



## BAB IX TUGAS KHUSUS

### Evaluasi Kinerja *Heat Exchanger* 101-E-527-A/B Kilang *Residual Fluid* *Catalytic Cracking* (RFCC) Periode 10 September – 10 Oktober 2023 PT. PERTAMINA RU IV Cilacap

#### IX.1 Latar Belakang

Kilang RFCC (*Residual Fluid Catalytic Cracking*) merupakan salah satu kilang yang terdapat di PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit IV Cilacap. Kilang ini dirancang untuk mengolah LSWR (*Low Sulfur Wax Residue*) sejumlah 58,000 BPSD (*Barrel Per Stream Day*) dari produk bawah CDU (*Crude Distillation Unit*) II dan vacuum gas oil dari HVU (*High Vacuum Unit*) dan LOC (*Lube Oil Complex*) I/II sejumlah 4,000 BPSD. Pengolahan ini bertujuan untuk mengolah produk bernilai jual rendah menjadi produk bernilai jual tinggi seperti *gasoline*, LPG (*Liquid Petroleum Gas*), dan Propylene.

Proses yang terjadi di RFCC berupa reaksi kimia katalitik yang dilanjutkan dengan proses fraksinasi untuk menjadi produk overhead. Kilang RFCC memiliki beberapa unit, yaitu Unit 101 *Residual Catalytic Unit*, Unit 102 *Gas Concentration*, Unit 103 *LPG Merox*, Unit 104 *Propylene Recovery*, Unit 105 *Gasoline Hydrotreating*, Unit 106 *Amine Treating*, Unit 107 *Sour Water Stripping*, Unit 108 *Hydrogen Purification*, dan Unit 109 *Oxidation Stability & Chemical Injection*.

Unit 101 ini merupakan unit inti dari kilang RFCC karena pada unit inilah proses *catalytic cracking* terjadi. Produk hasil pengolahan dari unit 101 selanjutnya akan diproses pada unit-unit lainnya di kilang RFCC. Umpan pada unit RFCC didesain berasal dari *Low Sulphur Wax Residue* (LSWR) keluaran CDU II 011 sebanyak 58 MBSD dan vacuum gas oil keluaran HVU di LOC I/II sebanyak 4 MBSD, sehingga kapasitas total adalah 62 MBSD.

Produk yang dihasilkan dari unit 101 adalah berupa fraksi *Wet Gas*, *Naptha*, *Light Cycle Oil* (LCO), dan *Decant Oil* (DCO). Fraksi *Wet Gas* dan *Naptha* selanjutnya akan dialirkan ke unit 102 untuk diproses lebih lanjut. Fraksi LCO dan



CO dari unit 101 akan dikirim ke tangki penyimpanan di *existing area* dan juga dapat dikirim ke *Fuel Oil Tank* sebagai komponen *blending Refinery Fuel Oil* (RFO). Pada unit 101 terdapat tiga proses utama yang terjadi di reaktor, regenerator, dan main column.

## **XI.2 Rumusan Masalah**

Pada laporan khusus ini, akan dilakukan perhitungan dan evaluasi guna mengetahui performa dari Heat Exchanger 101-E-527-A/B. pada kilang RFCC (*Residual Fluid Catalytic Cracking*). Terdapat dua parameter yang akan digunakan pada evaluasi ini, yakni  $R_d$  (*fouling factor*) dan  $\Delta P$  (*pressure drop*). Kedua parameter ini akan dibandingkan pada kondisi aktual serta kondisi desain untuk mengetahui performa dari Heat Exchanger 101-E-527-A/B.

## **XI.3 Tujuan**

Tujuan dari tugas khusus ini adalah untuk menganalisis  $R_d$  (*fouling factor*) dan  $\Delta P$  (*pressure drop*) pada Heat Exchanger 101-E-527-A/B di Unit 101 kilang RFCC (*Residual Fluid Catalytic Cracking*)

## **XI.4 Manfaat**

Dari hasil evaluasi yang dilakukan, dapat ditentukan kinerja dari Heat Exchanger 101-E-527-A/B di Unit 101 kilang RFCC (*Residual Fluid Catalytic Cracking*) apakah masih optimal atau tidak dalam beroperasi

## **XI.5 Dasar Teori**

### **XI.5.1 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*. Transfer panas dibedakan berdasarkan fungsinya, seperti:

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

#### **XI.5.2 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, 1965). 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.

