
BAB IX
TUGAS KHUSUS

“EVALUASI KINERJA *HEAT EXCHANGER 260E-103* UNIT HTU *LUBE OIL COMPLEX III* - PT. KILANG PERTAMINA INTERNASIONAL RU IV CILACAP”

IX.1 Latar Belakang

Proses pengolahan pada LOC III ini meliputi pengolahan secara fisis dan kimiawi. Proses pengolahan secara fisis terjadi pada *Propane Deasphalting Unit* dan *MEK Dewaxing Unit*, sedangkan proses pengolahan secara kimiawi terjadi pada *Hydrotreating Unit*.

Propane Deasphalting Unit III digunakan untuk mengolah *short residue* dari HVU. Dalam unit ini aspal dan *deasphalting oil* dipisahkan melalui proses ekstraksi. Pelarut yang digunakan adalah propane yang memiliki sifat dapat melarutkan DAO tetapi tidak melarutkan aspal. Unit ini dirancang dengan kapasitas 784 ton/hari *Light Arabian Short Residue* sebagai umpan dan memproduksi 290 ton/hari *deasphalted oil* dan 494 ton/hari aspal dengan menggunakan pelarut propane sebanyak 3058 ton/hari. Didalam proses *deasphalting*, *short residue* dicampur dengan propane cair dalam ekstraktor yang mempunyai temperatur 40-70°C dimana akan terbentuk dua fasa liquid yaitu *deasphalted oil* yang mengandung banyak sekali *propane* dan fasa yang mengandung aspal dan sedikit *propane*.

MEK Dewaxing Unit dirancang untuk menghilangkan *wax* dari parafin dalam *lube oil*. Produk MDU mempunyai *pour point* rendah. Untuk melakukan proses dalam unit ini diperlukan pelarut berupa campuran Methyl Ethyl Keton dan Toluene dengan perbandingan tergantung umpan. Dengan proses MDU produk yang dihasilkan mempunyai mutu yang lebih tinggi dibandingkan produk pendinginan *waxy oil* tanpa bahan pelarut.

Hydrotreating Unit terdiri dari 2 unit proses yaitu HTU dan RDU. Tujuan dari proses unit ini adalah untuk menghilangkan komponen – komponen aromatis yang tidak diinginkan pada *lube oil* dengan charging campuran *feed* dan gas kaya hidrogen ke reaktor dengan menggunakan katalis Ni-Mo. Produk yang dihasilkan



mempunyai *viscosity index* dan stabilitas oksidasi yang lebih tinggi, sedangkan produk sampingnya adalah *light hydrocarbon* yang selanjutnya dipisahkan dari produk utama dalam redistillation unit dengan vacuum distillation.

Industri pengolahan minyak bumi di PT. Kilang Pertamina Internasional *Refinery Unit IV Cilacap* melibatkan proses perpindahan panas. Perpindahan panas terjadi akibat adanya perbedaan suhu antara fluida panas dengan fluida dingin. Heat Exchanger (HE) atau alat penukar panas merupakan alat pendukung proses yang mempunyai peranan penting dalam usaha efisiensi energi atau panas dalam suatu proses pengolahan minyak dan termasuk ke dalam salah satu peralatan yang sangat penting untuk menunjang proses di kilang minyak PT. KPI RU IV Cilacap. Selain itu, pemakaian energi sangat berhubungan erat dengan biaya operasional kilang. Oleh karena itu, performa serta kontinuitasnya harus tetap dijaga.

Salah satu Heat Exchanger yang digunakan di kilang minyak ini adalah Heat Exchanger dengan nomor 260E-103. Heat Exchanger ini berada di kilang Lube Oil Complex III Unit HTU. Heat Exchanger 260E-103 ini berfungsi untuk memanaskan HTU Charge Oil dari 260V-101 yang mengandung hidrokarbon dengan cara menukarkan panas dengan Hot HP Gas dari 260V-102 (Hot HP Separator). HTU Charge Oil mengalir melalui shell side dan Hot HP Gas mengalir melalui tube side.

XI.2 Rumusan Masalah

Pada laporan khusus ini, akan dilakukan perhitungan dan evaluasi untuk mengetahui performa dari Heat Exchanger 260E-103 pada Unit HTU kilang LOC III (Lube Oil Complex) III. Terdapat tiga (3) parameter yang akan digunakan pada evaluasi ini, yakni R_d (fouling factor), ΔP (pressure drop) dan efisiensi. Ketiga parameter ini akan dibandingkan pada kondisi aktual serta kondisi desain untuk mengetahui performa dari Heat Exchanger 260E-103.

