



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

BAB IX

TUGAS KHUSUS

ANALISIS KINERJA *HEAT EXCHANGER*-01 TIPE SHELL AND TUBE DI UNIT KILANG PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM MIGAS) CEPU

IX.1 Latar Belakang Pemilihan Tugas Khusus *Heat Exchanger*-01

Proses pengolahan minyak melibatkan berbagai alat dan unit operasi untuk proses pengolahan dalam kilang. Alat yang digunakan terdiri dari, tangki minyak mentah dan produk, *furnace*, kolom fraksinasi, *stripper*, *cooler*, *condensor*, dan pompa. Selain itu, dalam proses pengolahan minyak dan gas bumi terdapat salah satu alat yang memiliki peranan penting, yaitu *Heat Exchanger* (HE) yang digunakan sebagai pemanasan awal atau pre-heater minyak mentah. Unit kilang PSDM memiliki 5 buah *Heat Exchanger*, antara lain HE 01, HE 02, HE 03, HE 04, dan HE 05, kemudian minyak mentah dipanaskan lebih lanjut dalam *furnace*. *Heat Exchanger* juga digunakan untuk mendinginkan produk sebelum masuk ke dalam tangki. *Heat exchanger* berperan penting untuk dapat mengurangi beban *furnace* dan menghemat pemakaian bahan bakar. Setiap unit operasi yang digunakan harus dilakukan pengecekan secara berkala untuk mengetahui kekurangan yang terjadi pada alat yang digunakan dan pengambilan keputusan terhadap proses yang terjadi atau alat yang digunakan termasuk alat *Heat Exchanger*, sehingga proses pengolahan pada minyak tetap berjalan sesuai keinginan. Selain itu, alasan dipilihnya alat *heat exchanger*-01 dikarenakan minyak mentah (*crude oil*) sebelum masuk ke *furnace* diproses lebih dahulu di *heat exchanger* jenis satu (HE-01) sehingga penting untuk mengetahui kinerja dari alat HE-01 untuk menentukan apakah alat HE-01 mampu bekerja secara optimal atau tidak. Kinerja HE-01 dapat diketahui dengan parameter evaluasi berdasarkan buku *Process Heat Transfer* oleh Kern.



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

IX.2 Heat Exchanger

Heat Exchanger adalah salah satu alat unit penukar panas yang paling banyak digunakan di industri untuk memindahkan panas dari suatu fluida ke fluida lain. Proses yang terjadi pada unit penukar panas ini meliputi pemanasan, pendinginan, mendidih, kondensasi atau penguapan sehingga sangat dibutuhkan oleh industri untuk penghematan energi. Contoh unit penukar panas yang ada di PPSDM Migas ini melakukan perpindahan panas antara produk (solar) dan *crude oil* sebagai bahan baku, sehingga produk yang dihasilkan tidak memerlukan proses pendinginan yang sangat tinggi begitu juga dengan *crude oil* yang sudah menerima panas dari *heat exchanger* sebagai *pre – heater* yang dapat mengurangi beban pemanasan pada *furnace*. Penukaran panas ini dapat terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

1. Perpindahan panas secara konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan antara molekul-molekul yang saling berdekatan satu dengan yang lain dan tidak diikuti oleh perpindahan molekul-molekul tersebut secara fisik. Molekul - molekul benda yang panas bergetar, dan getaran pada suhu yang lebih tinggi tersebut energi panasnya dilimpahkan ke molekul sekelilingnya yang suhunya lebih rendah sehingga terjadi proses perpindahan panas.

2. Perpindahan panas secara konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan panas dari suatu zat ke zat lain disertai dengan gerakan partikel atau zat tersebut secara fisik.

3. Perpindahan panas secara radiasi

Perpindahan panas secara radiasi ini merupakan perpindahan panas tanpa melalui media (tanpa melalui molekul). Suatu energi dapat menghantarkan dari suatu tempat ke tempat lain dengan gelombang elektromagnetik dimana tenaga ini akan diubah menjadi panas jika tenaganya diserap oleh benda lain.

(Mursadin, 2016)



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

IX.3 Macam-macam Aliran Penukar Panas

Terdapat dua aliran penukaran panas yaitu penukaran panas dengan aliran searah (*co-current*) dan penukaran panas dengan aliran berlawanan arah (*counter current*).

1. Aliran *Co-Current*

Penukar panas jenis ini, kedua fluida (panas dan dingin) masuk pada sisi penukar yang sama, mengalir dengan arah yang sama dan keluar pada sisi yang sama pula. Karakter pada penukar panas jenis ini, temperatur fluida dingin yang keluar dari alat penukar panas tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar dari alat penukar panas sehingga diperlukan media pendingin atau pemanas yang banyak.

2. Aliran *Counter Current*

Penukar panas jenis ini, kedua fluida (panas dan dingin) masuk dan keluar pada sisi yang berlawanan. Temperatur fluida dingin yang keluar dari penukar panas lebih tinggi dibandingkan temperatur fluida panas yang keluar dari penukar panas, sehingga dianggap lebih baik dari aliran searah. Aliran jenis *counter current* biasanya digunakan pada proses distilasi.

3. Aliran *Cross-Flow* (Silang)

Aliran silang adalah fluida-fluida yang mengalir sepanjang permukaan bergerak dalam arah saling tegak lurus.

IX.4 Shell and Tube Heat Exchanger

Shell and tube heat exchanger terdiri dari rangkaian tabung. Satu set tabung ini berisi cairan yang harus dipanaskan atau didinginkan. Cairan kedua mengalir di atas tabung yang sedang dipanaskan atau didinginkan sehingga dapat memberikan panas atau menyerap panas yang dibutuhkan. *Shell and tube heat exchanger* biasanya digunakan untuk aplikasi tekanan tinggi (dengan tekanan lebih dari 30 bar dan 3 suhu lebih besar dari 260 ° C). ini karena *shell and tube heat exchanger* kuat karena bentuknya.



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

Shell and tube heat exchanger merupakan tipe penukar panas yang paling sering digunakan terutama di industri karena harganya yang relatif murah dan perawatannya yang mudah. *Heat exchanger-05* 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 (*process heat exchanger*)
2. Penukar panas pembangkit tenaga

Berikut ini merupakan kelebihan dan kekurangan dari *heat exchanger shell and tube*:

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.

IX.5 Komponen Shell and Tube Heat Exchanger

Komponen-komponen utama pada *Shell and Tube Heat Exchanger* biasanya terdiri dari:

1. *Tube*

Tube pada sebuah alat penukar panas biasanya berupa pipa-pipa kecil dalam jumlah dan diameter tertentu. Diameter dalam *tube* merupakan diameter aktual dalam ukuran inch. *Tube* dapat dibuat dari berbagai jenis logam seperti besi, tembaga, perunggu, 70-30 tembaganikel, alumunium perunggu dan stainless steel. Untuk ukuran ketebalan pipa tube yang berbeda-beda dinyatakan dalam bilangan yang disebut *Birmingham Ware Gage (BWG)*. Ukuran pipa tersebut secara umum digunakan dengan mengikuti ukuran-ukuran baku. Semakin besar bilangan



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

BWG maka akan semakin tipis tube-nya. *Tube* dalam *shell* memiliki beberapa jenis susunan. Susunan yang lazim digunakan adalah segitiga, persegi, diamond.

Masing-masing jenis pola susunan tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan, sebagai berikut.