##### **1. Konduksi**

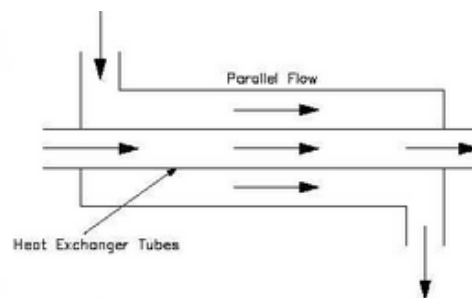
Konduksi adalah proses dimana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya (Supu, 2016).

2. 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, 1965).
3. 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.

### IX.5.3 Jenis Aliran Fluida pada *Heat Exchanger*

#### 1. Aliran Searah atau *Co-Current/Parallel Flow*

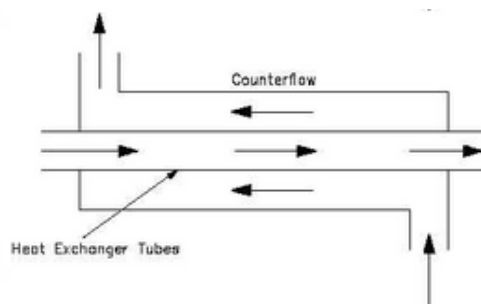
Tipe aliran dimana fluida panas dan fluida dingin masuk pada ujung penukar panas yang sama. Kemudian, kedua fluida akan mengalir searah menuju ujung penukar panas yang lain.



Gambar IX. 1 *Co-Current / Parallel Flow*

#### 2. Aliran Berlawanan arah atau *Counter Current Flow*

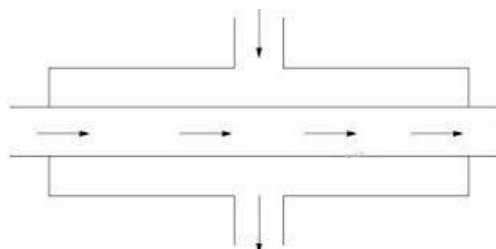
Tipe aliran dimana fluida panas dan fluida dingin masuk pada ujung penukar panas yang berbeda. Kemudian, kedua fluida akan mengalir berlawanan arah menuju ujung penukar panas yang lain.



Gambar IX. 2 *Counter Current Flow*

### 3. Aliran Silang atau *Cross Flow*

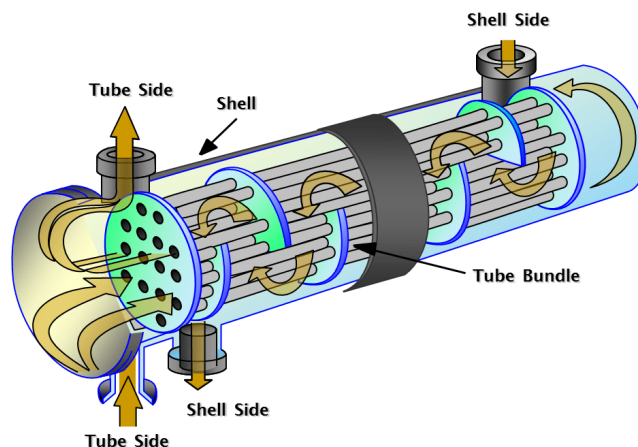
Tipe aliran fluida dimana fluida panas dan fluida dingin mengalir pada right angle satu sama lain. HE dengan tipe ini banyak digunakan untuk pemanasan atau pendinginan udara atau gas. Akibat terjadinya perpindahan panas, akan terjadi perubahan suhu. Arah aliran akan menyebabkan perbedaan profil suhu yang terjadi saat proses perpindahan panas. Berikut ini merupakan profil yang terjadi.



Gambar IX. 3 *Cross Flow*

#### **IX.5.4 Shell and Tube Heat Exchanger (STHE)**

*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.