XI.3 Tujuan

Tujuan dari tugas khusus ini adalah untuk mengevaluasi dan mengetahui kinerja dari Heat Exchanger 260E-103 pada Unit HTU kilang Lube Oil Complex



III apakah masih sesuai dengan kondisi operasi dengan menggunakan data aktual di lapangan dan dibandingkan dengan data design.

IX.4 Manfaat

Dari evaluasi yang dilakukan, dapat ditentukan apakah Heat Exchanger 260E-103 memerlukan tindakan (pembersihan) atau masih layak digunakan.

IX.5 Dasar Teori

IX.5.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau heat transfer merupakan suatu ilmu yang mempelajari laju panas yang bergerak dari tempat bersuhu tinggi (source) ke tempat dengan suhu yang rendah (receiver) (Kern, 1950). Dalam suatu industri, perpindahan panas umumnya dimanfaatkan sebagai media pendinginan (cooling dan condensation) ataupun media pemanasan (heating dan evaporating). Perpindahan panas dapat terjadi melalui tiga (3) cara yang berbeda, yakni Konduksi, Konveksi, dan Radiasi. (Perry, 2008). Di samping ketiga cara tersebut, perpindahan panas juga dapat terjadi melalui kombinasi dari ketiga cara yang ada.

a. Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi merupakan perpindahan energi yang terjadi antara partikel pada suatu benda. Perpindahan panas ini merupakan sebuah fenomena lokal dan panas yang berpindah hanya melalui suatu benda tersebut (Kern, 1950). Laju perpindahan panas secara konduksi didefinisikan oleh persamaan Fourier, yakni:

$$qx = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

Berdasarkan Hukum Fourier, diketahui bahwa laju perpindahan panas sebanding dengan gradien suhu (Holman, 2009). Selain itu, dalam menghitung perpindahan panas secara konduksi, persamaan Fourier menunjukkan adanya nilai k atau thermal conductivity dari suatu material. Dimana nilai minus (-) diikutsertakan untuk memenuhi hukum kedua Termodinamika (Holman, 2009). Nilai ini akan selalu berbeda



bergantung pada material yang mengalami perpindahan panas. Contoh dari peristiwa perpindahan panas secara konduksi ialah: perpindahan panas pada logam ketel pemanas air atau batang logam.

b. Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi merupakan perpindahan panas yang berlangsung dalam bentuk gelombang elektromagnetik (Perry, 2008). Perpindahan panas dengan cara ini berbeda dengan dua cara yang lain, karena tidak memerlukan adanya medium untuk perpindahan panas. Dalam kata lain, proses perpindahan secara radiasi juga dapat terjadi pada keadaan vacuum (Kern, 1950). Persamaan yang mendefinisikan perpindahan panas secara radiasi dapat dilihat pada persamaan dibawah ini

$$E = \int_0^{\infty} I\lambda \times d\lambda$$

c. Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi merupakan perpindahan energi dengan kombinasi konduksi dan radiasi melalui sebuah fluida yang bergerak (Perry, 2008). Dalam proses konveksi, fluida yang bergerak menjadi bagian yang sangat penting. Contoh peristiwa perpindahan panas secara konveksi adalah aliran air yang muncul ketika air dipanaskan dalam pemanas. Perpindahan panas secara konveksi didefinisikan dengan Hukum Newton tentang pendinginan dibawah ini

$$q = h (T_{surface} - T_{fluid})$$

IX.5.2 Heat Exchanger

Dalam suatu industri, proses perpindahan panas dilakukan dengan bantuan suatu unit penukar panas atau heat exchanger (HE). Dalam aplikasinya, penukar panas akan memindahkan panas dari suatu fluida yang memiliki suhu lebih tinggi ke fluida yang memiliki suhu lebih rendah. Pada akhirnya, proses ini akan menghasilkan suhu tertentu untuk masing-masing aliran yang ada. Pemilihan HE secara umum didasarkan pada beberapa pertimbangan, antara lain: kapasitas panas



(heat duty), kondisi operasi peralatan, fungsi peralatan, nilai ekonomi peralatan, serta pertimbangan perawatan atau maintenance.

Menurut Kern, pada buku dengan judul Process Heat Transfer, unit transfer panas dibedakan berdasarkan fungsinya, seperti:

- a. Heater merupakan HE untuk yang berfungsi untuk memanaskan fluida proses, steam, dan minyak mentah (khusus pada kilang minyak)
- b. Cooler merupakan HE yang berguna untuk mendinginkan fluida proses dengan air sebagai media pendinginan yang utama
- c. Condenser merupakan HE yang berfungsi untuk menghilangkan panas laten dari suatu fluida. Berguna untuk mengubah fluida dengan fase gas menjadi fase cair.
- d. Reboiler merupakan HE yang berfungsi untuk memberikan panas laten sebagai sumber pemanasan dari proses destilasi
- e. Evaporator merupakan HE yang berfungsi untuk meningkatkan konsentrasi dari fluida dengan cara menguapkan air dari campuran fluida.
- f. Vaporizer merupakan evaporator yang menguapkan komponen selain air.