Tabel IX. 1 Perbandingan Pola Segitiga, Persegi, Diamond pada Susunan Tube

Jenis	Kelebihan	Kekurangan
Segitiga	1. Laju perpindahan panas cukup besar 2. Jumlah tube dapat dibuat menjadi lebih banyak	1. Pressure drop besar 2. Pembersihan menggunakan bahan kimia
Persegi	1. Pressure drop rendah 2. Dapat dibersihkan secara mekanik 3. Cocok untuk menangani fluida fouling	1. Koefisien film relative rendah
Diamond	1. Koefisien film lebih tinggi dibandingkan pola persegi, tetapi lebih rendah dibandingkan pada segitiga 2. Mudah dibersihkan secara mekanik 3. Baik untuk fluida fouling	1. Koefisien film relative rendah

2. *Tube Pitch*

Lubang-lubang pipa pada penampang *shell and tube* tidak tersusun secara begitu saja, namun mengikuti aturan tertentu. Lubang *tube* tidak boleh saling berdekatan. Jarak antara dua buah *tube* yang saling berdekatan disebut *clearance*. Jumlah pipa dan ukuran *tube* juga harus disesuaikan dengan ukuran *shell*-nya, ketentuan ini mengikuti aturan baku yang ada. Untuk lubang-lubang pipa secara persegi dan segitiga ini disebut sebagai *tube pitch*. Jenis-jenis *tube pitch* yang utama adalah sebagai berikut:



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

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°C .

b. *Triangular Pitch*

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

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*.

3. *Tube Sheet*

Tube sheet berfungsi sebagai tempat untuk merangkai ujung-ujung *tube* sehingga menjadi satu yang disebut *tube bundle*. *Tube sheet* dibuat 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 shell* harus tahan korosi terhadap fluida.

4. *Tie Rods*

Batangan besi yang dipasang sejajar dengan *tube* dan ditempatkan dibagian paling luar dari baffle yang berfungsi sebagai penyangga agar jarak antara baffle yang satu dengan yang 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



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

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 yang mengalirkan zat atau fluida. Untuk kemungkinan korosi, tebal *shell* sering dilebihkan 1/8 inch.

6. *Baffle*

Baffle merupakan bagian yang penting dari alat penukar panas. Fungsi dari *baffle* adalah untuk membuat aliran menjadi turbulen sehingga perpindahan panas menjadi lebih baik. 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 penampang *shell*. Jarak antar *baffle* tidak lebih dekat dari 1/5 diameter *shell* karena apabila terlalu dekat akan 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. *Nozzle*

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

9. *Channel*

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

IX.6 Pemilihan Fluida yang Dilewatkan *Tube and Shell*

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* maupun *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 lebih mudah dibersihkan.



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

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 pada *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 temperatur 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*



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

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 batasannya, yaitu:

- Hal yang berkaitan dengan kemampuan alat untuk mengalihkan panas dari fluida dingin melalui dinding *tube*
- 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. *Rd* 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:

- Untuk aliran uap dan gas (*P* tidak melebihi 0,5-2,0 psi)
- Untuk aliran cairan (*P* tidak melebihi 5-10 psi)

Kedua ketentuan tersebut harus diperhatikan baik dalam melaksanakan evaluasi maupun performa suatu alat perpindahan panas (Kern, 1950).

IX.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



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

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:

1. ***Perventive 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.

2. ***Corrective Maintenance***

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

3. ***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.

4. ***Shut Down***

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

5. ***Overhaul***

Overhaul adalah 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



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

6. *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.

7. *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 dikehendaki oleh siapapun.

(Shah, 2003)

IX.8 Parameter Evaluasi Kinerja *Heat Exchanger*

Parameter-parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja dari *heat exchanger* adalah sebagai berikut:

1. Laju Alir Massa

$$W = V \times \rho$$

Keterangan:

W = Laju alir massa (lb/jam)

V = Laju alir volumetrik (ft³/jam)

ρ = Densitas Fluida (lb/ft³)

2. Suhu Rata-rata Solar dan *Crude Oil*

$$T_{av} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

Keterangan:

T₁ = Suhu masuk

T₂ = Suhu keluar

3. Nilai Cp



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

Dilakukan dengan menggunakan referensi *Fig.4* dari buku *Process Heat Transfer* oleh Donal Q. Kern.

4. *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 kerja alat penukar panas, pada dasarnya menggunakan persamaan berikut:

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

Keterangan:

Q = Jumlah panass 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)

1. *Log Mean Temperature Difference (LMTD)*

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

Keterangan:

Δt_h = Beda temperatur tinggi (°F)

Δt_c = Beda temperatur rendah (°F)

2. *Faktor Kontroling Fluida dan Friksi Kalor (fc)*

$$\Delta t_c = T_1 - t_1$$

$$\Delta t_h = T_1 - t_2$$

$$\Delta T_h = T_1 - T_2$$

Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui nilai Ke dan fe dengan menggunakan grafik *Fig. 17* dari buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern halaman 827.



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

5. Suhu

- a. Residu

$$T_c = T_2 + (f_c \times (T_1 - T_2))$$

- b. Crude Oil

$$t_c = t_1 + (f_c \times (t_2 - t_1))$$

Dilakukan perhitungan dengan menggunakan referensi buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern Halaman 96.

6. Luas penampang *shell* (a_s) dan Diameter Ekuivalen (D_e)

$$a_s = \frac{ID_s \times C' \times B}{P_t \times 144} ft^2$$

Nilai D_e kemudian diperoleh dari grafik Fig.28 dari buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern halaman 838.

7. Luas penampang aliran dinding *tube*

$$a_t = \frac{N_t \times a't}{144 \times n} ft^2$$

Nilai $a't$ diperoleh dari Tabel.10 buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern halaman 843

8. Kecepatan Massa

- a. Kecepatan Massa di *shell* (G_s)

$$G_s = \frac{W}{a_s}$$

- b. Kecepatan Massa di *tube* (G_t)

$$G_t = \frac{W}{a_t}$$

Dilakukan perhitungan menggunakan referensi buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern halaman 483

9. Bilangan Reynold

- a. Bilangan Reynold Fluida sisi *shell* (Re_s)

$$Re_s = \frac{D_e \times G_s}{\mu}$$



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

b. Bilangan Reynold Fluida sisi tube (Rec)

$$Re_c = \frac{De \times Gt}{\mu}$$

Viskositas (μ) fluida diperoleh dari Fig. 14 buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern halaman 822-823.

10. Koefisien perpindahan panas lapisan film pada bagian luar *shell* ($\frac{ho}{\phi}$) dan pada bagian *tube* ($\frac{hio}{\phi}$)

a. Koefisien perpindahan panas lapisan film pada bagian luar *shell* ($\frac{ho}{\phi}$)

$$\frac{ho}{\phi} = jH \times \frac{k}{De} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}}$$

b. Koefisien perpindahan panas lapisan film pada bagian luar *shell* ($\frac{hio}{\phi}$)

$$\frac{hio}{\phi} = jH \times \frac{k}{De} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Keterangan:

jH = Faktor perpindahan panas kaloric

k = Konduktivitas pada temperatur kaloric, btu/hr. ft (Fig.1 Kern)

Cp = *Specific heat* pada temperatur kaloric, btu/hr. ft°F (Fig.4 Kern)

ho = Koefisien perpindahan panas konveksi *outside* (btu/hari.ft. F)

hio = Koefisien perpindahan panas konveksi *inside* (btu/hari/ft². F)

ϕ_s = Viskositas rasio fluida dalam *shell*

ϕ_t = Viskositas rasio fluida dalam *tube*

Jika jH , k , dan Cp secara berturut-turut diperoleh dari Fig.28 halaman 838, Fig.1 halaman 803, dan Fig.4 halaman 806 buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern dan rumus di halaman 84.

11. Suhu dinding luar *tube* (T_w)

$$T_w = tc + \left(\frac{\frac{ho}{\phi_s}}{\frac{ho}{\phi_s} + \frac{hio}{\phi_s}} \right) \times (Tc - tc)$$



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

Dilakukan perhitungan menggunakan referensi buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern halaman 98.

