sebesar $0,004 \text{ hr.ft}^2 \cdot \text{°F/Btu}$.

7. Pressure Drop (ΔP)

Penurunan tekanan baik di shell maupun di tube tidak boleh melebihi batas *pressure drop* yang diizinkan. Tekanan dalam *heat exchanger*, merupakan *Driving Force* bagi aliran fluida di shell maupun di tube, jika *pressure drop* lebih besar dari yang diizinkan maka akan menyebabkan laju alir massa (lb/hr) inlet fluida di shell dan di tube jauh berbeda dengan laju alir massa outlet masing-masing fluida. Hal ini akan menurunkan performance dari *Heat exchanger* tersebut. *Pressure drop* pada shell dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta P_s = \frac{f \cdot (G_s)^2 \cdot D_s \cdot (N + 1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot S_g \cdot \phi_s}$$

Pressure drop pada tube dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta P_t = \frac{f \cdot (G_t)^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot S_g \cdot \phi_t}$$

Keterangan :

f = fanning friction factor

G_s = laju aliran massa per satuan luas dalam shell

N = jumlah pass/ laluan tube

D = diameter dalam *tube*

S_g = specific gravity

Penurunan tekanan baik di *shell* maupun di *tube* tidak boleh melebihi batas *pressure drop* yang diizinkan. Tekanan dalam *heat exchanger*, merupakan *driving force* bagi aliran fluida di shell maupun di tube, jika *pressure drop* lebih besar dari yang diizinkan maka akan menyebabkan laju alir massa inlet fluida di *tube* jauh



berbeda dengan laju alir massa outlet masing-masing fluida. Hal ini akan menurunkan performance dari *heat exchanger* tersebut. Dalam menganalisa performance *shell* dan *tube heat exchanger* diasumsikan :

- 1) Terdapat *heating surface* yang sama pada setiap pass
- 2) *Overall Coefficient Heat Transfer* (U_c) adalah konstan
- 3) Laju alir massa fluida di *shell* dan di *tube* adalah konstan
- 4) *Specific Heat* dari masing-masing fluida adalah konstan
- 5) Tidak ada perubahan fasa penguapan pada setiap bagian dari *heat exchanger*
- 6) *Heat Loss* diabaikan

(Kern, 1965)

II.2.9 Perhitungan *Heat Exchanger-003*

Dimensi *Heat Exchanger-003*

Tabel II. 2 Dimensi *Heat Exchanger-003*

No	Uraian	Notasi	Satuan	HE-003
	Shell			
1.	Diameter luar	ODs	in	31,614
2.	Diameter dalam	ID	in	30,748
3.	Jumlah baffle	N	buah	4
4.	Jarak antar baffle	B	in	23,623
5.	Jumlah passes	N	passes	1
6.	Jenis fluida			Solar
	Diameter luar	Odt	in	1
	Panjang tube	L	ft	10
	Jumlah tube	Nt	buah	400
	BWG			14
	Pitch	Pt	in	1,25
	Jarak antar tube	C"	in	0,25
	Jumlah passes	N		1
	Jenis fluida			
	Tahun pembuatan			2008



Data Lapangan

Tabel II. 3 Data Lapangan

Data lapangan diambil dari rata-rata harian 10-14 Oktober 2022

Shell, Hot fluida (Solar)		Tube, cold fluida (Crude Oil)	
Suhu masuk T1 (°C)	192,4	Suhu masuk t1 (°C)	55
Suhu keluar T2 (°C)	106	Suhu keluar t2 (°C)	87,6
Flow rate (L/hari)	177225,8	Flow rate (L/hari)	10109,8969
Sg	0,8421	Sg	0,8411

Evaluasi Data *Heat Exchanger* (HE-003)

