



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Orientasi Perusahaan

II.1.1 Unit Keselamatan Kerja dan Pemadam

Tugas umum dari unit ini adalah melaksanakan pengembangan sumber daya manusia di lingkungan PPSDM Migas baik peserta diklat dari aparaturnya maupun industri. Unit K3LL (Keselamatan Kesehatan Kerja dan Lingkungan) bertujuan untuk mencegah dan menanggulangi segala sesuatu yang menyebabkan kecelakaan kerja yang mempengaruhi terhadap proses produksi, sehingga sumber-sumber produksi dapat digunakan secara efisien dan produksi dapat berjalan lancar tanpa adanya hambatan yang berarti. Unit ini mempunyai tugas yang meliputi:

1. Tugas rutin
 - a. Menyusun rencana pencegahan terhadap kecelakaan kerja
 - b. Melakukan inspeksi secara berkala atau khusus
 - c. Melakukan pemeriksaan alat-alat pemadam kebakaran
 - d. Mengadakan *safety* training, baik kepada personil pemadam api maupun pegawai biasa.
2. Tugas non rutin
 - a. Melaksanakan pelayanan pemadaman api dan keselamatan kerja di luar PPSDM Migas
 - b. Melakukan penyelidikan terhadap kecelakaan kerja yang sama
 - c. Menanamkan kesadaran kepada semua pegawai akan pentingnya pencegahan kebakaran dan keselamatan kerja
 - d. Melakukan kampanye keselamatan kerja kepada pegawai
3. Tugas darurat
 - a. Memberikan pertolongan dan penanggulangan terhadap terjadinya kecelakaan kerja
 - b. Memadamkan api jika terjadi kebakaran, baik di lingkungan PPSDM Migas maupun di sekitar.



Fasilitas-fasilitas yang dimiliki oleh unit pemadam api dan keselamatan kerja sebagai berikut :

- a. Mobil pemadam kebakaran.
- b. Jaringan hydrant di semua lingkungan PPSDM Migas (60 buah)
- c. 3 unit fasilitas jaringan pompa hydrant (2 listrik, 1 diesel)
- d. Mesin pompa merk Godiva sebanyak 3 buah
- e. Mesin kompresor pengisi tabung *Briting Aperatus*
- f. Mobil penambah busa
- g. APAR yang berjumlah \pm 500 buah.

II.1.2 Unit Boiler

Dalam industri perminyakan, boiler sangat diperlukan untuk menunjang proses kilang. Boiler adalah alat yang digunakan untuk mentransfer panas dari hasil pembakaran bahan bakar ke air proses sehingga air tersebut menjadi uap, sedangkan pada boiler plant meliputi :

1. Penyediaan steam

Proses penyediaan steam yaitu air yang masuk ke boiler melalui drunk diameter fire tube dan keluar dari boiler berubah menjadi steam atau uap bertekanan yang berada pada keadaan saturated steam yang mempunyai tekanan $\pm \text{kg/cm}^2$.

Kegunaan steam dari boiler antara lain, pemanas untuk fluida (air dan minyak-minyak berat), sebagai penggerak mesin (uap torak, uap turbin), dan proses pengolahan (minyak unit kilang).

2. Penyediaan udara bertekanan

Caranya adalah udara atmosfer dimasukkan ke dalam kompresor sehingga akan menghasilkan udara bertekanan. Kompresor adalah suatu alat yang digunakan untuk menempatkan udara yang digerakkan dengan motor listrik. Kegunaan dari udara bertekanan ini yaitu sebagai media instrumentasi *pneumatic*, dan media kerja yang lain. Seperti pada unit *wax plant*, dan sebagai daya dorong yang



menghembuskan cairan.

3. Penyediaan air lunak

Caranya adalah air industri dimasukkan kedalam *softener* sehingga kesadahan air akan turun. Air lunak digunakan untuk air umpan ketel dan air pendingin mesin (*choose current*), air yang digunakan untuk umpan ketel harus memenuhi beberapa syarat yang telah ditetapkan diantaranya pH air sekitar 8,5- 9,5 dengan kesadahan total mendekati nol. Hal ini dimaksudkan agar dalam ketel atau *boiler* tidak cepat terbentuk kerak dan tidak terbentuk korosi.

II.1.3 Unit Perpustakaan

Perpustakaan PPSDM Migas mempunyai sistem pelayanan terbuka yang meliputi :

- a. Pelayanan reguler (pegawai dan widyaiswara)
- b. Pelayanan non reguler (peserta kursus,praktikan)

Koleksi perpustakaan antara lain: buku-buku diklat, majalah ilmiah, laporan penelitian, skripsi, e-book, laporan kerja praktek dan bahan audio visual. Adapun tugas-tugas perpustakaan PPSDM Migas cepu yaitu:

- a. Melakukan perencanaan, pengembangan koleksi, yang mencakup buku, majalah ilmiah, laporan kerja praktik, diklat/hand out serta bahan audio visual.
- b. Melakukan pengolahan dan proses pengolahan bahan pustaka meliputi refrigrasi/inventaris, katalogisasi, klasifikasi, shelving dan filing.
- c. Laporan penggunaan laboratorium bahasa untuk mahasiswa akamigas, pegawai, dosen, instruksi, peserta khusus dan lain-lain.

II.1.4 Laboratorium Dasar

PPSDM Migas memiliki laboratorium dasar. Laboratorium ini bertugas untuk menguji kualitas produk dari minyak bumi agar sesuai dengan spesifikasi yang diberikan oleh Dirjen Migas yang hampir sama dengan laboratorium Pengujian Hasil Produk, namun di laboratorium ini lebih fokus pada pelaksanaan pelatihan dan sertifikasinya. Selain itu di laboratorium dasar ini tidak hanya terfokus terhadap analisa minyak bumi namun juga terdapat analisa lain pada



laboratorium dengan bidang lain. Laboratorium yang tersedia diantaranya :

- a. Laboratorium Kimia
- b. Laboratorium Migas
- c. Laboratorium Sipil
- d. Laboratorium Geologi
- e. Laboratorium Lingkungan

(Suyono, dkk. 2020)

II.1.5 Unit Kilang

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 satu 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 ketempat. Yang digunakan adalah pompa reciprocating (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 furnace 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 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. 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 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 dua unit 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 pertasol CC 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. Ada 12 unit kondenser yang dioperasikan, empat unit kondenser sebagai partial condenser dan delapan unit kondenser sebagai total condenser.