12. Koefisien transfer panas bagian *shell* (h_o) dan *tube* (h_i)

a. Bagian *shell* (h_o)

$$h_o = \frac{h_o}{\phi_s}$$

b. Bagian *tube* (h_i)

$$h_i = \frac{h_i}{\phi_s}$$

$$\phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

Nilai μ_w diperoleh dari Fig. viskositas dan Fig.14 *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern halaman 822-823.

13. U_c (*Clean Overall Coefficient*)

Clean Overall Coefficient merupakan koefisien 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.

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

14. Koefisien perpindahan panas aktual (U_{act})

Nilai ini merupakan koefisien perpindahan panas pada kondisi alat yang sebenarnya, setelah timbulnya kerak dan perbedaan kondisi operasi dengan design yang ada.

$$U_{act} = \frac{Q}{A \times \Delta T_{LMTD}}$$

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

Dilakukan perhitungan menggunakan referensi buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern halaman 351

15. U_D (*Design Overall Coefficient*)



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

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

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

16. *Heat Balance*

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

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*.

17. *Fouling Factor (Rd)*

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 fluida panas dan fluida dingin. 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 air dengan kecepatan sangat tinggi. Pembersihan ini membutuhkan waktu yang tidak singkat sehingga terkadang operasi produk 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 0,008 hr. ft². °F / BTU

18. Efisiensi

$$\eta = \frac{Q_t}{Q_s} \times 100\%$$



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

Dilakukan perhitungan menggunakan referensi jurnal oleh (Maulana, Ghifari, 2022) halaman 12.

19. *Pressure Drop*

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:

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

Pressure drop pada *tube* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta P_s = \frac{f \times (Gs)^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times D_e \times S_g \times \phi_s}$$

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*

(Kern, 1950)

Penurunan 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. Hal ini akan menurunkan *performance* dari *heat exchanger* tersebut. Dalam menganalisa *performance* dari *heat exchanger* tersebut. Dalam menganalisa *performance shell and tube heat exchanger* diasumsikan:

- 1) Terdapat *heating surface* yang sama pada setiap pass



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

- 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

(Pane, 2014)

IX.9 Dimensi Unit HE-1 PPSDM Migas Cepu

Nomor Seri	: HE-001
Tahun Pembuatan	: 2009
Kode Desain	: ASME SECT VIII-DIV 1, 2007 ED TEMA CLASS “R” - TYPE BES
Pembuat	: PT. Sentra Mekanindo TM
Client	: PT Gaspro Wahyu Widada
Pemilik	: PUSDIKLAT MIGAS-CEPU



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

Tabel IX. 2 Data Dimensi *Heat Exchanger*-01

Uraian	Satuan	Shell	Tube
Fluida		Solar	<i>Crude Oil</i>
<i>Design Pressure</i>	Kg/cm ² (G)	7	7
<i>Design Temperature</i>	⁰ C	150	150
<i>Test Pressure</i>	Kg/cm ² (G)	10	10
<i>Corrosion Allowance</i>	Mm	3	3
<i>Radiography</i>		FULL	FULL
PWHT		N/A	N/A
Material		A 516 GR 70	A 179
<i>Size</i>		925 ID x 3215 S/S	
Berat Unit	Kg. s	Empty	5619
Berat bundle	Kg. s	Empty	2847



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

IX.10 Data Spesifikasi Unit HE-1 PPSDM Migas Cepu

Spesifikasi unit HE-1 PPSDM Migas Cepu ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel IX. 3 Spesifikasi Unit HE-1 PPSDM Migas

No.	Uraian	Notasi	Satuan	HE-1
1.	Rd			0.005
2.	Kapasitas Maksimum	W	L/hari	600.000
3.	Tmaks operasi	T	⁰ C	150
SHELL (Fluida: Solar)				
1.	Diameter luar	Ods	inci	31.614
2.	Diameter dalam	IDs	inci	30.748
3.	Jumlah baffle	N	buah	4
4.	Jarak antar baffle	B	inci	23.623
5.	Jumlah passes	n		1
6.	Jenis fluida			Solar
TUBE (Fluida: Crude Oil)				
1.	Diameter luar	Odt	inci	1
2.	Panjang tube	L	feed	10
3.	Jumlah tube	Nt	buah	400
4.	BWG			14
5.	Pitch		inci	1.25
6.	Jarak antar baffle	Pt	inci	0.25
7.	Jumlah passes	n		1
8.	Jenis fluida			Crude Oil



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

IX.11 Data Hasil Pengamatan

Data hasil pengamatan unit HE-1 PPSDM Migas diperoleh selama 5 hari yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel IX. 4 Data Hasil Pengamatan Unit HE-1 PPSDM Migas Cepu

SHELL (Solar)				
Tanggal	Kapasitas/hari (L/hari)	Suhu Masuk T1 (°C)	Suhu Keluar T2 (°C)	Densitas 15°C, ρ (Kg/m ³)
06/11/2024	177.790	65	40	846
07/11/2024	132.995	58	40	834,8
08/11/2024	190.425	63	42	840.2
13/11/2024	167.625	55	38	842,8
14/11/2024	164.106	56	40	848
Rata-rata	166.588.2	59,4	40	842,36
TUBE (Crude Oil)				
Tanggal	Kapasitas/hari (L/hari)	Suhu Masuk T1 (°C)	Suhu Keluar T2 (°C)	Densitas 15°C, ρ (Kg/m ³)
06/11/2024	294.544	33	41	840,1
07/11/2024	266.058	30	38	838,7
08/11/2024	299.343	35	45	840
13/11/2024	336.552	29	36	847,2
14/11/2024	351.959	31	39	847
Rata-rata	309.685,2	31,6	39,8	842.6



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

IX.12 Hasil Konversi Data Lapangan

Data densitas yang didapatkan dari tabel IV.3 diubah ke dalam bentuk nilai *specific gravity* 60/60°F yang berdasarkan tabel 3 *API Gravity to Specific Gravity and to Density* pada buku *Tables De Messurage Des Products Petroliers*. Berikut merupakan hasil konversi data lapangan.

Tabel IX. 5 Hasil Konversi Data Lapangan

Fluida Panas (Solar)				
T1 rata-rata (°F)	T2 rata-rata (°F)	SG 60/60 (°F)	API Gravity °F	Densitas 15°C
138,92	104	0,84505	35,946	0,8424
Fluida Dingin (Crude Oil)				
T1 rata-rata (°F)	T2 rata-rata (°F)	SG 60/60 (°F)	API Gravity °F	Densitas 15°C
88,88	103,64	0,8433	36,293	0,8426

IX.13 Pengolahan Data

1. Laju Alir (W)

a. Laju Alir di Shell (Ws)

$$\begin{aligned}\rho_{\text{solar}} &= 842,36 \text{ kg/m}^3 \\ &= 52,946 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas solar} &= 166588,2 \text{ L/hari} \\ &= 249,882 \text{ ft}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

$$W_s = V_{\text{solar}} \times \rho_s$$

(Equation 3.5, page 30-31, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$\begin{aligned}W_s &= 249,882 \text{ ft}^3/\text{jam} \times 52,946 \text{ lb/ft}^3 \\ W_s &= 13.228,93 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

b. Laju Alir Tube (Wt)

$$\begin{aligned}\rho_{\text{crude oil}} &= 842,6 \text{ kg/m}^3 \\ &= 52,604 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$