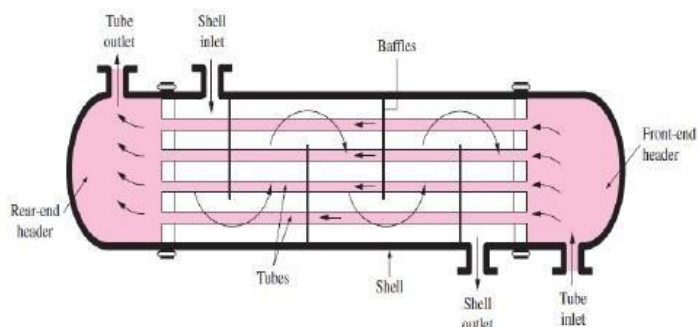
Gambar IX. 4 *Shell and Tube Heat Exchanger*

Adapun beberapa keuntungan dari penggunaan *heat exchanger* tipe *shell and tube*:

1. Dapat digunakan secara luas di berbagai industri karena dapat digunakan untuk kapasitas yang lebih besar ( $> 200 \text{ ft}^2$ ).
2. Mempunyai susunan mekanik yang baik dengan bentuk yang cukup baik untuk operasi bertekanan.
3. Tersedia dalam berbagai bahan konstruksi, dimana dapat dipilih jenis material yang dipergunakan sesuai dengan temperatur dan tekanan operasi.
4. Dapat digunakan dalam rentang kondisi operasi yang melebar.
5. Prosedur pengoperasian lebih mudah.
6. Metode perancangan yang lebih baik telah tersedia.
7. Pembersihan dapat dilakukan dengan lebih mudah.

#### **IX.5.5 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. Alat ini terdiri dari sebuah shell (tabung/silinder besar) dimana di dalamnya terdapat sebuah bundle 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.

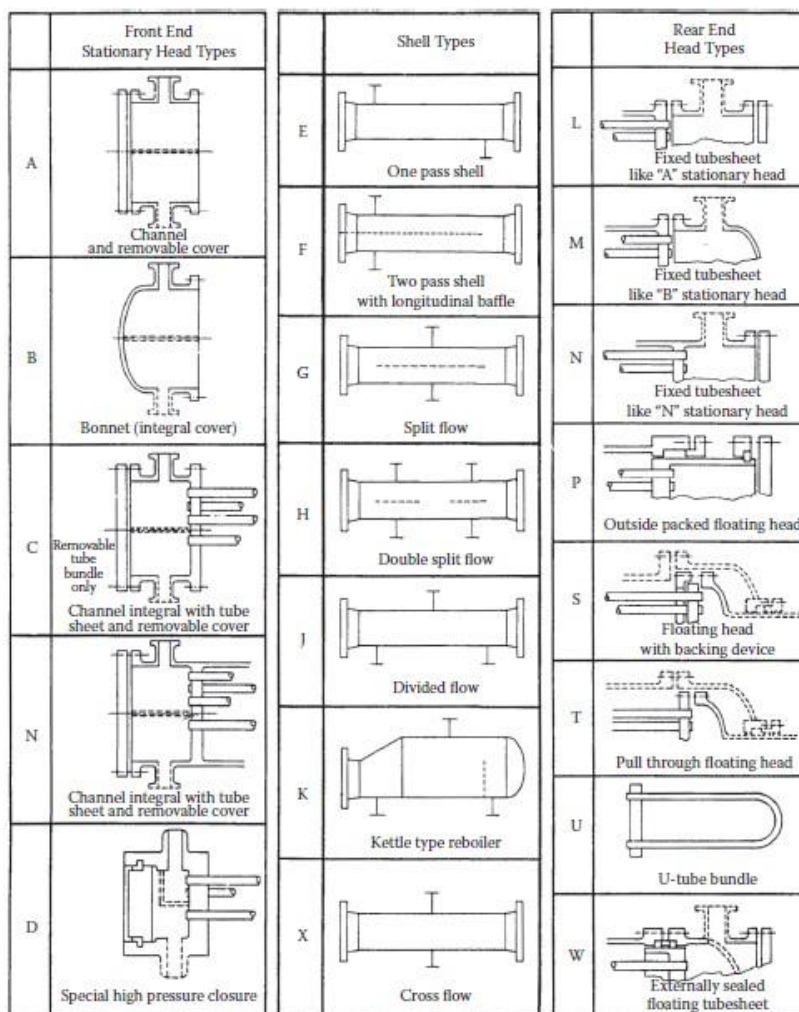


Gambar IX. 5 Komponen *Shell and Tube Heat Exchanger*

Dalam merancang penukar panas dengan jenis Shell and Tube Exchanger, ada beberapa komponen yang harus diperhatikan yaitu :

1. Shell

Shell merupakan wadah yang digunakan untuk menampung fluida yang ada di dalam heat exchanger (Shah & Sekulić, 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 & Sekulić, 2003).