Selain berdasarkan fungsinya, Heat Exchanger juga memiliki beberapa tipe yang berbeda, seperti:

- a. Air-cooled Heat Exchanger: Digunakan untuk pemanas dan pendingin, biasanya berupa Fin-Fan.
- b. Shell and Tube Heat Exchanger: Digunakan untuk berbagai aplikasi seperti penukar panas, kondensor, dan evaporator.
- c. Double Pipe Heat Exchanger: Digunakan sebagai pemanas dan pendingin. Digunakan jika luas penampang dari heat exchanger yang dibutuhkan kurang dari 200ft².
- d. Plate and Frame Heat Exchanger: Digunakan sebagai pendingin dan pemanas, dimana HE ini hanya digunakan untuk fluida cair.
- e. Hairpin Heat Exchanger: Digunakan untuk pemanas dan pendingin, sama seperti DPHE. Hairpin HE digunakan jika luas penampang HE yang dibutuhkan kurang dari 200ft².



Dalam merancang sebuah HE, ada beberapa jenis aliran fluida yang dapat digunakan, yakni:

- a. Aliran searah atau Co-current/Parallel Flow: Tipe aliran dimana fluida panas dan fluida dingin masuk pada ujung penukar panas yang sama. Kemudian, kedua fluida akan mengalir searah menuju ujung penukar panas yang lain.
- b. Aliran berlawanan arah atau Counter current Flow: Tipe aliran dimana fluida panas dan fluida dingin masuk pada ujung penukar panas yang berbeda. Kemudian, kedua fluida akan mengalir berlawanan arah menuju ujung penukar panas yang lain.
- c. Aliran silang atau cross flow: Tipe aliran fluida dimana fluida panas dan fluida dingin mengalir pada right angle satu sama lain. HE dengan tipe ini banyak digunakan untuk pemanasan atau pendinginan udara atau gas. Akibat terjadinya perpindahan panas, akan terjadi perubahan suhu. Arah aliran akan menyebabkan perbedaan profil suhu yang terjadi saat proses perpindahan panas. Berikut ini merupakan profil yang terjadi.

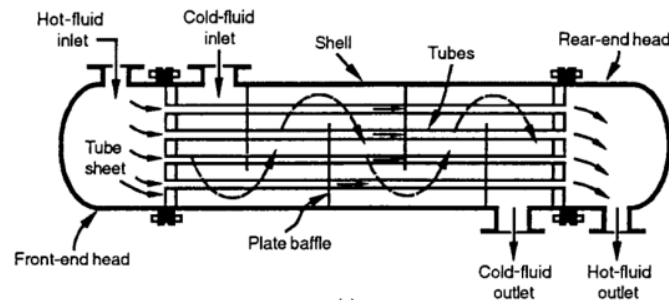
IX.5.3 Shell and Tube Heat Exchanger

Shell and Tube Heat Exchanger (STHE) menjadi tipe alat penukar panas yang paling umum di industri khususnya petrokimia karena harganya yang relatif murah dan perawatannya yang mudah. Selain itu, STHE memiliki luas permukaan perpindahan panas yang besar dibandingkan dengan alat penukar panas jenis lain. Artinya, shell and tube heat exchanger memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan heat exchanger lain untuk heat duty yang sama. Alat ini terdiri dari sebuah shell (tabung/silinder besar) dimana di dalamnya terdapat sebuah bundle (berkas) pipa yang diameternya relatif kecil dibanding diameter shell. Satu jenis fluida mengalir melalui pipa-pipa sedangkan fluida lainnya mengalir melalui ruang-ruang antar pipa di dalam shell.



IX.5.4 Komponen-komponen Shell and Tube Heat Exchanger

Shell and Tube Heat Exchanger (STHE) merupakan penukar panas dengan serangkaian pipa yang ditempatkan di dalam sebuah silinder dengan arah pipa paralel dengan shell yang ada.



Gambar IX.1 *Shell and Tube Heat Exchanger*

Kemudian, satu fluida akan mengalir di dalam perpipaannya, sedangkan yang lain ada diluarnya mengelilingi perpipaannya yang ada (Shah, 2003). Dalam merancang penukar panas dengan jenis Shell and Tube Exchanger, ada beberapa komponen yang harus diperhatikan seperti Shell, Tubes, Baffle.