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

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas crude oil} &= 309.691,2 \text{ L/hari} \\ &= 464,537 \text{ ft}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

$$W_t = V_{\text{crude oil}} \times \rho_s$$

(Equation 3.5, page 30-31, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$W_t = 464,537 \text{ ft}^3/\text{jam} \times 52,604 \text{ lb/ft}^3$$

$$W_t = 24.436,27 \text{ lb/jam}$$

2. Suhu rata-rata dan *Spesific Heat* (Cp)

a. Suhu rata-rata dan *Spesific Heat* (Cp) solar

$$T_{\text{av}} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

(Equation page 113, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$T_{\text{av}} = \frac{138,92 + 104}{2}$$

$$T_{\text{av}} = 121,46^\circ\text{F}$$

$$^\circ\text{API} = \left(\frac{141,5}{\text{SG } 60/60^\circ\text{F}} \right) - 131,5$$

(Equation 1.4, page 4, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$^\circ\text{API} = \left(\frac{141,5}{0,84505} \right) - 131,5$$

$$^\circ\text{API} = 35,94$$

(Figure 4, page 806, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

Berdasarkan figure 4 *Spesific heats of hydrocarbon liquids* pada buku D. Q. Kern didapatkan nilai **Cp sebesar 0,4825 BTU/lb⁰F**.

b. Suhu rata-rata dan *Spesific Heat* (Cp) crude oil

$$T_{\text{av}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

(Equation page 113, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$T_{\text{av}} = \frac{88,88 + 103,64}{2}$$

$$T_{\text{av}} = 96,26^\circ\text{F}$$



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

$$^{\circ}\text{API} = \left(\frac{141,5}{\text{SG}_{60/60}^{\circ\text{F}}} \right) - 131,5$$

(Equation 1.4, page 4, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$^{\circ}\text{API} = \left(\frac{141,5}{0,8433} \right) - 131,5 == 36,293^{\circ}\text{F}$$

(Figure 4, page 806, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

Berdasarkan figure 4. *Specific heats of hydrocarbon liquids* pada buku D. Q. Kern didapatkan nilai **C_p sebesar 0,47 BTU/lb⁰F**.

3. Panas yang Dibutuhkan

- a. Panas yang dibutuhkan solar

$$Q_s = W_s \times C_p \times (T_1 - T_2)$$

(Equation 7.6, page 140, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$Q_s = 13.228,93 \frac{\text{lb}}{\text{jam}} \times 0,4825 \text{BTU/lb}^{\circ}\text{F} \times (138,92^{\circ}\text{F} - 104^{\circ}\text{F})$$

$$Q_s = 222.892,9 \text{ BTU/jam}$$

- b. Panas yang dibutuhkan crude oil

$$Q_t = W_t \times C_p \times (t_2 - t_1)$$

(Equation 7.6, page 140, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$Q_t = 24.436,27 \frac{\text{lb}}{\text{jam}} \times 0,47 \text{BTU/lb}^{\circ}\text{F} \times (88,88^{\circ}\text{F} - 103,64^{\circ}\text{F})$$

$$Q_t = 169.519,29 \text{ BTU/jam}$$

4. Neraca Panas

$$Q = Q_s - Q_t$$

(Equation 2.6, page 10, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$Q = 222.892,9 \frac{\text{BTU}}{\text{jam}} - 169.519,29 \frac{\text{BTU}}{\text{jam}}$$

$$Q = 53.373,61 \frac{\text{BTU}}{\text{jam}}$$



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

$$Losses = \frac{Q}{Q_s} \times 100\%$$

$$Losses = \frac{53.373,61 BTU/jam}{222.892,9 BTU/jam} \times 100\%$$

$$Losses = 23,94\%$$

5. Menghitung ΔT_{LMTD}

Dikarenakan *Heat Exchanger* 1 menggunakan system *counter current*, maka:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_2 - t_1) - (T_1 - t_2)}{\ln \frac{(T_2 - t_1)}{(T_1 - t_2)}}$$

(Equation 5.14, page 89, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(104^\circ\text{F} - 88,88^\circ\text{F}) - (138,92^\circ\text{F} - 103,64^\circ\text{F})}{\ln \frac{(104^\circ\text{F} - 88,88^\circ\text{F})}{(138,92^\circ\text{F} - 103,64^\circ\text{F})}}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 23,793^\circ\text{F}$$

Berdasarkan *Figure 18 Kern-Process Heat Exchanger* dengan data:

$$R = \frac{(T_2 - T_1)}{(t_2 - t_1)} = \frac{(104^\circ\text{F} - 138,92^\circ\text{F})}{(103,64^\circ\text{F} - 88,88^\circ\text{F})} = 2,366$$

$$S = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} = \frac{(103,64^\circ\text{F} - 88,88^\circ\text{F})}{(138,92^\circ\text{F} - 88,88^\circ\text{F})} = 0,295$$

(Equation in Fig.18, page 828, "Process Heat Transfer" Kern, 1950 1st edition)

Diperoleh nilai F_t sebesar 0,85 sehingga,

$$LMTD = F_t \times \Delta T_{LMTD} = 0,85 \times 23,793^\circ\text{F} = 20,224^\circ\text{F}$$

(Equation 7.42, page 149, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

6. Menentukan *Controlling Fluida*

Berdasarkan *Figure 17 Kern-Process Heat Exchanger* dengan data:

$$^{\circ}\text{API}_{\text{solar}} = 35,946^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_h = T_1 - T_2 = 138,92^\circ\text{F} - 104^\circ\text{F} = 34,92^\circ\text{F}$$

Diperoleh nilai $K_c = 0,13$



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

7. Friksi Kalor (Fc)

Berdasarkan *Figure 17 Kern-Process Heat Exchanger* dengan data:

$$\Delta t_c = T_2 - t_1 = 104^\circ\text{F} - 88,88^\circ\text{F} = 15,12^\circ\text{F}$$

$$\Delta t_h = T_1 - t_2 = 138,92^\circ\text{F} - 103,64^\circ\text{F} = 35,28^\circ\text{F}$$

(*Equation 5.21, page 95, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition*)

$$\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{15,12^\circ\text{F}}{35,28^\circ\text{F}} = 0,429^\circ\text{F}$$

Diperoleh nilai Fc sebesar 0,415

8. Menghitung Suhu Kalor

- a. Suhu Kalor Solar

$$T_c = T_2 + (f_c \times (T_1 - T_2))$$

(*Equation 5.28, page 96, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition*)

$$T_c = 104^\circ\text{F} + (0,415 \times (138,92^\circ\text{F} - 104^\circ\text{F}))$$

$$T_c = 118,492^\circ\text{F}$$

- b. Suhu Kalor Crude Oil

$$t_c = t_1 + (f_c \times (t_2 - t_1))$$

(*Equation 5.29, page 96, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition*)

$$t_c = 88,88^\circ\text{F} + (0,415 \times (103,64^\circ\text{F} - 88,88^\circ\text{F}))$$

$$t_c = 95,005^\circ\text{F}$$

9. Luas Penampang dan Diameter

- a. Luas Penampang Shell (a_s) dan Diameter Ekuivalen (D_e)

$$a_s = \frac{ID_s \times C \times B}{P_t} \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ in}^2}$$

(*Equation 7.1, page 138, "Process Heat Transfer" Kern, 1950 1st edition*)

$$a_s = \frac{30,748 \text{ in} \times 0,25 \text{ in} \times 23,623 \text{ in}}{1,25 \text{ in}} \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ in}^2}$$

$$a_s = 1,00883 \text{ ft}^2$$

Berdasarkan figure 28 Kern pada buku Process Heat Exchanger dengan data:

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



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

PT Triangular = 1,25 in

Sehingga diperoleh nilai D_e yaitu:

$$D_e = 0,72 \text{ in} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} = 0,06 \text{ ft}$$

- b. Luas Penampang Aliran Dinding Tube (a_t) dan Diameter dalam Tube (IDt)

Berdasarkan Tabel 10 *Kern* pada buku *Process Heat Exchanger* dengan data:

OD = 1 in

BWG = 14 in

Didapatkan hasil nilai *flow area per tube* ($a't$) dan IDt yaitu sebesar:

$$a't = 0,546 \text{ in}^2$$

$$at = \frac{Nt \times a't}{n} \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ in}^2}$$