Tabel II. 4 Evaluasi Data *Heat Exchanger*-003

Shell, Hot fluida (Solar)		Tube, cold fluida (Crude Oil)	
Suhu masuk T1 (°F)	378,32	Suhu masuk T1 (°F)	131
Suhu keluar T2 (°F)	222,8	Suhu keluar T1 (°F)	289,68
1.) Mass flow Flow rate = 259,7923 ft ³ /jam Mass flow = 259,7923 ft ³ /jam x 52,564 lb/ft ³ = 13658,34343 lb/jam		1.) Mass flow Flow rate = 421,3025 ft ³ /jam Mass flow = 421,3025 ft ³ /jam x 52,564 lb/ft ³ = 22099,5718 lb/jam	
2.) Spesific Gravity Solar Rata-rata nilai Sg = 0,8421 ρ solar = rata-rata Sg solar x ρ air = 0,8421 x 62,4 lb/ft ³ = 52,5460 ρ solar = $\frac{\rho_s}{\rho_{air}}$ = $\frac{52,5460 \text{ lb/ft}^3}{62,5 \text{ lb/ft}^3} = 0,8407 \text{ lb/ft}^3$		2.) Spesific Gravity Crude Oil Rata-rata nilai Sg = 0,8411 ρ solar = rata-rata Sg crude oil x ρ air = 0,8411 x 62,4 lb/ft ³ = 52,54842 ρ solar = $\frac{\rho_{crude}}{\rho_{air}}$ = $\frac{52,5484 \text{ lb/ft}^3}{62,5 \text{ lb/ft}^3} = 0,8397 \text{ lb/ft}^3$	
3.) °API		3.) °API	



$\begin{aligned} (^{\circ}\text{API}) &= \frac{141,5}{\left(\text{sg}\left(\frac{60}{60F}\right)\right)} - 131,5 \\ &= \frac{141,5}{0,8407} - 131,5 \\ &= 36,80 \end{aligned}$	$\begin{aligned} (^{\circ}\text{API}) &= \frac{141,5}{\left(\text{sg}\left(\frac{60}{60F}\right)\right)} - 131,5 \\ &= \frac{141,5}{0,8397} - 131,5 \\ &= 37 \end{aligned}$
--	---

1.) Menghitung *Heat Balance*

a. Pada shell (solar)

Diketahui:

$$T_{avg} = \frac{T1 + T2}{2} = \frac{378,32 + 222,8}{2} = 300,56 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Berdasarkan Fig. 4 Kern, diperoleh $C_p = 0,59 \text{ Btu/lb.F}$

$$\Delta T = T1 - T2 = 378,32 - 222,8 = 155,52 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$Q_s = W \times C_p \times \Delta T$$

$$= 13658,34343 \text{ lb/jam} \times 0,59 \text{ Btu/lb.F} \times 155,52 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$= 1253245,887 \text{ Btu/jam}$$

b. Pada tube (crude oil)

Diketahui:

$$T_{avg} = \frac{T1 + T2}{2} = \frac{131 + 189,68}{2} = 160,34 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Berdasarkan Fig. 4 Kern, diperoleh $C_p = 0,48 \text{ Btu/lb.F}$

$$\Delta T = T1 - T2 = 189,68 - 131 = 58,68 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$Q_t = W \times C_p \times \Delta T$$

$$= 22099,5718 \text{ lb/jam} \times 0,48 \text{ Btu/lb.F} \times 58,68 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$= 622465,3779 \text{ Btu/jam}$$

c. Menghitung neraca perpindahan panas :

$$Q = Q_s - Q_t$$

$$= 1253245,887 \text{ Btu/jam} - 622465,3779 \text{ Btu/jam}$$

$$= 630780,5069 \text{ Btu/jam}$$

$$\% \text{ losses} = \frac{Q \times 100\%}{Q_s} = \frac{1253245,887 \text{ Btu/jam} \times 100\%}{622465,3779 \text{ Btu/jam}} = 50,33 \%$$



$$\begin{aligned} Q \text{ losses} &= \% \text{ losses} \times Q \\ &= 50,33 \% \times 630780,5069 \text{ Btu/jam} \\ &= 317482,8277 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ transfer} &= Q - Q \text{ losses} \\ &= 630780,5069 \text{ Btu/jam} - 317482,8277 \text{ Btu/jam} \\ &= 313297,6792 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