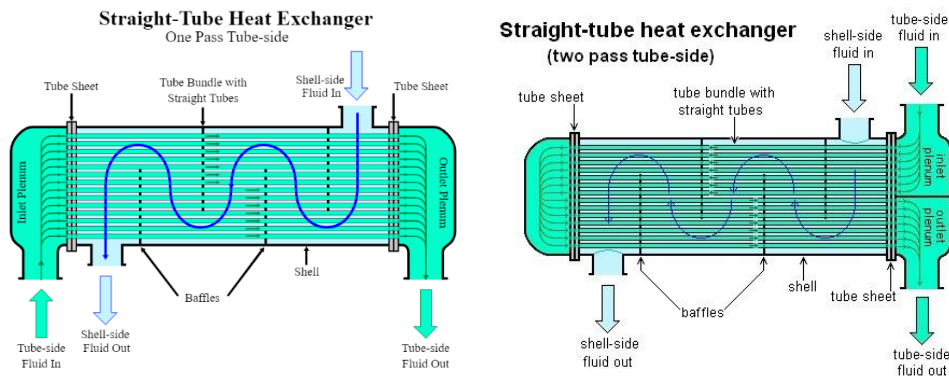
Gambar IX. 6 Standarisasi *Shell and Tube Heat Exchanger* Berdasarkan TEMA

## 2. Tube

Tube merupakan pipa kecil yang tersusun didalam shell dimana fluida yang akan dipanaskan ataupun didinginkan mengalir. Tube tersedia dalam berbagai bahan logam yang memiliki harga konduktifitas panas yang besar sehingga hambatan perpindahan panasnya rendah. Ukuran diameter luar dari tube STHE merupakan diameter luar aktual (inchi) dengan toleransi yang sangat tinggi. Tube dapat dibuat dari berbagai jenis logam, seperti : steel, tembaga, perunggu, Muntz metal, brass, 70-30 tembaga-nikel, perunggu aluminium, aluminium, dan stainless steel (Kern, 1965). Ukuran ketebalan pipa beragam dan dinyatakan dalam bilangan yang disebut Birmingham Wire Gage (BWG). Ukuran pipa umumnya akan mengikuti



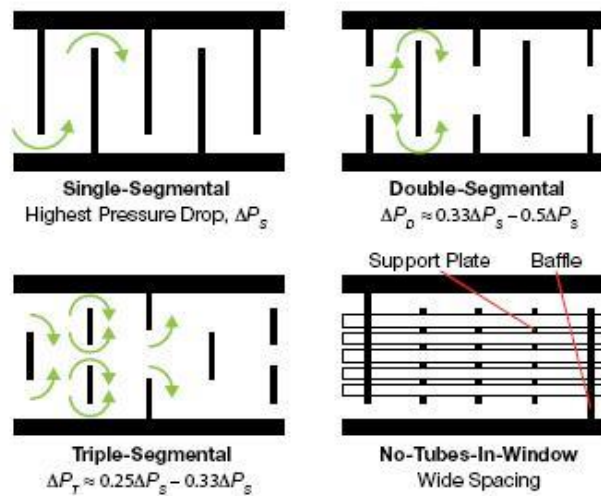
ukuran- ukuran baku yang sudah ada. Nilai BWG yang semakin besar menunjukkan ketebalan tube yang semakin kecil. Aliran fluida dalam tube sering dibuat melintas lebih dari satu kali dengan tujuan untuk memperbesar koefisien perpindahan panas.