(Equation 7.48, page 150, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$at = \frac{400 \times 0,546 \text{ in}^2}{1} \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ in}^2}$$

$$at = 1,517 \text{ ft}^2$$

$$IDt = 0,834 \text{ in}$$

$$IDt = 0,0695 \text{ ft}$$

10. Kecepatan Massa

- a. Kecepatan Massa Solar (Gs)

$$Gs = \frac{Ws}{a_s}$$

(Equation 7.2, page 138, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$Gs = \frac{13.228,93 \text{ lb/jam}}{1,00883 \text{ ft}^2}$$

$$Gs = 13.113,096 \text{ lb/ft}^2 \text{ jam}$$

- b. Kecepatan Massa Crude Oil (Gt)

$$Gt = \frac{Wt}{a_t}$$

(Equation 7.2, page 138, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)



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

$$Gt = \frac{24.436,27 \text{ lb/jam}}{1,517 \text{ ft}^2}$$

$$Gt = 16111,826 \text{ lb/ft}^2 \text{ jam}$$

11. Viskositas dan Bilangan Reynold Fluida

a. Viskositas dan Bilangan Reynold Fluida Solar (Res)

Berdasarkan Tabel *Viscosity of Petroleum Kern* dengan data:

$$T_c = 119,714^\circ\text{F}$$

$$API_{\text{solar}} = 35,946^\circ\text{F}$$

$$35^\circ API \rightarrow x = 10,0 \text{ y} = 20,0$$

$$42^\circ API \rightarrow x = 11,6 \text{ y} = 16,0$$

Dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai x dan y dari $35,946^\circ API$, diperoleh hasil nilai $x = 10,217$ $y = 19,457$

Berdasarkan Gambar IX. 12 (*Figure 14 Kern*) diperoleh nilai viskositas untuk $35,946^\circ API$ dengan nilai $x = 10,217$ $y = 19,457$ yaitu sebesar 2,5 cP atau 6,05 lb/ft.jam.

Bilangan Reynold

$$Re_s = \frac{De \times Gs}{\mu}$$

(Equation 7.3, page 138 'example page 152', "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$Re_s = \frac{0,06 \text{ ft} \times 13.113,096 \text{ lb/ft}^2 \text{ jam}}{6,05 \text{ lb/ftjam}}$$

$$Re_s = 314,714$$

b. Viskositas dan Bilangan Reynold Fluida Crude Oil (Ret)

Berdasarkan Tabel *Viscosity of Petroleum Kern* dengan data:

$$t_c = 95,522^\circ\text{F}$$

$$API_{\text{crude oil}} = 36,293^\circ\text{F}$$



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

$$35^{\circ}API \rightarrow x = 10,0 \ y = 20,0$$

$$42^{\circ}API \rightarrow x = 11,6 \ y = 16,0$$

Dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai x dan y dari $36,293^{\circ}API$, diperoleh hasil nilai $x = 11,136 \ y = 17,16$

Berdasarkan *Figure 14* Kern diperoleh nilai viskositas untuk $36,293^{\circ}API$ dengan nilai $x = 11,136 \ y = 17,16$ yaitu sebesar 1,8 cP atau 4,356 lb/ftjam

Gambar IX. 1 *Viscosities of Liquid*

(*Figure 14, page 823, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition*)

Bilangan Reynold

$$Re_t = \frac{IDt \times Gt}{\mu}$$

$$Re_t = \frac{0,0695 \text{ ft} \times 16.111,826 \text{ lb/ft}^2\text{jam}}{4,356 \text{ lb/ftjam}}$$

$$Re_t = 622,096$$

12. Menentukan Koefisien Perpindahan Panas Lapisan Film

- a. Koefisien Perpindahan Panas Lapisan Film pada Bagian Luar *Shell* $\left(\frac{h_o}{\Phi_s}\right)$

Berdasarkan *Fig. 4 Kern-Process Heat Exchanger* dengan data:

$$T_c = 118,492^{\circ}F \text{ dan } 35,946^{\circ}API$$

$$\text{Diperoleh nilai } Cp = 0,489 \text{ btu/lb}^{\circ}F$$

Pada *Fig. 1 Kern-Process Heat Exchanger* dengan data:

$$T_c = 118,492^{\circ}F \text{ dan } 35,946^{\circ}API$$

Diperoleh dari Gambar IX.16 nilai $k = 0,078 \text{ BTU/ft}^2\text{.jam. } (^{\circ}F/\text{ft})$

Berdasarkan *Fig. 28 Kern-Process Heat Exchanger* dengan data:

$$Re_s = 314,714$$



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

Diperoleh dari Gambar IX.17 nilai $j_H = 9,2$

$$\frac{h_0}{\Phi_s} = j_H \frac{k}{De} \times \left(\frac{C_p \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}}$$

(Equation 6.15b, page 112, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$\frac{h_0}{\Phi_s} = 9,2 \times \frac{0,078 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{jam. (}^\circ\text{F/ft)k}}{0,06 \text{ ft}} \times \left(\frac{0,489 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \times 6,05 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}}{0,078 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{jam. (}^\circ\text{F/ft)}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{h_0}{\Phi_s} = 40,184 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{jam. }^\circ\text{F}$$

b. Koefisien Perpindahan Panas Lapisan Film pada Bagian Luar Tube $\left(\frac{h_i}{\Phi_t} \right)$

Berdasarkan Fig. 4 Kern-Process Heat Exchanger dengan data:

$t_c = 95,005^\circ\text{F}$ dan $36,293^\circ\text{API}$

Berdasarkan Gambar IX.18 diatas, diperoleh nilai $C_p = 0,47 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F}$

Pada Fig. 1 Kern-Process Heat Exchanger dengan data:

$t_c = 95,005^\circ\text{F}$ dan $36,293^\circ\text{API}$

Diperoleh dari Gambar IX.19 nilai $k = 0,078 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{jam. (}^\circ\text{F/ft)}$

Berdasarkan Fig. 24 Kern-Process Heat Exchanger dengan data:

$Re_t = 622,275$

$$\frac{L}{IDt} = \frac{10}{0,0695} = 143,885$$

Diperoleh dari Gambar IX.20 nilai $j_H = 2,9$

$$\frac{h_i}{\Phi_t} = j_H \frac{k}{IDt} \times \left(\frac{C_p \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}}$$

(Equation 6.15a, page 111, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)



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

$$\frac{h_i}{\Phi_t} = 2,9 \times \frac{0,078 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{jam. } (^\circ\text{F/ft})k}{0,0695 \text{ ft}} \times \left(\frac{0,47 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \times 4,356 \frac{\text{lb}}{\text{ft. jam}}}{0,079 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{jam. } (^\circ\text{F/ft})} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$\frac{h_i}{\Phi_t} = 9,672 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{jam. } ^\circ\text{F}$$

13. Menghitung Suhu Dinding Luar Tube (T_w)

$$T_w = t_c + \left(\frac{\frac{h_o}{\Phi_s}}{\frac{h_{i0}}{\Phi_t} + \frac{h_i}{\Phi_t}} \right) \times (T_c - t_c)$$

(Equation 5.31, page 98, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

Dimana:

$$\frac{h_{i0}}{\Phi_t} = \frac{h_i}{\Phi_t} \times \frac{IDt}{OD}$$

$$\frac{h_{i0}}{\Phi_t} = 9,672 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{jam. } ^\circ\text{F} \times \frac{0,0695}{1}$$

$$\frac{h_{i0}}{\Phi_t} = 8,067 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{jam. } ^\circ\text{F}$$