Shell (solar) (°F)			Tube (crude oil) (°F)			
Higher temp	T1	378,32	t2	189,68	Δth	188,64
Lower temp	T2	222,8	t1	131	Δtc	91,8
Difference	T1 - T2	155,52	t2 - t1	58,68	$\Delta th - \Delta tc$	96,84

$$LMTD = \frac{\Delta th - \Delta tc}{LN \frac{\Delta th}{\Delta tc}} = \frac{96,84}{LN \left(\frac{188,64}{91,8} \right)} = 134,46 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Pada buku D.Q Kern didapatkan HE-003 menggunakan 1 shell pass and 2 or more tube pass, sehingga:

$$F_t = 1$$

$$\Delta t = LMTD \times F_t = 134,46 \text{ } ^\circ\text{F} \times 1 = 134,46 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Menghitung temperatur caloric

$$^{\circ}\text{API solar} = 36,80$$

$$\frac{\Delta th}{\Delta tc} = \frac{188,64 \text{ } ^\circ\text{F}}{91,8 \text{ } ^\circ\text{F}} = 0,49$$

Berdasarkan Fg. 17 dengan data $^{\circ}\text{API solar}$ dan T1-T2 diperoleh Kc yaitu 0,25

Berdasarkan Fg. 17 dengan data Kc dan $\Delta tc/\Delta th$ diperoleh Fc yaitu 0,37

$$\begin{aligned} T_c &= T_2 + F_c \times (T_1 - T_2) \\ &= 222,8 + 0,37 \times (155,52) \\ &= 244,5116 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_c &= t_2 + F_c \times (t_2 - t_1) \\ &= 131 + 0,37 \times 58,68 \\ &= 152,7116 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$



Shell side, hot fluid (Solar)	Tube side, cold fluida (crude oil)
<p>4.) Flow area (A_s)</p> <p>Diameter ID = 30,748 in</p> <p>Pitch (Pt) = 1,25 in</p> <p>$C'' = Pt - Ods$</p> <p style="padding-left: 40px;">$= 1,25 - 1$</p> <p style="padding-left: 40px;">$= 0,25$ in</p> <p>Jarak antar baffle (B) = 23.623 in</p> $A_s = \frac{ID_s \times C'' \times B}{Pt}$ $= \frac{30,874 \text{ in} \times 0,25 \text{ in} \times 23,623 \text{ in}}{\left(\frac{144 \text{ in}^2}{1 \text{ ft}^2}\right) \times 1,25 \text{ in}}$ <p style="text-align: center;">$= 1,0088 \text{ ft}^2$</p>	<p>4.) Flow area (A_t)</p> <p>Diketahui :</p> <p>Jumlah tube (N_t) = 400</p> <p>Jumlah pass (n) = 1</p> <p>Diameter dalam (OD) = 1 inc , BWG 14 didapatkan nilai $A_t'' = 0,546 \text{ in}^2$ (Kern, tabel 10)</p> $A_t = \frac{N_t \times A_t''}{144 \times n} = \frac{400 \times 0,546 \text{ inc}^2}{\frac{144 \text{ in}^2}{1 \text{ ft}^2} \times 1}$ <p style="text-align: center;">$= 1,56667 \text{ ft}^2$</p>
<p>5.) Mass velocity</p> $G_s = \frac{W}{A_s} = \frac{13658,34343 \text{ lb/jam}}{1,008 \text{ ft}^2}$ <p style="text-align: center;">$= 13538,751 \text{ lb/jam. ft}^2$</p>	<p>5.) Mass velocity</p> $G_s = \frac{W}{A_s} = \frac{22099,5718 \text{ lb/jam}}{1,008 \text{ ft}^2}$ <p style="text-align: center;">$= 14106,1097 \text{ lb/jam. ft}^2$</p>
<p>6.) Reynold Number (Res)</p> <p>Pada OD = 1 inc dan Pt = 1,25 inc didapatkan :</p> <p>$De = 0.72 \text{ in} \dots \dots \dots$ (Kern, fig 28)</p> <p style="padding-left: 40px;">$= 0,72 : 12 = 0,06 \text{ ft}$</p> <p>Saat $T_c = 244,51 \text{ }^\circ\text{F}$</p> <p>$^\circ\text{API} = 36,80$</p> <p>Didapatkan :</p> <p>$\mu = 0,789 \text{ cP} \dots \dots \dots$ (Kern, fig 14)</p> <p style="padding-left: 40px;">$= 0,789 \times 2,42 = 1,9087 \text{ lb/ft}^2$</p> $Res = \frac{De \times G_s}{\mu}$	<p>6.) Reynold Number (Ret)</p> <p>Pada OD = 1 inc dan Bwg = 14 didapatkan</p> <p>$D = 0.834 \text{ in} \dots \dots \dots$ (Kern, tabel 10)</p> <p style="padding-left: 40px;">$= 0,834 \text{ in} : 12 = 0,0695 \text{ ft}$</p> <p>Saat $t_c = 152,7116 \text{ }^\circ\text{F}$</p> <p>$^\circ\text{API} = 37$</p> <p>Didapatkan:</p> <p>$\mu = 1,68 \text{ cP} \dots \dots \dots$ (Kern, fig 14)</p> <p style="padding-left: 40px;">$= 1,68 \times 2,42 = 4,0779 \text{ lb/ft}^2$</p> $Res = \frac{De \times G_s}{\mu}$