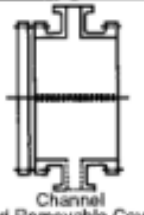
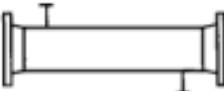

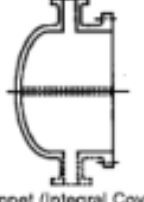


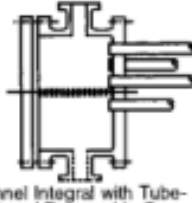
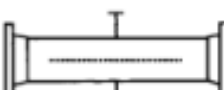
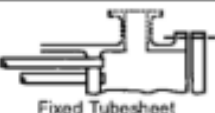
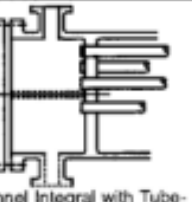
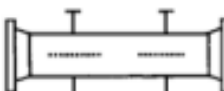
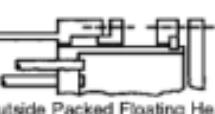
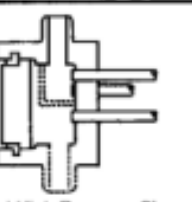
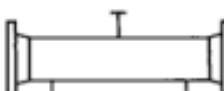

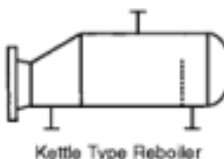
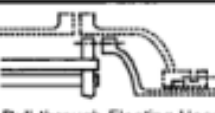
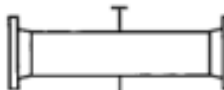
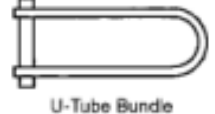

a. Shell

Shell merupakan wadah yang digunakan untuk menampung fluida yang ada di dalam heat exchanger (Shah, 2003). Konstruksi shell sangat bergantung dari kondisi tube dan suhu dari fluida yang akan ditempatkan didalamnya. Desain dari shell milik penukar panas sudah distandarisasi oleh TEMA pada tahun 1999, dimana ada tujuh tipe konfigurasi shell yang bisa digunakan dalam merancang sebuah penukar panas. Jenis Shell “E” merupakan jenis yang paling umum digunakan karena memiliki biaya yang rendah, konstruksinya sederhana, dan nilai LMTD correction factor F yang tinggi (Shah, 2003).

b. Tube

Pipa dengan berbagai bentuk digunakan pada STHE. Umumnya, tube bundle dalam suatu STHE akan berisikan pipa dengan bentuk lurus atau U (Shah, 2003). Ukuran diameter luar dari tube STHE merupakan diameter luar aktual (inci) dengan toleransi yang sangat tinggi. Tube dapat

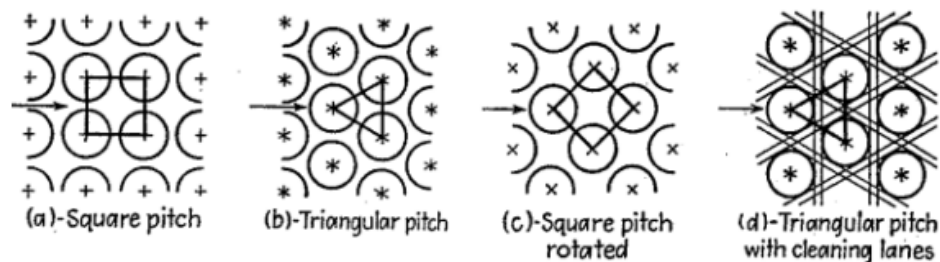
dibuat dari berbagai jenis logam, seperti : steel, tembaga, perunggu, Muntz metal, brass, 70-30 tembaga-nikel, perunggu alumunium, alumunium, dan stainless steel (Kern, 1950). Ukuran ketebalan pipa beragam dan dinyatakan dalam bilangan yang disebut Birmingham Wire Gage (BWG). Ukuran pipa umumnya akan mengikuti ukuranukuran baku yang sudah ada. Nilai BWG yang semakin besar menunjukkan ketebalan tube yang semakin kecil.

| | Front-End Stationary Head Types | Shell Types | Rear-End Head Types |
|---|---|--|---|
| A |  Channel and Removable Cover | E  One-Pass Shell | L  Fixed Tubesheet Like "A" Stationary Head |
| B |  Bonnet (Integral Cover) | F  Two-Pass Shell with Longitudinal Baffle | M  Fixed Tubesheet Like "B" Stationary Head |
| C |  Channel Integral with Tube-Sheet and Removable Cover | G  Split Flow | N  Fixed Tubesheet Like "N" Stationary Head |
| N |  Channel Integral with Tube-Sheet and Removable Cover | H  Double Split Flow | P  Outside Packed Floating Head |
| D |  Special High-Pressure Closure | J  Divided Flow | S  Floating Head with Backing Device |
| | | K  Kettle Type Reboiler | T  Pull-through Floating Head |
| | | X  Crossflow | U  U-Tube Bundle |
| | | | W  Externally Sealed Floating Tubesheet |