Gambar IX. 7 *Straight-Tube Heat Exchanger*

### 3. Baffle

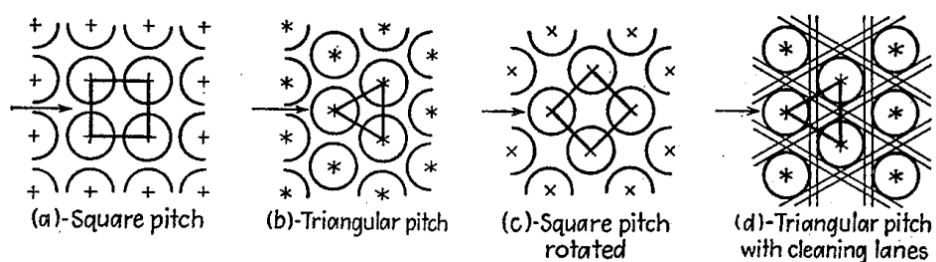
Perpindahan panas yang lebih besar dapat terjadi ketika cairan dibuat dalam kondisi turbulen. Maka dari itu, baffle digunakan dalam sebuah STHE untuk membuat cairan dapat mengalir di dalam sheet pada sudut yang tepat dengan tube didalamnya (Kern, 1965). Selain itu, baffle juga digunakan untuk memperkuat 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, triplesegmental baffle, no-tubes-in-window segmental baffle, dan disk-and-doughnut baffle (Shah & Sekulić, 2003).



Gambar IX. 8 Jenis-jenis Baffle

#### 4. 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, 1965). 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. 9 Jenis-jenis Tube Pitch

5. 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 & Sekulić, 2003).

### IX.5.6 Fenomena *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, pengerakan, korosi, polimerisasi, dan proses biologi. *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:

1. 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).

2. Perlunya energi yang lebih besar.

Energi tambahan sehubungan dengan meningkatnya energi pompa dan efisiensi termodinamika yang rendah pada kondensasi dan siklus refrigerasi.

3. *Maintenance Cost*.

Meningkatnya biaya antifoulant. *Chemical treatment* dan untuk pembersihan permukaan perpindahan panas yang tertutup oleh *fouling*.

4. Pengurangan output atau keluaran (*rate*) dikarenakan pengurangan *cross-sectional area*.

5. *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).

## IX.6 METODOLOGI

### IX.6.1 Pengumpulan Data

1. Pengumpulan Data

Primer Pengumpulan data primer didapatkan dari data di lapangan dan di control room RFCC yang meliputi suhu masukan dan keluaran MCB sebagai fluida panas di bagian tube, suhu masukan dan keluaran MP Steam sebagai fluida dingin di bagian shell, serta laju alir MP Steam dan MCB. Data-data penunjang lainnya didapatkan dari beberapa literatur lainnya.

2. Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder didapatkan dari *Specification Sheet Heat Exchanger* 101-E-527-A/B yang meliputi ukuran desain serta data fisiknya. Kemudian, data pendukung dari Operating Manual for Utility & Offsite RFCC juga digunakan untuk mengetahui parameter desain dari SWD C. Sedangkan, untuk data sekunder lain, seperti viskositas,  $De$ ,  $jH$ , dan lain-lain didapatkan dari buku *Process Heat Transfer* milik D.Q. Kern

### IX.6.2 Pengolahan Data

Dalam pengolahan data alat penukar kalor 101-E-527 A/B melalui perhitungan sesuai dengan metode yang terdapat dalam buku literatur Proses Heat Transfer, D.Q Kern. Berikut adalah langkah-langkah dalam proses evaluasi kinerja alat penukar kalor

1. **Heat Balance**

Perhitungan untuk neraca energi pada alat penukar kalor menggunakan persamaan dibawah ini. Pada reboiler 101-E-527 A/B terjadi perubahan fasa dan juga perubahan suhu pada kedua bagian alat penukar kalor.

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

Q : Laju perpindahan panas (Btu/jam)

m : Laju alir massa (lb/jam)

$C_p$  : Spesific Heat (Btu/lb.°F)

$\Delta t$  : Perbedaan suhu fluida masuk dan keluar

## 2. LMTD (*Log Mean Temperature Difference*)

LTMD adalah suatu nilai perhitungan untuk menentukan suhu pergerakan (temperature driving force) untuk perpindahan panas di suatu sistem aliran. LMTD adalah suatu nilai rata-rata logaritma dari perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin pada heat exchanger. Semakin besar nilai LMTD, semakin banyak perpindahan panas yang terjadi.

$$LMTD = \frac{(Th\ in - Tc\ out) - (Th\ out - Tc\ in)}{\ln \frac{(Th\ in - Tc\ Out)}{(Th\ out - Tc\ in)}}$$

Untuk heat exchanger tipe 3 pass ataupun multiple pass maka nilai  $\Delta T$  LMTD dapat ditentukan dengan cara mengalikan nilai LMTD yang di dapat dengan *correction factor* (Fc). Nilai F dapat didapatkan dengan cara mencari nilai penurunan temperatur fluida panas per kenaikan temperature fluida dingin (R) dan mencari kenaikan temperatur fluida dingin per beda temperatur masuk kedua fluida (S). Nilai Fc dapat dibaca pada Fig. 18 Kern, dengan menghitung R dan S.