$= \frac{0,06 \text{ ft} \times 13538,751 \text{ lb/jam} \cdot \text{ft}^2}{1,9087 \text{ lb/fthr}}$ $= 452,5995$	$= \frac{0,06 \text{ ft} \times 14106,1097 \frac{\text{lb}}{\text{jam}} \cdot \text{ft}^2}{4,0779 \text{ lb/ft hr}}$ $= 240,4141$
<p>7.) Factor for heat transfer Pada Res = 452,5995 didapatkan : $jH = 11$.....(Kern, fig 28)</p>	<p>7.) Factor for heat transfer $L = 10 \text{ ft}$ $D = 0,0695 \text{ ft}$ $L/D = \frac{10 \text{ ft}}{0,0695 \text{ ft}} = 143,8849$ $jH = 2,3$.....(Kern, fig 24)</p>
<p>8.) Bilangan Prandtl Saat $T_c = 244,51 \text{ }^\circ\text{F}$ $^\circ\text{API} = 36,80$ $k = 0,076 \text{ Btu/hr.ft}^2$ (Fig. 1) $\mu = 1,9807 \text{ lb/fthr}$ $\text{Pr} = \frac{cp \times \mu}{k} = \frac{0,57 \times 1,9807 \text{ lb/fthr}}{0,076 \text{ Btu/hr.ft}^2}$ $= 2,4280$</p>	<p>8.) Bilangan Prandtl Saat $t_c = 152,7116 \text{ }^\circ\text{F}$ $^\circ\text{API} = 37$ $k = 0,075 \text{ Btu/hr.ft}^2$ (Fig. 1) $\mu = 4,0779 \text{ lb/fthr}$ $\text{Pr} = \frac{cp \times \mu}{k} = \frac{0,52 \times 1,9807 \frac{\text{lb}}{\text{fthr}}}{0,075 \text{ Btu/hr.ft}^2}$ $= 3,0464$</p>
<p>9.) Koefisien perpindahan panas fluida (h_o) $h_o = jH \times \left(\frac{k \times cp \times \mu}{De \times k} \right)^{\frac{1}{3}}$ $= \frac{11 \times 0,0076 \times 2,4280}{0,06}$ $= 33,3812 \text{ Btu/hr. ft}^2$</p>	<p>9.) Koefisien perpindahan panas fluida (h_i) $h_i = jH \times \left(\frac{k \times cp \times \mu}{De \times k} \right)^{\frac{1}{3}}$ $= 2,3 \times \frac{0,075 \times 3,0464}{0,0695}$ $= 7,5613 \text{ Btu/hr. ft}^2$ $\frac{h_{io}}{\emptyset t} = \frac{h_i \times ID}{\emptyset t \times OD} = \frac{7,5613 \times 0,0695}{0,0833}$ $= 6,30611 \text{ Btu/hr ft}^2\text{ }^\circ\text{F}$</p>
<p>10.) Menghitung suhu dinding luar tube (T_w) $t_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\emptyset s}}{\frac{h_{io}}{\emptyset t} + \frac{h_o}{\emptyset t}} \times (T_c - t_c)$ $= 152,7116 + \frac{33,3812}{33,3812 + 6,30611} \times (91,8)$</p>	