Gambar IX.2 Standarisasi TEMA untuk *Shell and Tube Heat Exchanger*

c. Tube Pitch

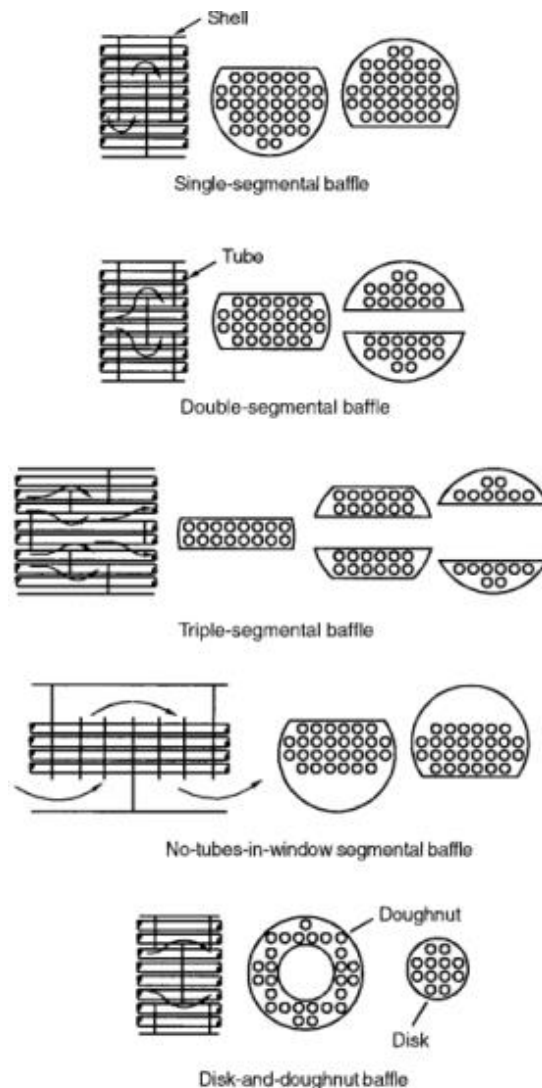
Lubang-lubang tube atau pipa tidak disusun secara sembarangan, melainkan mengikuti aturan tertentu. Jumlah pipa dan ukurannya harus disesuaikan dengan ukuran shell yang digunakan. Jarak antar pipa yang terlalu dekat akan membuat struktur dari STHE lemah (Kern, 1950). Maka dari itu, umumnya ada empat (4) konfigurasi tube yang digunakan dalam STHE, yakni Square pitch, Triangular Pitch, Square rotated pitch, dan Triangular pitch with cleaning lanes.



Gambar IX.3 Konfigurasi tube pada *Heat Exchanger*

d. Baffle

Perpindahan panas yang lebih besar dapat terjadi ketika cairan dibuat dalam kondisi turbulen. Maka dari itu, baffle digunakan dalam sebuah STHE untuk membuat cairan dapat mengalir di dalam shell pada sudut yang tepat dengan tube didalamnya (Kern, 1950). Selain itu, baffle juga digunakan untuk memperkuat tube agar tidak melengkung, menahan getaran karena aliran fluida, dan menjaga jarak antara tube. Baffle sendiri memiliki beberapa jenis, seperti: single-segmental baffle, double-segmental baffle, triple-segmental baffle, no-tubes-in-window segmental baffle, dan disk-and-doughnut baffle (Shah, 2003).



Gambar IX.4 Jenis-jenis Plate Baffle

e. Nozzle

Titik masuk dan keluar untuk fluida pada shell dan tube, disebut sebagai Nozzle. Nozzle dirancang dengan pipa yang memiliki penampang konstan yang dilas ke STHE. Nozzle berfungsi untuk mendistribusikan atau mengumpulkan fluida secara merata pada area shell dan tube (Shah, 2003).