9. Cooler

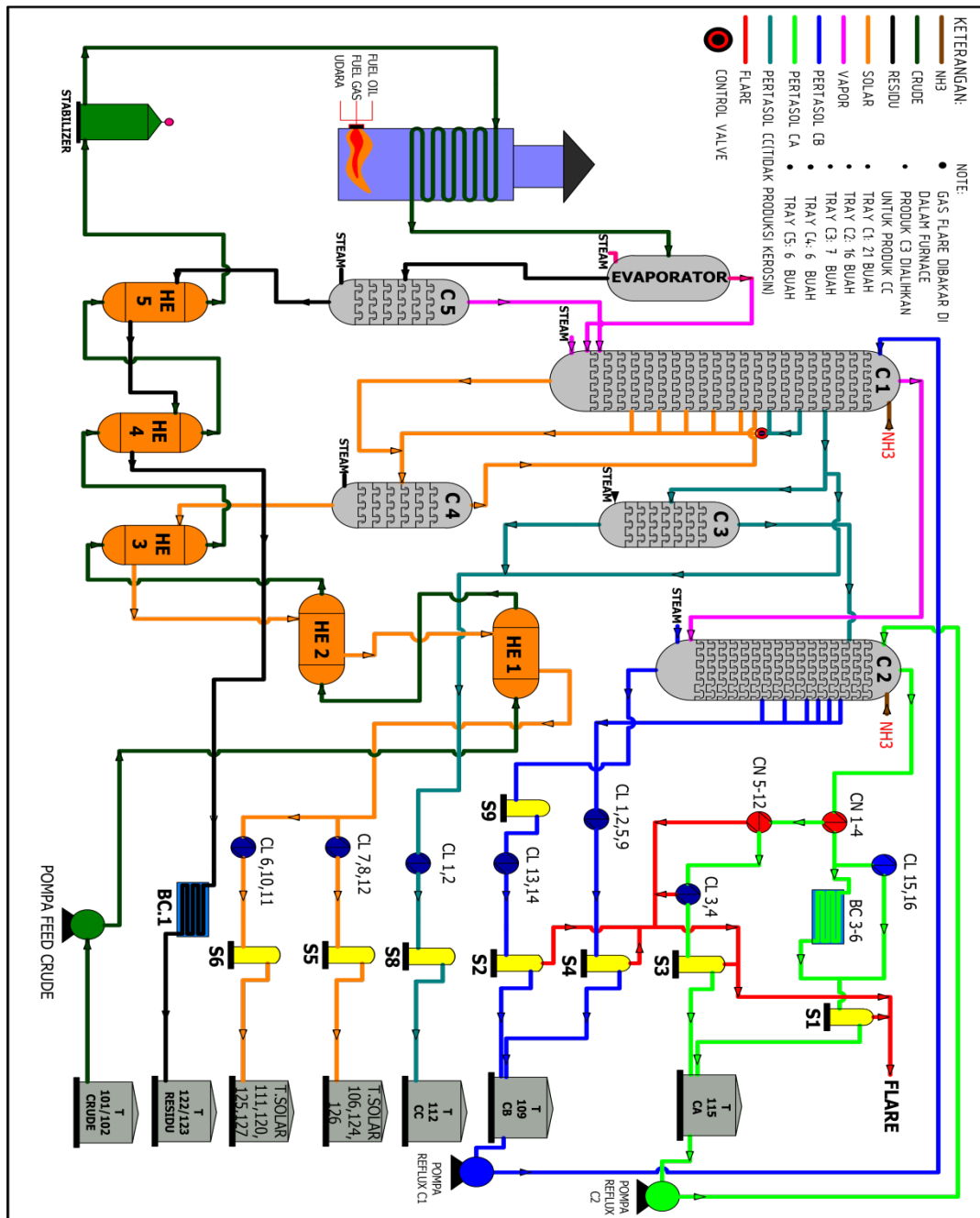
Berfungsi untuk mendinginkan fluida panas menjadi fluida dingin sesuai suhu yang dikehendaki. Ada 14 cooler tipe shell and tube dan enam box cooler.

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 warna yang berbeda-beda tergantung dari jenis zat di dalam tangki tersebut.



Gambar II.3. Diagram Alir Distilasi Atmosfirik



II.2 Uraian Tugas Khusus

II.2.1 *Heat Exchanger*

Heat transfer merupakan alat penukar panas yang dapat digunakan untuk memanfaatkan atau mengambil panas dari suatu fluida untuk dipindahkan ke fluida lain dan merupakan ilmu dasar yang paling sering digunakan pada industri pabrik kimia. Efektivitas penggunaan dan pemanfaatan panas dari proses *Heat Exchanger* akan mempengaruhi ekonomi operasi pada kilang. *Heat Exchanger* merupakan peralatan yang berfungsi untuk memfasilitasi perpindahan panas pada suatu proses. Perpindahan panas yang terjadi dapat berfungsi untuk pendinginan (*cooling dan condensation*) maupun pemanasan (*heating dan reboiling/evaporating*).

Pada proses pengilangan minyak, *Heat Exchanger* merupakan peralatan yang paling sering digunakan. Pemanfaatan dan pengoperasian *Heat Exchanger* secara optimum akan meningkatkan efisiensi energi pada suatu unit proses yang pada akhirnya berpengaruh terhadap *operating cost* unit proses maupun kilang tersebut. Selain itu operasi *Heat Exchanger* juga ditujukan untuk pertimbangan aspek keselamatan dan keamanan serta lindungan lingkungan.

Alat penukar kalor sangat berpengaruh terhadap keberhasilan dari keseluruhan rangkaian proses pada suatu industri. Apabila 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.

Maka 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. 2 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 maupun 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

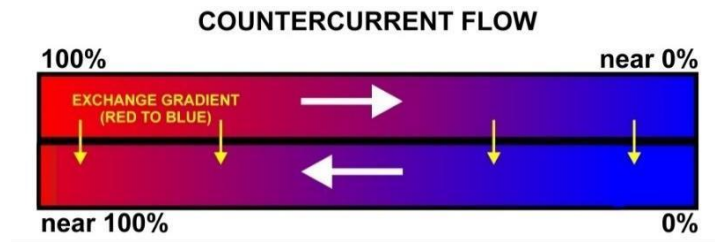
Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.

II.2.2 Tipe Aliran dalam *Heat Exchanger*

Pada alat *Heat Exchanger* terdapat empat tipe aliran dalam alat penukar panas, yaitu :

a. *Counter current flow* (berlawanan arah)

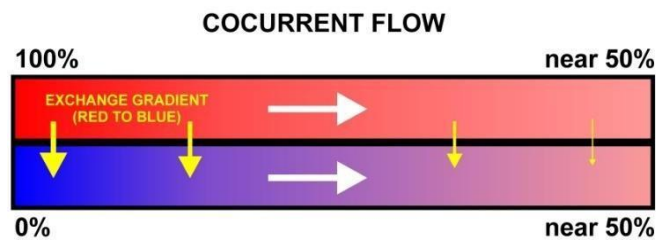
Counter current flow adalah aliran berlawanan arah, dimana fluida yang satu masuk pada satu ujung penukar kalor, sedangkan fluida yang satu lagi masuk pada ujung penukar kalor yang lain, masing-masing fluida mengalir menuju arah yang berlawanan. Untuk tipe *Counter current flow* ini memberikan panas yang lebih baik bila dibandingkan dengan aliran searah atau paralel. Sedangkan banyaknya *pass* (lintasan) juga berpengaruh terhadap efektivitas dari alat penukar panas yang digunakan.



Gambar II.4 Tipe aliran *Counter current flow* (berlawanan arah)

b. *Parallel flow / co-current* (searah)

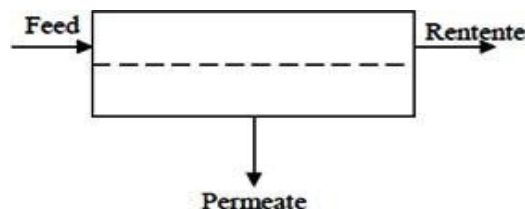
Parallel flow atau *co-current* adalah aliran searah, dimana kedua fluida masuk pada ujung penukar panas yang sama dan kedua fluida mengalir searah menuju ujung penukar panas yang lain.



Gambar II.5 Tipe aliran *Parallel flow / co-current* (searah)

c. *Cross flow* (silang)

Cross flow atau sering disebut dengan aliran silang adalah fluida-fluida yang mengalir sepanjang permukaan bergerak dalam arah saling tegak lurus.