$$R = \frac{Th\ in - Th\ out}{Tc\ out - Tc\ in}$$

$$S = \frac{Tc\ out - Tc\ in}{Th\ in - Tc\ in}$$

$Th\ in$  : Suhu inlet tube (MCB), (°F)

$Th\ out$  : Suhu outlet tube (MCB), (°F)

$Tc\ in$  : Suhu inlet shell (MP Steam), (°F)

$Tc\ out$  : Suhu outlet shell (MP Steam), (°F)

## 3. Menghitung Flow Area Pada Shell Dan Tube

Luas daerah dari fluida area shell dan area tube dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada buku process heat transfer-D.Q. Kern:

Shell side

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

as : flow area shell side (ft<sup>2</sup>)

ID : inside diameter shell (inch)

C' : tube clearance (inch)

B : baffle spacing (inch)

Pt : pitch tube (inch)

Tube side

$$at = \frac{Nt \times a't}{144 \times N}$$

at : flow area tube (ft<sup>2</sup>)

Nt : jumlah tube

a't : luas flow area per tube (m<sup>2</sup>)

N : jumlah pass

#### 4. Menghitung Laju Alir Massa Fluida Pada Area Shell and Tube

Shell side

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

as : flow area shell side (ft<sup>2</sup>)

Ws : mass flow pada shell side  
(lb/jam)

Gs : Mass velocity per cross section  
area shell (lb/jam.ft<sup>2</sup>)

Tube side

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

at : flow area tube (ft<sup>2</sup>)

Wt : mass flow pada tube side  
(lb/jam)

Gs : Mass velocity per cross  
section area tube (lb/jam.ft<sup>2</sup>)

#### 5. Menghitung Reynold Number pada area Shell And Tube

Bilangan Reynold untuk fluida panas (sisi shell) dan fluida dingin (sisi tube) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada buku “process heat transfer” – D.Q.Kern

**Shell**

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

Res : Bilangan Reynold untuk fluida dalam shell

De : Diameter equiavlent shell side (ft)

Gs : Mass velocity per cross section area pada shell (lb/jam.ft<sup>2</sup>)

$\mu$  : Viskositas fluida pada shell side dalam Tc (lb/jam.ft)

## Tube

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

Ret : Bilangan Reynold untuk fluida dalam shell

ID : Diameter equivalent shell side (ft)

Gt : Mass velocity per cross section area pada tube (lb/jam.ft<sup>2</sup>)

$\mu$  : Viskositas fluida pada tube side dalam tc (lb/jam.ft)

## 6. Menghitung factor heat transfer (jH)

Faktor dimensi baik pada sisi shell maupun tube dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

- Untuk fluida panas jH diperoleh dari fig. 28 Kern, D.Q. (1965) dengan terlebih dahulu mengetahui harga dari Res.
- Untuk fluida dingin jH didapat dari fig. 24 Kern, D.Q. (1965) dengan terlebih dahulu mengetahui harga dari Ret dan L/D.

## 7. Menghitung koefisien perpindahan panas

### Shell

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

ho : Koefisien perpindahan panas pada shell (Btu/jam.ft.°F)

$\phi_s$  : Rasio / perbandingan viskositas fluida pada suhu dinding tube di sisi shell

jH : Faktor Perpindahan panas

k : Thermal conductivity shell side (Btu/jam.ft.°F)

De : Diameter equivalent shell side (ft)

cp : Specific heat fluida dalam shell (Btu/lb.°F)

$\mu$  : Viskositas fluida dalam shell (lb/jam.ft)

### Tube

$$\frac{hi}{\phi_t} = jH \times \frac{k}{ID} \times \left(\frac{cp\mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}}$$

hi : Koefisien perpindahan panas pada tube (Btu/jam.ft.°F)

$\phi_t$  : Rasio / perbandingan viskositas fluida pada suhu dinding tube di sisi tube

$j_H$  : Faktor Perpindahan panas

ID : Diameter dalam pada tube, (ft)

k : Thermal conductivity tube side (Btu/jam.ft.°F)

$c_p$  : Specific heat fluida dalam tube (Btu/lb.°F)