Sehingga,

$$T_w = 95,005^\circ\text{F}$$

$$+ \left(\frac{40,184 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{jam. } ^\circ\text{F}}{8,067 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{jam. } ^\circ\text{F} + 9,672 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{jam. } ^\circ\text{F}} \right) \times (119,714^\circ\text{F} - 95,522^\circ\text{F})$$

$$T_w = 148,208^\circ\text{F}$$

14. Menghitung Koefisien Transfer Panas

a. Koefisien Transfer Panas Bagian *Shell* (h_o)

Dengan nilai 35,946°API, diperoleh nilai $x = 10,22$ dan $y = 19,46$

Berdasarkan Fig. 14 Kern-Process Heat Exchanger, dengan nilai :

$$T_w = 148,208^\circ\text{F}$$



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

Diperoleh dari Gambar IX.21 nilai Viskositas (μ_w) = 1,8 cP = 4,354 lb/ft.jam

$$\Phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

(Figure 24 insert, page 834, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$\Phi_s = \left(\frac{6,05}{4,354} \right)^{0,14}$$

$$\Phi_s = 1,047$$

$$h_0 = \frac{h_0}{\Phi_s} \times \Phi_s$$

(Equation 6.36, page 121, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$h_0 = 40,184 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}} \times 1,047$$

$$h_0 = 42,078 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}$$

b. Koefisien Transfer Panas Bagian Tube (h_{i0})

Dengan nilai 39,967°API, diperoleh nilai x = 11,136 dan y = 17,16

Berdasarkan Fig. 14 Kern-Process Heat Exchanger, dengan nilai:

$$T_w = 148,208^\circ\text{F}$$

Diperoleh dari Gambar IX.22 nilai Viskositas (μ_w) = 1,2 cP = 2,903 lb/ft.jam

$$\Phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

(Figure 24 insert, page 834, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$\Phi_t = \left(\frac{4,356}{2,903} \right)^{0,14}$$

$$\Phi_t = 1,058$$

$$h_{i0} = \frac{h_{i0}}{\Phi_t} \times \Phi_t$$

(Equation 6.76, page 121, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$h_{i0} = 8,067 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}} \times 1,058$$



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

$$h_{i0} = 8,538 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}$$

15. Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Bersih (U_c)

$$U_c = \frac{h_{i0} \times h_0}{h_{i0} + h_0}$$

(Equation 6.38, page 121, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$U_c = \frac{8,538 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}} \times 42,078 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}}{8,538 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}} + 42,078 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}}$$

$$U_c = 7,098 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}$$

16. Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Kotor (U_d)

Berdasarkan Table.10 Kern-Process Heat Exchanger dengan data:

OD_{tube} = 1 in

BWG = 14

Diperoleh `dari gambar IX.23 diatas, nilai a" = 0,2618

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

$$A = 400 \times 10 \text{ ft} \times 0,2618 \text{ ft}$$

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

$$U_d = \frac{Q_{tube}}{A \times \Delta T_{LMTD}}$$

(Equation 5.3, page 86, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$U_d = \frac{169.519,292 \text{ BTU/jam}}{1047,2 \text{ ft}^2 \times 23,793 ^\circ\text{F}}$$

$$U_d = 6,804 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}$$



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

17. Menghitung Nilai *Dirt Factor* (R_d)

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

(Equation 6.13, page 108, "Process Heat Transfer" D. Q. Kern, 1950 1st edition)

$$R_d = \frac{7,098 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}} - 6,804 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}}{7,098 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}} \times 6,804 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}}$$

$$R_d = 0,006$$

18. Menghitung Efisiensi *Heat Exchanger*-01

$$\eta = \frac{Q_t}{Q_s} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{169.568,315 \text{ BTU/jam}}{222.735,193 \text{ BTU/jam}} \times 100\%$$

$$\eta = 76,13\%$$

19. Menghitung *Pressure Drop*

a. *Pressure Drop* Bagian *Shell* (ΔP_s)

Dari Fig. 29 Kern-Process Heat Exchanger dengan data:

$$\text{Re}_s = 314,714$$

Diperoleh dari Gambar IX.24 diatas, nilai:

$$f = 0,0042 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

$$L = 10$$

$$n = 1$$

$$SG_{\text{solar } \frac{60}{60}^\circ\text{F}} = 0,845$$

$$G_s = 13.113,096 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{jam}$$

$$\Phi_s = 1,047$$

$$D_s = 30,748 \text{ in} = 2,562 \text{ ft}$$

$$\text{Jumlah crosses } (N+1) = 12 \times \frac{L}{B}$$



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

$$\text{Jumlah crosses (N+1)} = 12 \times \frac{10}{23,623}$$

$$\text{Jumlah crosses (N+1)} = 5,0798$$

$$D_e = 0,06 \text{ ft}$$

$$\Delta P_s = \frac{f \times 144 \times G_s^2 \times D_s \times (N + 1)}{5,22 \times 10^{10} \times D_e \times SG_{\text{solar } \frac{60}{60}^{\circ}\text{F}} \times \Phi_s}$$

(Equation in fig.29, page 839, "Process Heat Transfer" Kern, 1950 1st edition)

$$\Delta P_s = \frac{(0,0042 \text{ ft}^2/\text{in}^2 \times 144) \times (13.113,096 \text{ lb}/\text{ft}^2 \cdot \text{jam})^2 \times 2,562 \text{ ft} \times 5,0798}{5,22 \times 10^{10} \times 0,06 \text{ ft} \times 0,845 \times 1,047}$$

$$\Delta P_s = 0,488 \text{ psi}$$

b. *Pressure Drop Bagian Tube (ΔP_t)*

Dari Fig. 29 Kern-Process Heat Exchanger dengan data:

$$Re_t = 622,096$$

Diperoleh dari Gambar IX.25 diatas, nilai:

$$f = 0,0009 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

$$L = 10$$

$$n = 1$$

$$SG_{\text{crude oil } \frac{60}{60}^{\circ}\text{F}} = 0,8433$$

$$G_t = 16.111,826 \text{ lb}/\text{ft}^2 \cdot \text{jam}$$

$$\Phi_t = 1,0585$$

$$ID_t = 0,0695 \text{ ft}$$

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times ID_t \times SG_{\text{crude oil } \frac{60}{60}^{\circ}\text{F}} \times \Phi_t}$$

(Equation in fig.26, page 836, "Process Heat Transfer" Kern, 1950 1st edition)

$$\Delta P_t = \frac{0,0009 \text{ ft}^2/\text{in}^2 \times (16.111,826 \text{ lb}/\text{ft}^2 \cdot \text{jam})^2 \times 10 \times 1}{5,22 \times 10^{10} \times 0,0695 \text{ ft} \times 0,8433 \times 1,0585}$$

$$\Delta P_t = 0,00072 \text{ psi}$$

$$v = \frac{G_t}{\rho}$$



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

$$v = \frac{16.111,826 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{jam}}{52,604 \text{ lb/ft}^2} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}}$$

$$v = 0,0851 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

$$\Delta P_r = \frac{4n \times v^2}{SG_{\text{crude oil } \frac{60}{60}^\circ\text{F}} \times 2g}$$

(Equation in fig.27, page 837, "Process Heat Transfer" Kern, 1950 1st edition)

$$\Delta P_r = \frac{4(1) \times (0,0851)^2}{0,8433 \times 2(32,2)} \left(\frac{62,5}{144} \right)$$

$$\Delta P_r = 0,00023 \text{ psi}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_t + \Delta P_r$$

(Equation 7.47, page 148, "Process Heat Transfer" Kern, 1950 1st edition)

$$\Delta P_{\text{total}} = 0,00072 \text{ psi} + 0,00023 \text{ psi}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 0,00095 \text{ psi}$$