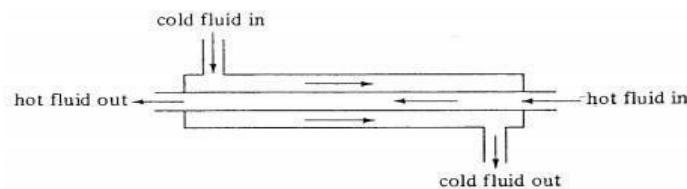
Gambar II.6 Tipe aliran *Cross flow* (silang)

II.2.3 Jenis *Heat Exchanger*

Heat Exchanger sendiri memiliki jenis yang bermacam-macam. Beberapa contoh *Heat Exchanger* adalah :

1. Double-pipe *Heat Exchanger*

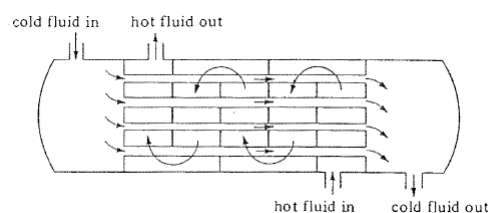
Merupakan jenis paling sederhana dari *Heat Exchanger*. Satu fluida mengalir dalam pipa bagian dalam dan fluida lain berada diantara 2 pipa yang ada. Aliran fluida dapat bersifat co-current atau contercurrent. *Heat Exchanger* ini terbuat dari 2 pipa dengan panjang yang sama dan pada ujung pipa diberi fitting. Jenis ini biasa digunakan untuk laju alir rendah.



Gambar II.7 Skema Sederhana Double Pipe *Heat Exchanger* dan Alirannya

2. Shell and Tube *Heat Exchanger*

Jenis ini digunakan untuk laju alir yang lebih tinggi, sehingga sering digunakan di industri. Tube dipasang secara paralel dan banyak didalam satu shell. Fluida dingin masuk kedalam tube. Fluida panas masuk dari ujung yang berbeda aliran countercurrent di bagian shell.

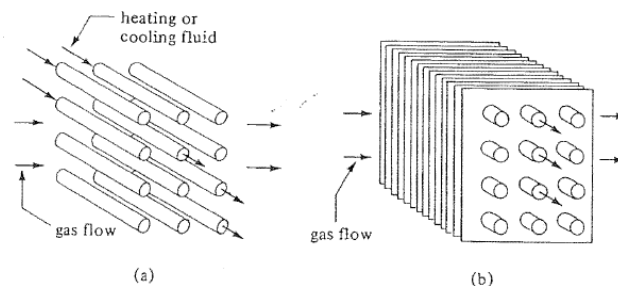


Gambar II.8 Skema Sederhana Shell and Tube *Heat Exchanger* dan Alirannya

3. *Cross Flow exchanger*

Jenis ini biasa digunakan untuk memanaskan atau mendinginkan udara. Cairan dialirkan ke dalam tube dan gas dialirkan di bagian luar tube baik

menggunakan gaya ataupun konveksi alami. Cairan dalam tube tidak disarankan untuk dicampur dengan aliran lain. Sedangkan untuk gas pemanas/pendingin, aliran udara boleh bercampur agar temperatur di seluruh tube dapat tersebar secara merata. Untuk fluida yang tidak bercampur dalam tube, akan terjadi gradient temperatur yang parallel dan normal pada arah alirannya.

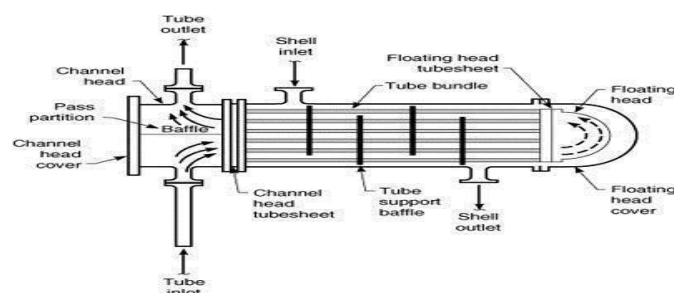


Gambar II.9 Skema Sederhana *Cross Flow Exchanger* dan Alirannya

A. *Shell and Tube Heat Exchanger*

Jenis ini merupakan tipe alat penukar panas yang paling sering digunakan di industri terutama industri petrokimia karena harganya yang relatif murah dan perawatannya yang mudah. Tipe alat penukar panas pada HE-001 juga merupakan tipe *shell and tube*, dimana perpindahan panas terjadi secara konduksi dan radiasi. Dilihat dari penggunaannya alat ini dibagi dalam dua kategori yaitu :

1. Penukar panas proses (proses *Heat Exchanger*)
2. Penukar panas pembangkit tenaga (*power plant Heat Exchanger*)



Gambar II.10 Bagian *Shell and Tube Heat Exchanger*

(Kern, 2010)

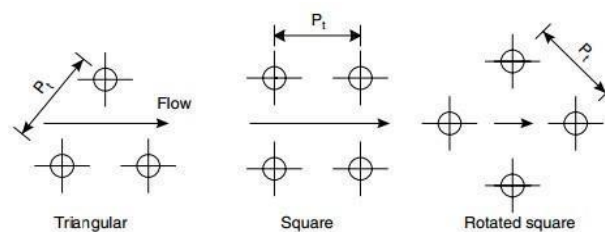
Keuntungan *shell and tube exchanger* merupakan *Heat Exchanger* yang paling banyak digunakan pada proses-proses industri karena mampu memberikan rasio area perpindahan panas dengan volume dan massa fluida yang cukup kecil. Selain itu juga dapat mengakomodasi ekspansi termal, mudah untuk dibersihkan, dan konstruksinya juga cukup murah di antara yang lain. Untuk menjamin bahwa fluida pada *shell side* mengalir melintasi tabung dan dengan demikian menyebabkan perpindahan kalor yang lebih tinggi, maka di dalam *shell* tersebut dipasangkan sekat/penghalang/*baffle* (Za Tendra,2011).

B. Komponen Shell and Tube Heat Exchanger

Komponen-komponen utama *shell and tube Heat Exchanger* ini terdiri dari :

1) Tube

Tube pada sebuah *Heat Exchanger* biasanya berupa pipa-pipa kecil dalam jumlah tertentu dan dalam diameter tertentu pula. Diameter dalam tube 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).



Gambar II.11 Pola Susunan Tube dalam Shell



Masing-masing jenis ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dan kekurangan ini dapat dilihat pada tabel berikut.

| Jenis | Kelebihan | Kekurangan |
|----------|--|---|
| Segitiga | <ol style="list-style-type: none">1. Film koefisien lebih tinggi daripada square pitch.2. Dapat dibuat jumlah tube yang lebih banyak sebab susunannya kompak | <ol style="list-style-type: none">1. Pressure drop yang terjadi antara menengah ke atas.2. Tidak baik untuk fluida fouling.3. Pembersihan secara kimia. |
| Persegi | <ol style="list-style-type: none">1. Bagus untuk kondisi yang memerlukan pressure drop rendah.2. Baik untuk pembersihan luar tube secara mekanik.3. Baik untuk menangani fluida fouling. | <ol style="list-style-type: none">1. Film koefisiennya relatif rendah |
| Diamond | <ol style="list-style-type: none">1. Film koefisiennya lebih baik dari susunan square pitch, tetapi tidak sebaik triangular pitch2. Mudah untuk pembersihan dengan mekanik.3. Baik untuk fluida fouling. | <ol style="list-style-type: none">1. Film koefisien relatif rendah.2. Pressure drop tidak serendah square pitch |

Tabel II.1. Perbandingan pola segitiga, persegi dan *diamond* pada susunan *tube*

(Dwi, 2014)

2) *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 antara 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 baku 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*

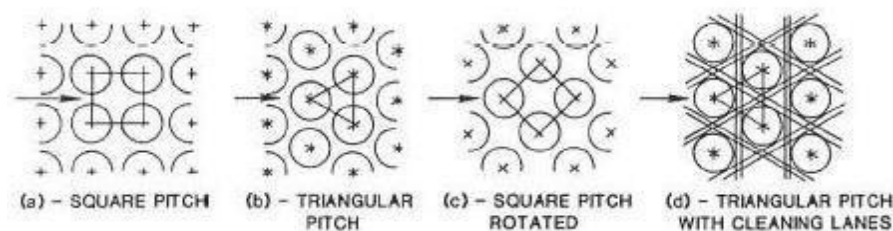
Digunakan untuk fluida yang tingkat kekotorannya tinggi ataupun rendah. Pusat-pusat *tube* saling membentuk sudut 60° searah dengan aliran fluidanya.