IX.5.5 Fouling pada Heat Exchanger

Fouling adalah peristiwa akumulasi padatan yang tidak diinginkan di permukaan heat exchanger yang berkontak dengan fluida kerja, termasuk

permukaan perpindahan panas. Peristiwa ini mencakup pengendapan, pergerakan, korosi, polimerisasi, dan proses biologi. Kerja Heat Exchanger sulit terlepas dari fouling (fouling tidak terjadi di beberapa HE namun terus menerus terakumulasi di beberapa HE lain). Fouling dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar sehingga para perancang heat exchanger akan memasukkan nilai koefisien fouling pada saat penentuan koefisien keseluruhan (overall coefficient heat transfer) untuk memastikan bahwa heat exchanger nantinya ketika dioperasikan tidak mengalami masalah dalam jangka waktu yang cepat. Deposit atau endapan pada permukaan HE akan menghambat perpindahan panas sehingga dibutuhkan luas permukaan perpindahan panas yang lebih luas untuk mencapai perpindahan panas yang diinginkan. Pada shell & tube heat exchanger, fouling dapat terjadi baik pada bagian dalam (inner tube), di luar tube (outside tube), maupun di bagian dalam shell. Fouling juga dapat menyebabkan pengurangan cross-sectional area (luas penampang melintang) dan meningkatkan pressure drop sehingga dibutuhkan energi yang lebih tinggi untuk pemompaan.

Beberapa kerugian yang dapat disebabkan oleh fouling yaitu:

- a. Peningkatan capital cost. Heat exchanger dengan fouling yang tinggi akan menyebabkan pengurangan overall coefficient heat transfer, dengan demikian dibutuhkan luas area perpindahan yang lebih (bila dibandingkan dengan fouling yang lebih rendah).
- b. Perlunya energi yang lebih besar. Energi tambahan sehubungan dengan meningkatnya energi pompa dan efisiensi termodinamika yang rendah pada kondensasi dan siklus refrigerasi.
- c. Maintenance cost. Meningkatnya biaya antifoulant. Chemical treatment dan untuk pembersihan permukaan perpindahan panas yang tertutup oleh fouling.
- d. Pengurangan output atau keluaran (rate) dikarenakan pengurangan cross-sectional area.
- e. Downtime cost (downtime adalah kerugian waktu produksi yang diakibatkan oleh peralatan tidak dapat dioperasikan dengan semestinya



dikarenakan oleh perawatan, power failure, atau power trip, breakdown dan lain-lain).

Tahap-tahap yang dapat diambil untuk mencegah fouling pada Heat Exchanger, yaitu:

- a. Pemilihan heat exchanger. Penggunaan tipe HE tertentu dapat mengurangi pembentukan fouling dikarenakan area dead space yang lebih sedikit dibandingkan dengan tipe yang lainnya, seperti plate dan spiral heat exchanger, namun begitu jenis HE tersebut hanya dapat menangani design pressure sampai 20 – 25 bar dan design temperature 250°C (plate) dan 400°C (spiral).
- b. Diameter tube yang lebih besar. STHE umumnya didesain dengan ukuran tube dari 20 mm atau 25 mm, untuk penggunaan fluida yang kotor (fouling resistance > 0,0004 h.m² °C/kcal) gunakan tube dengan diameter (minimum) 25 mm (outside diameter, OD).
- c. Kecepatan tinggi. Pada kecepatan tinggi, fouling dapat berkurang dan koefisien heat transfer juga semakin tinggi. Namun demikian, mengoperasikan HE dengan kecepatan tinggi mengakibatkan pressure drop yang tinggi pula serta erosi, kenaikan pressure drop lebih cepat daripada kenaikan koefisien perpindahan panas, maka perlu dicari kecepatan yang optimum.
- d. Margin pressure drop yang cukup. Pada HE yang digunakan untuk fluida yang berpotensi membentuk fouling yang tinggi disarankan menggunakan margin 30 – 40 % antara pressure drop yang diijinkan (allowable) dengan pressure drop yang dihitung (calculated) hal ini dilakukan untukantisipasi pressure drop yang tinggi akibat menggunakan kecepatan yang tinggi.
- e. Penggunaan tube bundle dan heat exchanger cadangan. Jika penggunaan HE untuk fluida yang berpotensi membentuk fouling yang sangat ekstrim, maka tube bundle cadangan sebaiknya digunakan. Jika fouling telah terjadi cukup cepat (setiap 2 – 3 bulan), maka sebaiknya digunakan HE cadangan. STHE cadangan juga diperlukan untuk tipe STHE fixed tubesheet (pembentukan



fouling yang tinggi pada tube, seperti pada reboiler thermosiphon vertikal yang menggunakan fluida polimer seperti pada butadiene plant).

IX.6 Metodologi

IX.6.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data didapatkan dari *Shell and Tube Heat Exchanger Sheet* Item No. 260E-103 *Plant Lube Oil Complex III* yang meliputi spesifikasi dari stream seperti laju aliran massa, densitas, viskositas, temperatur inlet maupun outlet, tekanan serta data-data lainnya. Kemudian, juga diketahui data pendukung berupa parameter desain dari *Shell and Tube Heat Exchanger Sheet* Item No. 260E-103. Sedangkan untuk data lain, seperti FT, Fc, jH dan lain-lain didapatkan dari buku *Process Heat Transfer* milik D.Q. Kern.