IX.14 Pembahasan

Alat penukar panas (*Heat Exchanger*) adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari suatu fluida ke fluida lain dimana fluida panas akan didinginkan dan fluida dingin akan dipanaskan. *Heat Exchanger* pada PPSDM Migas ini berfungsi untuk melakukan *pre-heating* pada *crude-oil* sebelum masuk ke dalam *furnace* dengan memanfaatkan panas yang berasal dari produk solar sehingga dapat mengurangi beban kerja pada *furnace* serta dapat menurunkan tempertaur dari solar sebelum masuk ke dalam *cooler*. Setiap alat yang terdapat di unit kilang PPSDM Migas perlu dilakukan evaluasi untuk mengetahui kinerja dari suatu alat, apakah masih efisien untuk digunakan atau tidak. Alat yang dipilih untuk dilakukan evaluasi yaitu *Heat Exchanger*-01 yang merupakan *heat exchanger* jenis *shell and tube*. Pada bagian *shell*, dilalui media pemanas berupa solar sedangkan *tube* dilalui oleh *crude oil*. Tipe aliran yang digunakan pada HE-01 adalah aliran *counter-current* ini berarti aliran media pemanas solar dan *crude oil* dilakukan secara berlawanan arah. Aliran *counter-current* digunakan karena aliran ini dapat



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

memberikan perpindahan panas yang lebih baik. HE-01 digunakan sejak 2009 dan sejak tahun tersebut belum ada pergantian. Evaluasi dilakukan pada HE-01 di Unit Kilang PPSDM Migas Cepu untuk mengetahui parameter-parameter yang mempengaruhi terhadap efisiensi dan kinerja pada HE. Evaluasi *heat exchanger* ini menggunakan referensi dari buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern. Hasil evaluasi dari HE-01 di Unit Kilang PPSDM Migas Cepu yang telah dilakukan ditunjukkan oleh tabel berikut.

Tabel IX. 6 Hasil Perhitungan Evaluasi Unit HE-01 PPSDM Migas Cepu

Parameter	Hasil Evaluasi
Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan (<i>Design</i>)(U_c)	7,098 $\frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}$
Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan (<i>Actual</i>)(U_d)	6,804 $\frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}$
Efisiensi Perpindahan Panas (η)	76,054%
<i>Dirt Factor/Fouling Factor</i> (R_d)	0,006
<i>Pressure Drop Shell</i> (ΔP_s)	0,488 psi
<i>Pressure Drop Tube</i> (ΔP_{total})	0,0007 psi
<i>Pressure Drop Total</i> (ΔP_{total})	0,00095 psi
<i>Logaritmic Mean Temperature Design</i> (LMTD)	21,295°F

IX.14.1 Analisa Nilai *Overall Coefficient* (U) dan *Dirt Factor* (R_d) pada HE-01

Analisa nilai *Overall Coefficient* (U) perlu memperhatikan *fouling factor* karena *fouling* dapat mempengaruhi kinerja *heat exchanger*. *Fouling factor/dirt factor* (R_d) merupakan salah satu parameter dalam mengevaluasi suatu *heat exchanger*. *Fouling factor/dirt factor* (R_d) menunjukkan ketahanan suatu *heat exchanger* terhadap pengotor. Perhitungan faktor kekotoran (*fouling factor*) sangat berpengaruh pada evaluasi alat *heat exchanger* karena dari hasil perhitungan dapat menentukan layak atau tidaknya sebuah *heat exchanger* untuk beroperasi (Dwicahyo Putro Nugroho dkk, 2021). Adanya *fouling* dapat menyebabkan nilai koefisien perpindahan panas mengecil sehingga proses perpindahan panas akan



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

terhambat (Naufal dkk., 2022). *Fouling factor* tergantung pada nilai koefisien perpindahan panas ke seluruh permukaan bersih (U_c) dan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan untuk permukaan kotor (U_d) (Alfianingrum & Ari, 2019).

Besarnya nilai *fouling factor* berkaitan dengan nilai *overall heat transfer coefficient* pada saat terjadinya *fouling* (U_d) dan pada saat bersih, tanpa kerak, dan tidak terjadinya *fouling* (U_c). Nilai U_c merupakan nilai *overall heat transfer coefficient* terbaik yang dapat diberikan pada *heat exchanger* karena performa *heat exchanger* dihitung tanpa adanya pengaruh *fouling* sehingga nilai U_d tidak boleh melebihi nilai U_c (Naufal dkk., 2022). Nilai koefisien tersebut juga menyatakan kemudahan suatu panas berpindah dari fluida yang bersuhu tinggi ke fluida yang bersuhu lebih rendah. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai U_c sebesar 7,098 BTU/ft² jam. °F dan U_d sebesar 6,804 BTU/ft².jam.°F. Dari hasil perhitungan, didapatkan bahwa nilai U_d (*Design Overall Coefficient*) lebih kecil dibandingkan nilai U_c (*Overall Head Coefficient*). Semakin kecil nilai U_d menunjukkan bahwa semakin banyak kotoran yang terakumulasi pada permukaan *heat exchanger* (Dardiri & Sudarni, 2023).

Perhitungan nilai U_d dipengaruhi oleh *Mean Temperature Difference* (MTD). Nilai U_d berbanding terbalik dengan MTD dimana nilai MTD bergantung dengan perbedaan temperature gas inlet dan outlet serta nilai LMTD. Nilai MTD yang diperoleh sebesar 21,295°F. Semakin besar nilai LMTD maka semakin tidak efisien suatu *heat exchanger* karena LMTD yang besar menyebabkan semakin banyak panas yang di transfer dan semakin banyak biaya yang dikeluarkan (Azwinur & Zulkifli, 2019). Kemudian, dari hasil perhitungan didapatkan nilai R_d sebesar 0,006 ft².jam. °F/ BTU. Menurut buku Kern ketika R_d perhitungan lebih besar dari R_d total alat HE yang minimum yaitu 0,005 hr. ft/BTU dapat dikatakan tahanan *heat exchanger* terhadap pengotor adalah baik. Nilai *fouling factor* aktual hasil perhitungan sedikit melebihi nilai *fouling factor* standar yang merupakan besarnya nilai *fouling factor* maksimal yang diperbolehkan dalam suatu *heat exchanger*. Hal tersebut menunjukkan adanya kerak yang menempel pada dua area



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

yaitu dinding dalam atau luar *tube* sehingga menghambat perpindahan panas yang terjadi. Area luar *tube* yang tertumpuk *fouling* menyebabkan perpindahan panas terganggu. Selain itu, berkurangnya area dari aliran fluida meningkatkan kecepatan *cross flow*, sehingga meningkatkan juga koefisien perpindahan panas serta *pressure drop* dari bagian *shell* (Naufal dkk., 2022). Jika *Rd* semakin banyak, maka jumlah kerak (*scale*) yang terjadi pada alat tersebut semakin meningkat sehingga dapat menurunkan kinerja alat tersebut (Alfianingrum & Ari, 2019).

Fouling pada penukar panas (*heat exchanger*) dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya terkait kandungan dari umpan. Minyak mentah mengandung senyawa hidrokarbon dan sisanya merupakan senyawa non-hidrokarbon (sulfur, nitrogen, oksigen dan beberapa logam berat seperti Pb, V, Ni dan Cu). Air dan garam hampir selalu terdapat dalam minyak bumi dalam keadaan terdispersi. Crude oil yang banyak mengandung *impurities* seperti *coke* atau senyawa sulfur yang terbawa oleh *crude oil* maupun solar memungkinkan pembentukan kotoran atau kerak. Umpan *crude oil* pun mengandung garam, abu, dan malam yang dapat menimbulkan pembentukan kerak. Selain itu, kadar garam dan air masih terkandung dalam *crude oil* sehingga dapat menimbulkan korosi, didukung dengan adanya oksigen karena kondisi penyimpanan umpan dan pemaparannya terhadap oksigen. Begitu pun dengan produk solar yang digunakan juga masih ada kandungan air, abu, dan sedimen sehingga memungkinkan menimbulkan kerak atau kotoran pada *heat exchanger*. Menurut Naufal dkk., (2022) menyebutkan bahwa ada beberapa teknik yang dapat dilakukan untuk mencegah pembentukan *fouling* pada *heat exchanger* di antaranya optimisasi kondisi operasi seperti temperatur dan *flow rate* inlet. Selain itu, penggunaan senyawa kimia seperti menambahkan zat kimia cair anti-foulant ke dalam *heat exchanger* dapat dijadikan opsi. Namun, hal tersebut kurang ekonomis karena biaya yang dibutuhkan untuk membersihkan *heat exchanger* sebesar \$40.000 sampai dengan \$50.000 tiap *heat exchanger*.