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*.



Gambar II.12. Jenis Tube Pitch



(Kern,2010)

3) *Tube sheet*

Berfungsi sebagai tempat untuk merangkai ujung-ujung tube sehingga menjadi satu yang disebut *tubebundle*. *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 menggunakan 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) *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.

5) *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 menyalurkan 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*.

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* $\pm 75\%$ 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.2.4 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 dibandingkan cara membersihkan *tube and shell*, maka pembersihan *shell* jauh lebih sulit. Untuk itu fluida yang bersih biasanya dialirkan pada bagian *shell* dan fluida yang kotor melalui *tube*. Fluida kotor dilewatkan melalui *tube* karena *tube-tube* mudah untuk dibersihkan.

2. Sifat aliran fluida

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



3. Kekotoran fluida

Fluida kotor dilewatkan melalui *tube* karena *tube-tube* dengan mudah dapat dibersihkan. Dilewatkan melalui *shell*, bila *tube* tidak dapat dibersihkan atau sejumlah besar dari *coke*s atau reruntuhan ada yang terkumpul di *shell* dan dapat dihilangkan melalui tempat pembuangan pada *shell*.

4. Kekorosifan fluida

Masalah korosi sangat dipengaruhi oleh penggunaan dari paduan logam. Paduan logam tersebut mahal oleh karena itu fluida yang korosif dialirkan melalui *tube* untuk menghemat biaya yang terjadi karena kerusakan *shell*.

5. Tekanan

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

6. Suhu

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

7. Kuantitas

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

8. Viskositas

Fluida yang *viskos* atau memiliki laju rendah, dilewatkan melalui *shell* karena dapat menggunakan *baffle*.

9. *Pressure drop*

Peletakan fluida dalam *tube* akan lebih mudah dalam pengkalkulasian



pressure drop.

10. Sediment/*Suspended Solid*/*Fouling*

Fluida yang mengandung *Sediment/Suspended Solid* atau yang menyebabkan *fouling* sebaiknya dialirkan di *tube* sehingga *tube-tube* dengan mudah dibersihkan. Jika fluida yang mengandung sediment dialirkan di *shell*, maka sediment/*fouling* tersebut akan terakumulasi pada *stagnant zone* di sekitar *baffle*, sehingga *cleaning* pada sisi *shell* menjadi tidak mungkin dilakukan tanpa mencabut *tube bundle*.

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

- 1) Hal yang berkaitan dengan kemampuan alat untuk mengalirkan panas dari fluida dingin lewat dinding tube.
- 2) 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 (*fouling factor* atau *Rd*). *Rd* adalah gabungan maksimum terhadap perpindahan panas yang diperlukan oleh kotoran yang menempel pada bagian permukaan dinding *shell* dan tube apabila tidak dibersihkan akan mengurangi perpindahan panas yang terjadi. Penurunan tekanan yang terjadi pada masing-masing aliran berbeda dalam batasbatas yang diijinkan, yaitu :

| | |
|-----------------------------|---|
| a) Untuk aliran uap dan gas | : ΔP tidak melebihi 0,5-2,0 psi |
| b) Untuk aliran cairan | : ΔP tidak melebihi 5-10 psi |

Kedua ketentuan tersebut harus diperhatikan baik dalam melaksanakan evaluasi maupun analisis performance suatu alat perpindahan panas. (Kern, 2010)

II.2.5 Pembersihan dan Pemeliharaan (*maintenance*) *Heat Exchanger*

Biasanya *Heat Exchanger* dihitung faktor kekotorannya setelah beberapa periode. Jika sudah mendekati periode tersebut *Heat Exchanger* tersebut 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 pada *Heat Exchanger* tersebut.

Dalam proses pemurnian minyak bumi, sering ditemui cake dan kotoran lainnya yang korosif dan dapat merusak alat. Untuk meminimalkan kadar korosi serat deposit garam dalam alat tersebut maka biasanya digunakan suatu katalisator negative dalam sistem pengoperasiannya.

Pada prinsipnya *maintenance* dapat dibagi menjadi dua yaitu *planned maintenance* dan *unplanned maintenance*. Adapun jenis *maintenance* dapat dibedakan sebagai berikut :

a. *Preventive Maintenance*

Tindakan agar peralatan tidak mengalami kerusakan atau gangguan. Oleh karena itu, tindakan ini bertujuan menekan suatu tingkat keadaan yang menunjukkan gejala kerusakan sebelum peralatan tersebut mengalami kerusakan fatal sehingga umur pemakaiannya panjang.

b. *Corrective Maintenance*

Tindakan *corrective* atau perbaikan tidak saja hanya memperbaiki kerusakan akan tetapi terutama mempelajari sebab-sebabnya dan bagaimana cara mengatasinya agar tidak terulang lagi, frekuensi *corrective* sangat dipengaruhi sejauh mana *preventive* dilakukan.

c. *Break Down*

Merupakan salah satu bentuk tindakan perbaikan terhadap peralatan dengan cara membongkar pasang yang dikenal *overhead*. *Overhead* dibagi dua *minor* dan *major*, penentuan *overhead minor* atau *mayor* berdasarkan :

- 1) Tingkat kesulitan kerusakan.
- 2) Waktu yang dipergunakan untuk perbaikan
- 3) Kebutuhan tenaga (ahli atau tukang)
- 4) Besarnya biaya



d. *Shut Down*

Peralatan yang mendadak mati atau ada yang mengartikan dimatikan, dalam hal ini sengaja dimatikan untuk keperluan tindakan *maintenance*, perbedaan pengertian ini berdasarkan pengalaman di lapangan namun pada dasarnya *shut down* adalah mati atau terhentinya karena kerusakan atau dalam rangka perbaikan.

e. *Over Haul*

Pemeriksaan dan perbaikan secara menyeluruh terhadap sesuatu fasilitas atau peralatan sehingga mencapai standar yang dapat diterima.

1) *Minor Over Haul* adalah perbaikan dalam kriteria ringan.

2) *Major Over Haul* adalah perbaikan dalam kriteria berat.

Kriteria ringan dan berat berdasarkan tingkat kesulitan, waktu yang dipergunakan, keahlian tenaga kerja dan besarnya biaya yang dibutuhkan.

f. *Predictive Maintenance*

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

g. *Unplanned Maintenance*

Pelaksanaan perbaikan terhadap suatu fasilitas karena kerusakan di luar *schedule* atau terjadi *emergency*. Biasanya dilakukan dengan *break down* atau *overhaul*, suatu kejadian yang tidak dikehendaki oleh siapapun. Kejadian ini sangat dihindari, maka tindakan *corrective* berdasarkan *planned maintenance* merupakan hal mutlak untuk menghindari *emergency*. Kerugian atas terjadinya *emergency* akan lebih besar demikian juga dengan *lost production* akan lebih besar.