IX.6.2 Pengolahan Data

Dalam mengolah data yang ada, langkah-langkah dibawah ini digunakan.

1. Perhitungan Neraca Panas

$$Q = m \times Cp \times \Delta t$$

Q : Laju perpindahan panas (Btu/jam)

m : Laju alir massa (lb/jam)

Cp : Specific Heat (Btu/lb°F)

Δt : Perbedaan suhu fluida masuk dan keluar

2. Menghitung *Logarithmic Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}}$$

Δt₁ : Selisih temperature yang rendah (°F)

Δt₂ : Selisih temperature yang tinggi (°F)

3. Menghitung caloric temperature

$$T_a = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

T_a : Temperatur rata-rata

t₁ : Temperatur rendah untuk fluida dingin (°F)



t_2 : Temperatur tinggi untuk fluida dingin ($^{\circ}\text{F}$)

4. Menghitung flow area pada aera shell dan tube

Shell side

$$a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 \times Pt}$$

a_s : Flow area shell side (ft^2)

ID : Inside diameter shell (inch)

C' : Tube clearance (inch)

B : Baffle spacing (inch)

Pt : Pitch tube (inch)

Tube side

$$a_t = \frac{Nt \times a't}{144 \times n}$$

a_t : Flow area tube side (ft^2)

Nt : jumlah tube

$a't$: luas flow area per tube (m^2)

n : jumlah pass

5. Menghitung laju alir massa fluida pada area shell dan tube

Shell side

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

a_s : Flow area shell side (ft^2)

W_s : Mass flow pada shell side (lb/jam)

G_s : Mass velocity per cross section (lb/jam. ft^2)

Tube side

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

a_t : Flow area tube side (ft^2)

W_t : Mass flow pada tube side (lb/jam)

G_t : Mass velocity per cross section (lb/jam. ft^2)

6. Menghitung Reynold Number pada area shell dan tube

Shell side

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

Re_s : Bilangan reynold untuk fluida dalam shell (ft)

De : Diameter equivalent shell side (ft)

G_s : Mass velocity per cross section (lb/jam. ft^2)

μ : Viskositas fluida pada shell side dalam Tc

Tube side

$$Re_t = \frac{D \times G_t}{\mu}$$

Re_t : Bilangan reynold untuk fluida dalam tube (ft)

D : Diameter tube side (ft)

G_t : Mass velocity per cross section (lb/jam. ft^2)

μ : Viskositas fluida pada tube side dalam Tc

7. Menghitung perpindahan panas pada konveksi outside



$$h_o = jH \times \frac{K}{De} \times \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

jH : Faktor perpindahan panas

De : Diameter equivalent shell side (ft)

K : Thermal conductivity shell side (Btu/jam.ft.°f)

c : Specific heat fluida dalam shell pada suhu T_c (Btu/lb.°f)

μ : Viskositas fluida dalam shell pada suhu T_c (lb/jam.ft)

μ_w : Viskositas fluida pada suhu dinding tube (lb/jam.ft)

8. Mencari faktor perpindahan panas (jH)

Untuk mendapatkan nilai jH pada Figure 24 dan 28 di buku Process Heat Transfer, dibutuhkan berupa Reynold Number Shell dan Tube serta L/D , atau perbandingan panjang pipa dengan diameter.

9. Menghitung koefisien perpindahan konveksi inside dan outside

$$h_i = jH \times \frac{K}{De} \times \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

jH : Faktor perpindahan panas shell untuk menghitung konveksi outside

jH : Faktor perpindahan panas tube untuk menghitung konveksi inside

D : Diameter pipa (ft)

K : Konduktivitas termal (Btu/jam.ft.°f)

c : Specific heat fluida dalam shell atau tube pada suhu T_c/t_c (Btu/lbm.°f)

μ : Viskositas fluida dalam shell atau tube pada suhu T_c/t_c (lbm/jam.ft)

μ_w : Viskositas fluida pada suhu dinding (lbm/jam.ft)

10. Menghitung temperatur dinding tube

$$t_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\Phi_s}}{\frac{h_i o}{\Phi_t} + \frac{h_o}{\Phi_s}} \times (T_c - t_c)$$

t_w : Temperatur pada dinding tube (°f)

T_c : Temperatur pada dinding shell (°f)

t_c : Temperatur rata-rata pada tube (°f)

Φ_s : Viskositas rasio fluida pada shell



Φt : Viskositas rasio fluida pada tube

11. Menghitung clean overall heat transfer coefficient atau U_c

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

h_{io} : Koefisien perpindahan panas konveksi inside (Btu/jam.ft².°f)

h_o : Koefisien perpindahan panas konveksi outside (Btu/jam.ft².°f)