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

IX.14.2 Analisa Nilai Pressure Drop pada HE - 1

Pressure drop merupakan penurunan tekanan yang terjadi pada peralatan operasi. Berdasarkan hasil perhitungan *actual heat exchanger-01*, *pressure drop* pada *shell* diperoleh sebesar 0,488 Psi, sedangkan pada *tube* diperoleh sebesar 0,0007 Psi. Nilai *pressure drop* tersebut masih dibawah standar yang diperbolehkan yaitu 10 Psi. Hal tersebut menyatakan bahwa HE-01 masih layak untuk dioperasikan karena tidak melebihi standar batas yang diperbolehkan. *Pressure drop* pada bagian *shell* lebih tinggi disebabkan oleh *flow rate* solar, *pressure drop* dapat terjadi karena penurunan atau peningkatan kecepatan fluida. Kecepatan solar pada *shell* sebesar 13.228,929 lb/jam, sedangkan kecepatan *crude oil* pada *tube* sebesar 24.436,270 lb/jam, sesuai dengan prinsip Bernoulli bahwa ketika kecepatan aliran fluida meningkat maka tekanan fluida akan menurun. Sehingga nilai *pressure drop* pada *shell* lebih besar dibandingkan dengan pada *tube*. *Pressure drop* juga dipengaruhi oleh *fouling factor*, dimana *fouling factor* semakin besar efisiensi perpindahan panas semakin menurun dan akibatnya *pressure drop* semakin besar (Kern, 1965). *Fouling* dapat menyebabkan terjadinya friksi antara aliran fluida dengan permukaan *tube* dan *shell* yang dapat menyebabkan pada turunnya tekanan *heat exchanger*. Selain itu, *pressure drop* juga dipengaruhi oleh faktor gesekan, diameter pipa, panjang pipa, temperatur aliran, dan kecepatan aliran yang terjadi di dalam pipa atau tabung sehingga *pressure drop* memiliki peranan penting dalam kinerja *heat exchanger* (Naufal dkk., 2022).

IX.14.3 Analisa Nilai Efficiency pada HE-01

Efisiensi merupakan hasil perhitungan hasil panas yang terserap oleh *tube* dibandingkan dengan panas keseluruhan yang ditransfer dari *shell*, efisiensi menunjukkan performa dari suatu *heat exchanger*. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh *efficiency* sebesar 76,054 %, dimana panas yang masuk dari fluida solar di *shell* sebesar 222.892,9 BTU/jam, sedangkan panas yang diterima oleh *crude oil* sebesar 169.519,292 BTU/jam. Selisih antara panas masuk dan yang diterima sebesar 53.373,608 BTU/jam. Hal tersebut menunjukkan adanya panas yang hilang



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

dan transfer panas tidak mencapai 100% dikarenakan akan selalu ada yang terlepas ke lingkungan. Nilai efisiensi yang didapat masih tergolong tinggi karena sudah diatas 70% dan mendekati 80%, dimana sesuai pernyataan Coniwati, P (2019) bahwa pertukaran energi panas dengan efisiensi 80% dari *shell side* menuju *tube side* menghasilkan kinerja *heat exchanger* yang optimal. *Heat Exchanger* bekerja dengan baik karena memiliki losses yang cukup rendah, sehingga *Heat Exchanger-01* masih cukup layak untuk digunakan. Efisiensi *heat exchanger* dapat dicapai dengan menyeimbangkan variabel-variabel seperti *pressure drop*, tenaga pompa, pembentukan *fouling*, dan erosi pada pipa (Rincón Tabares dkk., 2019). Efisiensi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain *fouling factor* dan temperatur LMTD. Semakin tinggi temperatur LMTD artinya penyerapan gas buang ke dalam pipa terhalang hambatan-hambatan (*fouling*) dan perpindahan panas tidak maksimal, maka kalor uap yang dihasilkan rendah dan menurunkan laju perpindahan panas pada *heat exchanger* (Hendri dkk., 2018). Selain dikarenakan oleh nilai LMTD, besarnya efisiensi juga dipengaruhi oleh nilai *fouling factor* yang telah dibahas sebelumnya. Dimana nilai *fouling factor* dapat menyebabkan terbentuknya lapisan pengotor yang menyebabkan laju perpindahan panas pada *heat exchanger* berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *fouling factor* sangat mempengaruhi efisiensi *heat exchanger* Pada *heat exchanger-01* ini nilai *pressure drop* lebih kecil dari nilai maksimum *pressure drop* standar. Ditinjau dari efisiensi, *fouling factor*, dan *pressure drop* atau hilangnya tekanan yang terjadi pada fluida saat melewati penukar panas, HE-1 masih layak untuk digunakan, mengingat kebermanfaatan dari alat HE-1 ini juga yang menjadi *pre-heater crude oil* sekaligus pendingin produk solar, namun untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi diperlukan maintenance secara berkala untuk pengecekan dan pembersihan kerak dan kotoran. Selain itu, juga bisa dipertimbangkan untuk dilakukan pemasangan atau pergantian insulasi pada bagian luar HE-01 agar panas tidak banyak yang terbuang ke lingkungan.



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

IX.15 Kesimpulan

Berdasarkan analisis, pengolahan data, dan evaluasi yang dilakukan terhadap kinerja alat *Heat Exchanger-01* pada Unit Kilang PPSDM Migas Cepu, diperoleh data sebagai berikut:

1. Panas yang dilepas oleh fluida panas yaitu solar sebesar 222.892,9 BTU/jam, sedangkan panas yang diserap oleh fluida dingin yaitu crude oil sebesar 169.519,29 BTU/jam sehingga diperoleh nilai efisiensi perpindahan panas sebesar 76,054%
2. Koefisien perpindahan panas bersih dan kotor diperoleh masing-masing sebesar 7,098 BTU/Ft²Jam⁰F dan 6,804 BTU/Ft²Jam⁰F
3. Nilai *dirt factor* (Rd) diperoleh sebesar 0,006
4. Pressure drop yang terjadi pada aliran fluida dalam *heat exchanger-01* sebesar 0,00095 psi
5. Berdasarkan parameter yang diperoleh dari alat *heat exchanger-01*, maka dapat disimpulkan bahwa alat *heat exchanger-01* masih cukup layak untuk digunakan namun efisiensi dari kinerja alat tersebut kurang maksimal

IX.16 Saran

Berdasarkan analisis, pengolahan data, dan evaluasi yang dilakukan terhadap kinerja alat *Heat Exchanger 1* pada Unit Kilang PPSDM Migas Cepu, dapat disarankan sebagai berikut:

1. Berdasarkan nilai *dirt factor* yang diperoleh, alat *heat exchanger 1* hendaknya dilakukan maintenance dan pembersihan secara berkala untuk menghilangkan kerak yang terbentuk sehingga efisiensi perpindahan panas yang diperoleh lebih optimal
2. Agar didapatkan efisiensi yang lebih tinggi dapat dipertimbangkan untuk dilakukan pemasangan atau pergantian insulasi pada bagian luar HE-01 agar panas tidak banyak yang terbuang ke lingkungan