II.2.6 Analisa Performance 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 :

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

Keterangan :

Q = Jumlah panas yang dipindahkan (Btu/hr)

W = Laju alir (lb/hr)

Cp = *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_i , sedangkan tahanan konduksi diabaikan karena sangat kecil bila dibandingkan dengan tahanan konveksi.

$$U_c = \frac{h_i h_o}{h_i + h_o}$$



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*

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

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 $0,004 \text{ hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{°F/Btu}$.

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 :

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

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.



II.2.7 Data Heat Exchanger

a. Spesifikasi Heat Exchanger

Tabel II.2 Data Spesifikasi Aktual *Heat Exchanger-01*

| Shell | | | |
|-----------------------|--------|--------|-----------|
| Uraian | Notasi | Satuan | |
| a) Diameter luar | ODs | inci | 31,614 |
| b) Diameter dalam | ID | inci | 30,748 |
| c) Jumlah baffle | N | buah | 4 |
| d) Jarak antar baffle | B | inci | 23,623 |
| e) Jumlah passes | n | | 1 |
| f) Jenis fluida | | | Solar |
| Tube | | | |
| Uraian | Notasi | Satuan | |
| a) Diameter luar | ODs | inci | 1 |
| b) Panjang tube | L | ft | 10 |
| c) Jumlah tube | Nt | buah | 400 |
| d) BWG | | | 14 |
| e) Pitch | Pt | inci | 1,25 |
| f) Jarak antar tube | C' | inci | 0,25 |
| g) Jumlah passes | n | | 1 |
| h) Jenis fluida | | | Crude oil |



b. Data Lapangan

Tabel II.3 Data Temperatur Solar dan *Crude Oil*

| Tanggal | T1 Solar (°F) | T2 Solar (°F) | t1 <i>Crude Oil</i> (°F) | t2 <i>Crude Oil</i> (°F) |
|----------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 11 Okt 2021 | 291,2 | 194 | 122 | 161,6 |
| 12 Okt 2021 | 266 | 195,8 | 123,4 | 161,6 |
| 13 Okt 2021 | 262,4 | 190,4 | 121,8 | 158 |
| 14 Okt 2021 | 248 | 192,2 | 122 | 172,4 |
| 15 Okt 2021 | 282,2 | 179,6 | 122,2 | 158 |
| Rata-rata | 270 | 190,4 | 122,3 | 162,3 |

Tabel II.4 Data Laju Alir Solar dan *Crude Oil*

| Tanggal | Solar | | <i>Crude Oil</i> | |
|----------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | Liter/hari | ft³/jam | Liter/hari | ft³/jam |
| 11 Okt 2021 | 201.079 | 134.7931 | 330.013 | 255.141 |
| 12 Okt 2021 | 168.166 | 162.0182 | 288.593 | 272.0027 |
| 13 Okt 2021 | 196.800 | 127.7728 | 336.225 | 232.5182 |
| 14 Okt 2021 | 189.536 | 70.40732 | 323.092 | 215.4315 |
| 15 Okt 2021 | 189.384 | 89.87233 | 340.184 | 237.6499 |
| Rata-rata | 188.993 | 116.9727 | 323.621,4 | 242.5487 |

Tabel II.5 Data *Specific Gravity* 15°C Solar dan *Crude Oil*

| Tanggal | Solar | <i>Crude Oil</i> |
|----------------|--------------|-------------------------|
| 11 Okt 2021 | 0.8486 | 0.8421 |



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
 PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
 PERIODE OKTOBER 2021

| | | |
|-------------|--------|--------|
| 12 Okt 2021 | 0.8486 | 0.8431 |
| 13 Okt 2021 | 0.8495 | 0.8431 |
| 14 Okt 2021 | 0.8495 | 0.8431 |
| 15 Okt 2021 | 0.8466 | 0.8421 |
| Rata-rata | 0.8486 | 0.8427 |

c. *Perhitungan Evaluasi Kinerja Heat Exchanger*

Tabel II.6 Perhitungan Heat Exchanger-001 (HE-001)

| Solar – Hot Fluid – Shell | Crude Oil – Cold Fluid – Tube |
|--|--|
| Suhu masuk $T_1 = 270$ °F | Suhu masuk $t_1 = 122,3$ °F |
| Suhu keluar $T_2 = 190,4$ °F | Suhu keluar $t_2 = 162,3$ °F |
| Menentukan Mass Flow (W) | |
| Flow rate = 188.993 L/hari | Flow rate = 323.621,4 L/hari |
| Mass Flow | Mass Flow |
| $= 188.993 \frac{L}{hari} \times 0,8486 \frac{kg}{L} \times 2,205 \frac{lb}{kg} \times \frac{1 hari}{24 jam}$ $= 14.734,8629 \frac{lb}{jam}$ | $= 323.621,4 \frac{L}{hari} \times 0,8427 \frac{kg}{L} \times 2,205 \frac{lb}{kg} \times \frac{1 hari}{24 jam}$ $= 25.055,7599 \frac{lb}{jam}$ |
| Menentukan Densitas (ρ) | |
| ρ solar | ρ crude Oil |
| = Specific Gravity Solar x ρ air | = Specific Crude Oil x ρ air |
| $= 848,6 \times 62,5 \text{ lb/ft}^3$ $= 53,0375 \text{ lb/ft}^3$ | $= 842,7 \times 62,5 \text{ lb/ft}^3$ $= 52,6688 \text{ lb/ft}^3$ |
| Menentukan °API | |
| °API solar | °API crude oil |
| $= \frac{141,5}{SG_{60/60^\circ F}} - 131,5$ | $= \frac{141,5}{SG_{60/60^\circ F}} - 131,5$ |



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
 PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
 PERIODE OKTOBER 2021