12. Menghitung dirty overall heat transfer coefficient desain

$$U_d = \frac{Q}{A \times \Delta T}$$

ΔT : LMTD terkoreksi (°f)

A : Luas permukaan perpindahan panas (ft²)

Q : Laju transfer panas pada shell atau tube

13. Menghitung dirt factor

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

R_d : Dirt factor (jam.ft².°f/Btu)

U_c : Clean overall heat transfer coefficient (Btu/jam.ft².°f)

U_d : Design overall heat transfer coefficient (Btu/jam.ft².°f)

14. Perhitungan *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.

Shell side

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s \times D_e \times (N + 1)}{5,22 \times 10^{10} \times D_e \times \Phi_s}$$

f : Friction factor dari figure 29

G_s : Mass velocity per cross section area (lb/jam.ft²)

D_e : Diameter ekuivalen (ft)

N : Jumlah cross

Φ_s : Viskositas rasio fluida pada shell

Tube side

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times L_n}{5,22 \times 10^{10} \times D_e \times \Phi_t}$$

f : Friction factor dari figure 26

G_t : Mass velocity per cross section area (lb/jam.ft²)

D_e : Diameter ekuivalen (ft)

L_n : Panjang pipa (ft)

Φ_t : Viskositas rasio fluida pada tube

IX.7 Hasil dan Pembahasan

Tabel IX. 1 Hasil Perhitungan Performa Heat Exchanger 260E-103

| Perhitungan | Shell Side (Charge Oil) | Tube Side (Hot HP) |
|--|----------------------------|-----------------------|
| Flow Rate (lb/hr) | 129400 | 36144 |
| Temp. Inlet (°F) | 297,68 | 383,954 |
| Temp. Outlet (°F) | 326,804 | 333,302 |
| Duty (Btu/hr) | 2251765,75 | 2988725,312 |
| LMTD (°F) | 31,87876 | |
| U _c (Btu/hr.ft ² .°F) | 268,1519 | |
| U _d (Btu/hr.ft ² .°F) | 150,0409 | |
| R _d (hr.m ² .°C/ kCal) | 0,0006 | |
| Pressure Drop (Psi) | 0,41138 | 5,304863 |
| Efisiensi (%) | 75,342 | |

Heat exchanger yang digunakan bertipe *shell and tube* dengan Charge Oil sebagai sumber panasnya. Efisiensi *heat exchanger* didapatkan sebesar 75,342%. *Fouling factor* (R_d) sebesar 0,0006 hr.m².°C/kCal. *Pressure Drop* pada *Shell*



(*steam*) sebesar 0,41138 Psi dan *pressure drop* pada *tube* (asam fosfat) sebesar 5,304863 Psi.

Berdasarkan hasil perhitungan dapat dilihat bahwa hasil perhitungan *fouling factor* (R_d) pada *Heat Exchanger* 260E-103 didapat sebesar $0,0006 \text{ hr.m}^2.\text{°C/kCal}$, sedangkan R_d yang diijinkan yaitu sebesar $0,0003 \text{ hr.m}^2.\text{°C/kCal}$. Hal tersebut membuktikan bahwa *Heat Exchanger* 260E-103 terdapat *impurities* baik di *tube* maupun di *shell*. *Impurities* ini berasal dari endapan-endapan (*scaling*) dari larutan asam fosfat yang terbentuk dalam *heat exchanger* ketika pemanasan berlangsung sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi meningkatnya nilai dari *fouling factor* pada alat *heat exchanger*. Nilai faktor pengotor sangat berpengaruh untuk proses perpindahan panas yang masuk ke dalam *shell* maupun *tube*. Oleh karena itu, perlu dilakukan pembersihan (*cleaning*) pada *heat exchanger* ini agar proses perpindahan panas dapat berjalan dengan baik.

Fouling factor juga berpengaruh terhadap *pressure drop*, di mana semakin tinggi *pressure drop* maka semakin tinggi pula nilai *fouling factor*. Menurut (Kern, 1983) nilai *pressure drop* akan semakin besar dengan bertambahnya *fouling factor* pada *heat exchanger*. Nilai *pressure drop allowable* menunjukkan penurunan tekanan maksimal yang diperbolehkan dalam *heat exchanger* apabila suatu fluida melaluinya. *Pressure drop* yang diizinkan yaitu sebesar 10 Psi. Berdasarkan hasil perhitungan nilai *pressure drop* pada data diperoleh nilai *pressure drop* pada *shell* sebesar 0,41138 Psi dan *pressure drop* pada *tube* sebesar 5,304863 Psi. Hal ini menunjukkan bahwa *heat exchanger* dinyatakan masih layak dioperasikan karna tidak melebihi standar batas yang diperbolehkan.