= 230,09 °F	
11.) Saat $t_w = 230,09 \text{ } ^\circ\text{F}$ Didapatkan: $\mu_w = 0,948 \text{ cP}$ (Kern, Fig. 14) $= 2,2933 \text{ lb/ft hr}$ $\phi_s = \frac{\mu}{\mu_w}^{1/4} = \frac{1,9087 \frac{\text{lb}}{\text{fthr}}}{2,2933 \frac{\text{lb}}{\text{fthr}}}^{1/4} = 1,1029$	12.) Saat $t_w = 230,09 \text{ } ^\circ\text{F}$ Didapatkan: $\mu_w = 0,7571 \text{ cP}$ (Kern, Fig. 14) $= 1,8314 \text{ lb/ft hr}$ $\phi_t = \frac{\mu}{\mu_w}^{1/4} = \frac{4,0779 \frac{\text{lb}}{\text{fthr}}}{1,8314 \frac{\text{lb}}{\text{fthr}}}^{1/4} = 1,1185$
12.) h_o terkoreksi $h_o = \frac{h_o \phi_s}{\phi_s} = 33,8313 \text{ Btu/hrft}^2\text{ } ^\circ\text{F}$	12.) h_o terkoreksi $h_{io} = \frac{h_{io} \phi_t}{\phi_t} = 6,3061 \text{ Btu/hrft}^2\text{ } ^\circ\text{F}$

14. Menghitung U_c

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{6,3061 \times 33,8312}{6,3061 + 33,8312} = 5,3153 \text{ Btu/hrft}^2\text{ } ^\circ\text{F}$$

15. Menghitung U_d

OD = 1 inc dan BWG = 14 didapatkan $a'' = 0,2618 \text{ ft}^2/\text{ft}$(Kern, tabel 10)

$N_t = 400$

$L = 10 \text{ ft}$

$A = N_t \times L \times a''$

$= 400 \times 10 \times 0,2618 \text{ ft}^2/\text{ft}$

$= 1047,2 \text{ ft}^2$

$$U_d = \frac{Q}{A \Delta T_{LMTD}} = \frac{630780,5059 \text{ Btu/jam}}{1047,2 \text{ ft}^2 \times 121,80 \text{ F}} = 4,4799 \text{ Btu/hrft}^2\text{ } ^\circ\text{F}$$

16. Menghitung R_d

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} = 0,03508 \text{ Btu/hr. ft}^2\text{ } ^\circ\text{F}$$

17. Menghitung efisiensi efektifitas

$$\eta = \frac{Q_{tube}}{Q_{shell}} \times 100\% = 49,67\%$$

Pressure drop	
Shell side, Hot fluid (solar)	Tube side, cold fluid (Crude oil)
1. Factor friksi (f)	1. Faktor friksi (f)



$Res = 416,2559$ $f = 0,0038 \text{ ft}^2/\text{in}^2$ (Kern, fig 29) $Sg = 0,8047$ $IDs = 30,748 \text{ in}$ $= 2,5623 \text{ ft}$ $\emptyset_s = 1,1029$ $G_s = 13538,751$	$Ret = 240,4142$ $f = 0,0039$ (Kern, fig 29) $sg = 0,8397$ $Gt = 14106,1097$ $\emptyset_t = 1,1186$
<p>2. Jumlah crosses</p> $N+1 = \text{Number of crosses}$ $B = 23,623 \text{ in}$ $= 1,9686 \text{ ft}$ $N+1 = 12 \times L/B$ $= 5,0797$	<p>2. Pressure Drop (ΔPt)</p> $\Delta Pt = \frac{f \times (Gt)^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times De \times sg \times \emptyset_t}$ $= 0,00264 \text{ psi}$
<p>3. Menghitung Pressure Drop (ΔPs)</p> $\Delta Ps = \frac{f \times (G_s^2 \times IDs \times (N + 1))}{5,22 \times 10^{10} \times De \times sg \times \emptyset_s}$ $= 0,003121 \text{ Psi}$	<p>3. Menghitung (ΔPr)</p> $g = 32,2 \text{ ft/s}^2$ $Gt = 14106,1097$ $pt = 52,4842$ $v = \frac{Gt}{pt} = 0,0747$ $(\Delta Pt) = \frac{4n \times v^2}{sg \times 2g} = 0,000412$