| $= \frac{141,5}{0,8486} - 131,5$ $= 35,2452$ | $= \frac{141,5}{0,8427} - 131,5$ $= 36,4127$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------|-------------|-------|---------------------------|------------|--|------------|--------------------|------------|-----|-------|----|--------------|----|-------------------|------------|-----|-------|------|--------------|------|------------|------------------|----|-------------|------|---------------------------|------|
| Menentukan Heat Balance | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $T_{avg} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{270 + 190,4}{2} = 230,2^\circ F$ <p>$C_p = 0,56$ (Kern, Fig.4)</p> $\Delta T = T_1 - T_2 = 270 - 190,4 = 79,6^\circ F$ $Q_s = W \times C_p \times \Delta T$ $= 14.734,8629 \frac{lb}{jam} \times 0,56 \times 79,6^\circ F$ $= 656.821,2486 \frac{Btu}{jam}$ | $t_{avg} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{122,3 + 162,3}{2} = 142,3^\circ F$ <p>$C_p = 0,50$ (Kern, Fig.4)</p> $\Delta T = T_2 - T_1 = 162,3 - 122,3 = 40^\circ F$ $Q_t = W \times C_p \times \Delta T$ $= 25.055,7599 \frac{lb}{jam} \times 0,50 \times 40^\circ F$ $= 501.115,198 \frac{Btu}{jam}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Menghitung Neraca Perpindahan Panas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Q_{masuk} = Q_s - Q_t$ $= 656.821,2486 \frac{Btu}{jam} - 501.115,198 \frac{Btu}{jam}$ $= 115.705,9339 \frac{Btu}{jam}$ $Losses = \frac{Q}{Q_s} \times 100\% = \frac{115.705,9339 \frac{Btu}{jam}}{656.821,2486 \frac{Btu}{jam}} \times 100\% = 17,6160 \%$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Menghitung LMTD (Long Mean Temperature Difference) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>Shell</th> <th></th> <th>Tube</th> <th></th> <th>Difference</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">Higher temperature</td> <td>T_1 (°F)</td> <td>144</td> <td>t_2</td> <td>78</td> <td>Δt_h</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Lower temperature</td> <td>T_2 (°F)</td> <td>120</td> <td>t_1</td> <td>49,9</td> <td>Δt_c</td> <td>70,1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Difference</td> <td>$T_1 - T_2$ (°F)</td> <td>24</td> <td>$t_2 - t_1$</td> <td>28,1</td> <td>$\Delta t_h - \Delta t_c$</td> <td>-4,1</td> </tr> </tbody> </table> | | | | Shell | | Tube | | Difference | Higher temperature | T_1 (°F) | 144 | t_2 | 78 | Δt_h | 66 | Lower temperature | T_2 (°F) | 120 | t_1 | 49,9 | Δt_c | 70,1 | Difference | $T_1 - T_2$ (°F) | 24 | $t_2 - t_1$ | 28,1 | $\Delta t_h - \Delta t_c$ | -4,1 |
| | | Shell | | Tube | | Difference | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Higher temperature | T_1 (°F) | 144 | t_2 | 78 | Δt_h | 66 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lower temperature | T_2 (°F) | 120 | t_1 | 49,9 | Δt_c | 70,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Difference | $T_1 - T_2$ (°F) | 24 | $t_2 - t_1$ | 28,1 | $\Delta t_h - \Delta t_c$ | -4,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| | |
|--|--|
| $LMTD = \frac{\Delta t_h - \Delta t_c}{\ln \frac{\Delta t_h}{\Delta t_c}} = \frac{-4,1}{\ln \frac{66}{70,1}} = 68,0294^\circ F$ | |
| $R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{24^\circ F}{28,1^\circ F} = 0,854$ | |
| $S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{28,1^\circ F}{(144 - 49,9)^\circ F} = 0,2986$ | |
| <p>Pada buku D.Q Kern didapatkan HE-001 menggunakan 1 shell pass and 2 or more tube pass, sehingga :</p> | |
| $F_T = 0,97 \text{ (Kern, Fig 18)}$ | |
| $\Delta T_{LMTD} = LMTD \times F_T = 68,0294^\circ F \times 0,97 = 65,9885^\circ F$ | |
| Menghitung Tc dan tc | |
| $\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{66^\circ F}{70,1^\circ F} = 0,9415$ | |
| $K_c = 0,13 \text{ (Kern, Fig. 17)}$ | |
| $F_c = 0,81 \text{ (Kern, Fig.17)}$ | |
| $T_c = T_2 + F_c (T_1 + T_2)$ $= 120^\circ F + 0,81(144^\circ F - 120^\circ F)$ $= 139,44^\circ F$ | $t_c = t_2 + F_c (t_2 - t_1)$ $= 78^\circ F + 0,81(78^\circ F - 49,9^\circ F)$ $= 100,761^\circ F$ |
| Menghitung Flow area | |
| <p>Diketahui :</p> <p>ID = 30,748 in</p> <p>Pitch (Pt) = 1,25 in</p> <p>Tube clearance (c'') = Pt - OD = 0,25 in</p> <p>Jarak antar baffle (B) = 23,623 in</p> $a_s = \frac{ID \times c'' \times B}{144 \times Pt} = \frac{30,748 \text{ in} \times 0,25 \text{ in} \times 23,623 \text{ in}}{\frac{144 \text{ in}^2}{1 \text{ ft}^2} \times 1,25 \text{ in}}$ $= 1,0088 \text{ ft}^2$ | <p>Diketahui :</p> <p>OD = 1 in</p> <p>Jumlah tube (Nt) = 400</p> <p>Jumlah pass (n) = 1</p> <p>BWG = 14</p> <p>a't = 0,546 in² (Kern, Table 10)</p> $a_t = \frac{Nt \times a' t}{144 \times n} = \frac{400 \times 0,546 \text{ in}^2}{\frac{144 \text{ in}^2}{1 \text{ ft}^2} \times 1} = 1,5167 \text{ ft}^2$ |



| Menghitung Mass velocity | |
|---|---|
| $G_s = \frac{W}{a_s} = \frac{14.734,8629 \frac{lb}{jam}}{1,0088 ft^2}$ $= 14.606,3272 \frac{lb}{jam ft^2}$ | $G_t = \frac{W}{a_t} = \frac{25.055,7599 \frac{lb}{jam}}{1,5167 ft^2}$ $= 16.519,9182 \frac{lb}{jam ft^2}$ |
| Menghitung Reynold number | |
| <p>Diketahui :</p> <p>OD = 1 in</p> <p>Pt = 1,25 in</p> <p>De = 0,99 in (Kern, Fig. 28)</p> <p>= 0,0825 ft</p> <p>Tc = 139,44°F</p> <p>°API = 35,2452</p> <p>$\mu_s = 2,4 cps = 5,808 \frac{lb}{ft jam}$</p> <p style="text-align: right;">(Kern, Fig.14)</p> $Re_s = \frac{D_e \times G_s}{\mu_s}$ $= \frac{0,0825 ft \times 14.606,3272 \frac{lb}{jam ft^2}}{5,808 \frac{lb}{ft jam}}$ <p>=164,699</p> | <p>Diketahui :</p> <p>OD = 1 in</p> <p>BWG = 14</p> <p>D = 0,834 in (Kern, Table 10)</p> <p>= 0,0695 ft</p> <p>tc = 100,761°F</p> <p>°API = 36,4127</p> <p>$\mu_t = 3,5 cps = 8,47 \frac{lb}{ft jam}$</p> <p style="text-align: right;">(Kern, Fig.14)</p> $Re_t = \frac{D \times G_t}{\mu_t}$ $= \frac{0,0695 ft \times 16.519,9182 \frac{lb}{jam ft^2}}{8,47 \frac{lb}{ft jam}}$ <p>=135,553</p> |
| Factor for heat transfer | |
| <p>Diketahui :</p> <p>Re_s = 164,699, didapatkan data :</p> <p>J_H = 6,5 (Kern, Fig. 28)</p> | <p>Diketahui :</p> <p>L = 10 ft</p> <p>D = 0,0695 ft</p> <p>$\frac{L}{D} = \frac{10 ft}{0,0695 ft} = 143,8849$, didapatkan</p> <p>j_H = 2,2</p> |



| Menghitung Bilangan Prandtl | |
|--|---|
| <p>Diketahui :</p> <p>$T_c = 139,44^\circ F$</p> <p>$^\circ API = 35,2452$</p> <p>$c = 0,56 \frac{Btu}{lb^\circ F}$ (Kern, fig 4)</p> <p>$k = 0,077 \frac{Btu}{ft^2 jam (^\circ F ft)}$ (Kern, Fig.1)</p> <p>$\mu_s = 5,808 \frac{lb}{ft jam}$</p> <p>$P_r = \left[\frac{c \times \mu_s}{k} \right]^{1/3}$</p> $= \left[\frac{0,56 \frac{Btu}{lb^\circ F} \times 5,808 \frac{lb}{ft jam}}{0,077 \frac{Btu}{ft^2 jam (^\circ F ft)}} \right]^{1/3}$ <p>= 3,4826</p> | <p>Diketahui :</p> <p>$t_c = 100,761^\circ F$</p> <p>$^\circ API = 36,4127$</p> <p>$c = 0,50 \frac{Btu}{lb^\circ F}$ (Kern, Fig.4)</p> <p>$k = 0,078 \frac{Btu}{ft^2 jam (^\circ F ft)}$ (Kern, Fig.1)</p> <p>$\mu_s = 8,47 \frac{lb}{ft jam}$</p> <p>$P_r = \left[\frac{c \times \mu_s}{k} \right]$</p> $= \left[\frac{0,50 \frac{Btu}{lb^\circ F} \times 8,47 \frac{lb}{ft jam}}{0,078 \frac{Btu}{ft^2 jam (^\circ F ft)}} \right]^{1/3}$ <p>= 3,7866</p> |
| Menghitung Koefisien Perpindahan Panas | |
| <p>$h_o = J_H \times \frac{k}{D_e} \times \left[\frac{c \times \mu_s}{k} \right] \times \phi_s$</p> <p>$\frac{h_o}{\phi_s} = J_H \times \frac{k}{D_e} \times \left[\frac{c \times \mu_s}{k} \right]$</p> <p>$\frac{h_o}{\phi_s} = 6,5 \times \frac{0,077 \frac{Btu}{ft^2 jam (^\circ F ft)}}{0,0825 ft} \times 3,4826$</p> <p>= 21,1278 $\frac{Btu}{ft^2 jam^\circ F}$</p> | <p>$h_i = J_H \times \frac{k}{D_e} \times \left[\frac{c \times \mu_t}{k} \right] \times \phi_t$</p> <p>$\frac{h_i}{\phi_t} = j_H \times \frac{k}{D} \times \left[\frac{c \times \mu_t}{k} \right]$</p> <p>$\frac{h_i}{\phi_s} = 2,2 \times \frac{0,078 \frac{Btu}{ft^2 jam (^\circ F ft)}}{0,0695 ft} \times 3,7866$</p> <p>= 9,3494 $\frac{Btu}{ft^2 jam^\circ F}$</p> |
| Tube wall temperature | |
| <p>Diketahui :</p> | <p>Diketahui :</p> |



| | |
|---|--|
| $T_c = 139,44^\circ F$ $t_c = 100,761^\circ F$ $T_c - t_c = 38,679^\circ F$ $T_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\phi_s}}{\frac{h_o}{\phi_s} + \frac{h_{io}}{\phi_t}}$ $= 100,761^\circ F + \frac{21,1278 \frac{Btu}{ft^2 jam^\circ F}}{(21,1278 + 10,1837) \frac{Btu}{ft^2 jam^\circ F}}$ $= 101,4358^\circ F$ | $ID = 0,0695 \text{ ft}$ $OD = 0,0833 \text{ ft}$ $\frac{h_{io}}{\phi_t} = \frac{h_i}{\phi_t} + \frac{ID}{OD}$ $= 9,3494 \frac{Btu}{ft^2 jam^\circ F} + \frac{0,0695 \text{ ft}}{0,0833 \text{ ft}}$ $= 10,1837 \frac{Btu}{ft^2 jam^\circ F}$ |
| Menghitung ϕ_s dan ϕ_t | |
| <p>Diketahui :</p> $T_w = 101,4358^\circ F$ $^\circ API = 35,2452$, didapatkan data : $\mu_w = 3,2 \text{ cp} = 7,744 \frac{lb}{ft jam}$ (Kern, Fig. 14) $\phi_s = \left[\frac{\mu_s}{\mu_w} \right]^{0,14} = \left[\frac{5,808 \frac{lb}{ft jam}}{7,744 \frac{lb}{ft jam}} \right]^{0,14} = 0,9605$ | <p>Diketahui :</p> $T_w = 101,4358^\circ F$ $^\circ API = 36,4127$, didapatkan data : $\mu_w = 3,2 \text{ cp} = 7,744 \frac{lb}{ft jam}$ (Kern, Fig. 14) $\phi_t = \left[\frac{\mu_t}{\mu_w} \right]^{0,14} = \left[\frac{8,47 \frac{lb}{ft jam}}{7,744 \frac{lb}{ft jam}} \right]^{0,14} = 1,0126$ |
| Koefisien perpindahan panas terkoreksi | |
| $h_o = \frac{h_o}{\phi_s} + \phi_s$ $= 21,1278 \frac{Btu}{ft^2 jam^\circ F} + 0,9605$ $= 22,0883 \frac{Btu}{ft^2 jam^\circ F}$ | $h_{io} = \frac{h_{io}}{\phi_t} + \phi_t$ $= 10,1837 \frac{Btu}{ft^2 jam^\circ F} + 1,0126$ $= 11,1963 \frac{Btu}{ft^2 jam^\circ F}$ |
| Evaluasi Dirt Factor | |



Diketahui :

$$OD = 1 \text{ in}$$

$$BWG = 14, \text{ didapati nilai } a'' = 0,2618 \text{ ft}^2/\text{ft} \text{ (Kern, Table 10)}$$

$$N_t = 400$$

$$L = 10 \text{ ft}$$

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{11,1963 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ jam } ^\circ\text{F}} \times 22,0883 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ jam } ^\circ\text{F}}}{11,1963 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ jam } ^\circ\text{F}} + 22,0883 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ jam } ^\circ\text{F}}} = 7,4301 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ jam } ^\circ\text{F}}$$

$$U_d = \frac{Q_t}{N_t \times a'' \times L \times \Delta T_{LMTD}} = \frac{501.115,198 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}}{400 \times 0,2618 \frac{\text{ft}^2}{\text{ft}} \times 10 \text{ ft} \times 65,9885^\circ\text{F}} = 7,2517 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ jam } ^\circ\text{F}}$$

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} = \frac{7,4301 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ jam } ^\circ\text{F}} - 7,2517 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ jam } ^\circ\text{F}}}{7,4301 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ jam } ^\circ\text{F}} \times 7,2517 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \text{ jam } ^\circ\text{F}}} = 0,0033 \frac{\text{ft}^2 \text{ jam } ^\circ\text{F}}{\text{Btu}}$$

Menghitung Efisiensi Thermal

$$\eta = \frac{Q_{transferred}}{Q_{masuk}} \times 100\% = \frac{95.323,1233 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}}{115.705,93 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}} \times 100\% = 82,3840\%$$

Evaluasi Pressure Drop

Diketahui :

$$Re_s = 164,699$$

$$S_g = 0,8486$$

$$D_s = 30,748 \text{ in} = 2,5623 \text{ ft}$$

Menentukan faktor friksi berdasarkan

Kern, Fig.29, didapati :

$$f = 0,0052 \frac{\text{ft}^2}{\text{in}^2}$$

Diketahui :

$$Re_t = 135,553$$

$$S_g = 0,8427$$

Menentukan faktor friksi berdasarkan

Kern, Fig.26, didapati :