4. Menghitung tekanan total

$$\begin{aligned} \Delta P_{total} &= \Delta Pt + \Delta Pr \\ &= 0,00264 \text{ psi} + 0,000412 \text{ psi} \\ &= 0,00305 \text{ psi} \end{aligned}$$

II.2.10 Pembahasan

Pada penelitian *heat exchanger* yang diamati yaitu *heat exchanger-003*. Berjenis *shell and tube* yang disusun secara seri. Berfungsi untuk memanaskan crude oil dengan memanfaatkan panas yang berasal dari solar, sebelum crude oil dipanaskan dalam furnace. Shell dilalui oleh fluida panas berupa solar, pada tube



dilalui fluida dingin yaitu berupa crude oil. *Heat exchanger-003* berfungsi juga untuk menurunkan suhu solar sebelum masuk *cooler*. Untuk mengetahui seberapa besar penurunan kinerja *heat exchanger-003*, diperlukan analisis evaluasi dengan perhitungan.

Berdasarkan data dilapangan dan diolah didapat hasil, yaitu perhitungan panas yang diterima oleh crude oil sebesar 622465,3779 BTU/jam sedangkan panas yang diberikan oleh solar sebesar 1253245,887 BTU/ jam, sehingga perpindahan panas yang terjadi pada solar ke crude oil mengalami kehilangan panas sebesar 317482,8277 Btu/jam dan %Q loss sebesar 50,33%. Effisiensi panas sebesar 49,67%. Fouling factor (RD) sebesar 0,03508 Btu/hr.ft²°F. Koefisien perpindahan panas (Ud) sebesar 4,4799. Pressure drop pada shell (solar) sebesar 0,003121 Psi dan pressure drop pada tube sebesar 0,00305 Psi.

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa perhitungan factor pengotor pada *heat exchanger - 003* (Rd) yaitu sebesar 0,03508 dimana melebihi nilai Rd yang diizinkan yaitu 0,002. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai Rd pada perhitungan masih belum memenuhi nilai Rd yang diizinkan. Nilai Rd yang cukup besar menunjukkan bahwa *heat exchanger - 003* memiliki faktor pengotor atau impurities yang cukup banyak. Impurities tersebut berasal dari kerak kerak api yang berasal dari aliran steam atau berkarat nya alat yang memiliki kadar yang cukup tinggi sehingga dapat mempengaruhi nilai dari fouling factor pada alat *heat exchanger* tersebut. Nilai factor pengotor sangat berpengaruh untuk proses perpindahan panas yang masuk kedalam shell maupun tube.

Nilai fouling factor berpengaruh pada pressure drop. Semakin tinggi pressure drop, maka akan semakin tinggi fouling factor. Hal tersebut disebabkan karena adanya impurities yang terbawa oleh fluida yang menyebabkan friksi pada tube dan shell akan semakin banyak dan perpindahan panas akan terganggu. Nilai pressure drop yang didapatkan pada perhitungan, diketahui masih dibawah nilai standar yang diperbolehkan, yaitu sebesar 10 Psi. hal tersebut dapat disimpulkan bahwa *heat exchanger-003* masih layak dioperasikan karena tidak melebihi nilai standar yang diperbolehkan.



Perpindahan panas terjadi pada tube, sehingga pada shell mengalami percepatan proses transfer panas. Pada tube lebih lambat dalam menyerap panas sehingga terjadinya perpindahan panas ke lingkungan. Coeffisien clean overall sebesar $5,3153 \text{ Btu/jam.ft}^2\text{°F}$ hal tersebut dapat diketahui bahwa hantaran perpindahan panas dalam keadaan kotor sehingga (fouling factor atau R_d) kotoran yang menempel pada bagian permukaan dinding shell dan tube akan berpengaruh pada perpindahan panas yang terjadi. Bila dibandingkan hantaran panas jika sudah ada endapan atau sudah beroperasi yaitu sebesar $0,0351 \text{ Btu/jam.ft}^2\text{°F}$.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa hasil dirt factor hasil perhitungan lebih besar dari dirt factor yang diizinkan, sehingga perlu dilakukan pembersihan pada unit kilang secara teratur. R_d perhitungan lebih besar dari pada yang diizinkan, sehingga akan menghambat laju perpindahan panas antara hot fluid dan cold fluid.