$$f = 0,004 \frac{\text{ft}^2}{\text{in}^2}$$



| | |
|--|---|
| <p>Jumlah crosses</p> <p>$L = 10 \text{ ft}$</p> <p>$B = 26,623 \text{ in}$</p> <p>$N+1 = \frac{12L}{B} = \frac{12 \times 10 \text{ ft}}{26,623 \text{ in}} \times \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} = 61,114$</p> <p>Pressure drop (ΔP_s)</p> <p>$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times D_s \times (N+1)}{5,225 \times 10^{10} \times D_e \times Sg \times \phi_s}$</p> <p>$= \frac{0,0052 \times (14.606,3272^2) \times 2,5263 \text{ ft} \times 61,1146}{5,225 \times 10^{10} \times 0,0825 \times 0,8486 \times 0,9605}$</p> <p>$= 0,0448 \text{ psi}$</p> | <p>$L = 10 \text{ ft}$</p> <p>$n = 1$</p> <p>Pressure drop (ΔP_t)</p> <p>$\Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times L \times n}{5,225 \times 10^{10} \times D \times Sg \times \phi_t}$</p> <p>$= \frac{0,004 \times (16.519,9182^2) \times 10 \text{ ft} \times 1}{5,225 \times 10^{10} \times 0,0695 \times 0,8427 \times 1,0126}$</p> <p>$= 0,0035 \text{ psi}$</p> <p>$G_t = 16.519,9182 \frac{\text{lb}}{\text{jam ft}^2}$</p> <p>$\frac{v^2}{2g} = 0,001 \text{ (Kern, Fig. 27)}$</p> <p>$\Delta P_{\text{return}} = \frac{4n}{Sg} \times \frac{v^2}{2g}$</p> <p>$= \frac{4 \times 1}{0,8427} \times 0,001$</p> <p>$= 0,0047 \text{ psi}$</p> <p>$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_t + \Delta P_{\text{return}}$</p> <p>$= 0,0035 + 0,0047$</p> <p>$= 0,0082 \text{ psi}$</p> |
|--|---|



II.2.8 Pembahasan

Overall Coefficient (U) dan Dirt Factor (Rd)

Tujuan dari evaluasi pada kinerja *heat exchanger*-001 adalah untuk mengetahui kinerja yang terbaru dari *heat exchanger*-001 di Kilang PPSDM MIGAS, Cepu. Hal ini dilakukan karena maintenance alat Heat Exchanger dilakukan tiap tiga tahun sekali. Maintenance terakhir dilakukan pada awal tahun 2021 sehingga evaluasi kinerja dilakukan untuk mengetahui kinerja Heat Exchanger setelah dilakukan maintenance pada awal tahun ini. Untuk mengevaluasi kinerja *heat exchanger*, parameter yang digunakan adalah *fouling factor/dirt factor (Rd)*. *Fouling* yang mana dapat didefinisikan sebagai akumulasi dari pembentukan padatan yang tidak diinginkan di suatu permukaan peralatan pabrik karena dapat memperburuk kapasitas kemampuan permukaan dalam memindahkan panas pada suatu kondisi perbedaan suhu yang diinginkan. *Fouling* dalam permukaan Heat Exchanger merupakan salah satu permasalahan penting dalam peralatan perpindahan panas. Penyebab terjadinya *fouling* sendiri sangat kompleks, pada dasarnya *fouling* dapat dicirikan sebagai gabungan, keadaan tidak stabil, momentum, perpindahan massa dan panas, proses kimia, korosi, dan juga biologis. (Awad, 2011)

Semakin tinggi *dirt factor (Rd)* maka menunjukkan semakin banyak padatan yang terakumulasi dan menyebabkan performa *heat exchanger* menurun, begitu pula sebaliknya. *Fouling factor* sendiri dipengaruhi oleh nilai *clean overall coefficient (Uc)* dan *design overall coefficient (Ud)*. Pada hasil perhitungan data operasi *heat exchanger*-001, didapatkan nilai *Uc* sebesar 7,4301 Btu/ft².jam.°F dan nilai *Ud* sebesar 7,2517 Btu/ft².jam.°F. Nilai *Ud* yang diperoleh dapat juga menjadi acuan untuk melihat kondisi *heat exchanger*, dimana semakin banyak kotoran yang terakumulasi pada permukaan *heat exchanger*, maka nilai *Ud* yang diperoleh akan semakin kecil. Nilai *overall heat coefficient* menyatakan mudah atau tidaknya panas berpindah dari fluida bersuhu tinggi ke fluida yang bersuhu lebih rendah. Selain itu *overall heat coefficient* juga menyatakan aliran panas menyeluruh sebagai gabungan proses konduksi dan konveksi. Untuk nilai *dirt factor (Rd)*



adalah sebesar $0,0033 \text{ ft}^2 \cdot \text{jam}^\circ\text{F}/\text{Btu}$ yang mana bila dilakukan perbandingan antara nilai R_d perhitungan dengan nilai R_d tetapan dengan besar $0,003 \text{ ft}^2 \cdot \text{jam}^\circ\text{F}/\text{Btu}$, maka dapat disimpulkan bahwa pada *heat exchanger*-001 saat ini terdapat akumulasi pengotor yang sangat sedikit baik yang berasal dari crude oil maupun dari solar dan kemungkinan tidak mempengaruhi kinerja dari HE-001 karena masih memenuhi nilai R_d tetapan.

Pressure Drop dan Heat Efficiency

Parameter lain yang digunakan dalam mengevaluasi kinerja *heat-exchanger*-001 adalah *Pressure drop* dan *Heat Efficiency*. *Pressure drop* merupakan penurunan tekanan yang terjadi pada peralatan operasi. Sedangkan *heat efficiency* merupakan perbandingan jumlah panas yang berpindah dari fluida bersuhu tinggi ke fluida yang bersuhu lebih rendah dalam satuan waktu tertentu yang dapat menunjukkan performa dari suatu *heat exchanger*.

Pada hasil perhitungan actual *heat exchanger*-001, harga *pressure drop* pada *shell* diperoleh sebesar 0,0448 Psi, sedangkan pada tube diperoleh sebesar 0,0035 Psi. Nilai *pressure drop* tersebut masih dibawah nilai standar yang diperbolehkan yakni sebesar 10 Psi. Hal tersebut menyatakan bahwa *heat exchanger*-001 masih layak untuk dioperasikan karena tidak melebihi standar batas yang diperbolehkan. (D.Q. Kern, 1983). Berdasarkan hubungan dengan dirt factor yang diperoleh beserta penyebabnya, *pressure drop* yang terjadi pada HE-001 disebabkan oleh adanya akumulasi pengotor yang terdapat pada permukaan tube dan shell. Hal ini menyebabkan terjadinya friksi antara aliran fluida dengan permukaan tube dan shell yang dapat menyebabkan pada turunnya tekanan *heat exchanger*-001.

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh *heat efficiency* sebesar 82,3840%, dimana panas yang masuk ke *heat exchanger* dari fluida solar yang berada di shell sebesar 656.821,2486 Btu/jam, panas masuk dari fluida *crude oil* sebesar 501.115,198 Btu/jam, sehingga akumulasi panas masuk ke alat *heat exchanger*-001 sebesar 115.705,93 Btu/jam . Besar panas yang ditransfer antara fluida panas ke fluida sebesar 95.323,1233 Btu/jam. Besarnya *heat*



LAPORAN PRAKTEK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MIGAS
PERIODE OKTOBER 2021

efficiency yang diperoleh dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain ketebalan dinding *tube*, *specific heat* fluida, dan ada tidaknya akumulasi kotoran yang menempel pada dinding dalam maupun luar *tube*. Kotoran yang terakumulasi ini ditunjukkan oleh *dirt factor* (R_d) yang diperoleh pada perhitungan sebelumnya. Semakin besar kotoran yang terakumulasi pada permukaan *tube*, baik permukaan dalam maupun luar, maka *heat efficiency* yang diperoleh akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya. (D.Q. Kern, 1983).

Berdasarkan dari data-data yang didapat yaitu nilai *dirt factor*, *pressure drop* dan *heat efficiency*, maka dapat disimpulkan bahwa *heat exchanger-001* masih layak untuk dioperasikan. Akan tetapi tetap perlu diperhatikan pada *maintenance* dan frekuensi pembersihan berkala dari *heat exchanger*. Hal ini bertujuan untuk menjaga keoptimalan kinerja *heat exchanger*.