$\mu$  : Viskositas fluida dalam tube (lb/jam.ft)

### 8. Menghitung Temperatur Dinding Tube

$$t_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\phi_s}}{\frac{h_o}{\phi_t} + \frac{h_o}{\phi_s}} \times (T_c - t_c)$$

$t_w$  : Temperatur pada dinding tube (°F)

$T_c$  : Temperatur rata-rata pada shell (°F)

$t_c$  : Temperatur rata-rata pada tube (°F)

$\phi_t$  : Viskositas rasio fluida pada tube

$\phi_s$  : Viskositas rasio fluida pada shell

### 9. Menghitung Viskositas Fluida

Shell

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

$\phi_s$  : Rasio viskositas fluida pada sisi shell

$\mu_w$  : Viskositas fluida dalam shell pada suhu dinding tube

$\mu$  : Viskositas fluida dalam shell pada suhu kalorik

Tube

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

$\phi_t$  : Rasio viskositas fluida pada sisi tube

$\mu_w$  : Viskositas fluida dalam tube pada suhu dinding tube

$\mu$  : Viskositas fluida dalam tube pada suhu kalorik

### 10. 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.ft<sup>2</sup> .°F)

$h_o$  : Koefisien perpindahan panas konveksi outside (Btu/jam.ft<sup>2</sup> .°F)

### 11. Menghitung Dirty Overall Heat Transfer Coefficient Desain

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

$\Delta T$  : LMTD terkoreksi (°F)

$A$  : Luas permukaan perpindahan panas (ft<sup>2</sup> )

$Q$  : Laju transfer panas pada shell atau tube

### 12. Menghitung Dirt Factor

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

$R_d$  : Dirt Factor (jam.ft<sup>2</sup>.°F /Btu)

$U_c$  : Clean overall heat transfer coefficient (Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F)

$U_d$  : Design overall heat transfer coefficient (Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F)

### 13. Menghitung Pressure Drop Pada Area Shell Dan Tube

#### Shell side

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times ID_s \times (N + 1)}{5,22 \times 10^{10} \times De \times SG_{Steam} \times \phi_s}$$

$\Delta P_s$  : Beda tekanan antara fluida pada saat masuk dengan fluida pada saat keluar pada shell side dari alat penukar panas (psi)

$F$  : Friction Factor dari Figure 29

$G_s$  : Mass velocity per cross section area (lb/jam.ft<sup>2</sup>)

$ID_s$  : Diameter dalam shell (ft)

$De$  : Diameter ekuivalent shell (ft)

$N$  : Jumlah Cross

$SG$  : Specific gravity fluida dalam shell

$\phi_s$  : Viskositas rasio fluida pada shell

#### Tube side

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times L \times N}{5,22 \times 10^{10} \times ID \times SG_{MCB} \times \phi_t}$$

$\Delta P_t$  : Beda tekanan antara fluida pada saat masuk dengan fluida pada saat keluar pada tube side dari alat penukar panas, (psi)



- f : Friction Factor dari Figure 26  
Gt : Mass velocity per cross section area (lb/jam.ft<sup>2</sup>)  
L : Panjang pipa (ft)  
N : Jumlah pass, (pcs)  
ID : Diameter dalam tube(ft)  
SG : Specific gravity fluida dalam tube  
 $\phi_t$  : Viskositas rasio fluida pada tube

(Kern, 1965)

## IX.7 Data Operasional Harian

Analisa kinerja Heat Exchanger 101-E-527-A/B di Unit 101 kilang RFCC (*Residual Fluid Catalytic Cracking*) didasarkan pada perhitungan sejumlah parameter yaitu *fouling factor* ( $R_d$ ), *pressure drop* ( $\Delta P$ ), dan efisiensi alat pada data operasi harian lapangan. Adapun data operasional harian lapangan yang digunakan yaitu mulai tanggal 10 September 2023 – 10 Oktober 2023. Studi analisa kinerja ini secara umum akan digunakan untuk mengevaluasi kinerja Heat Exchanger 101-E-527-A/B di Unit 101 kilang RFCC dengan meninjau apakah Heat Exchanger telah beroperasi dengan optimal, membutuhkan pembersihan atau bahkan diperlukan adanya penggantian unit.

### IX.7.1 Heat Exchanger 101-E-527-A

Pengambilan data operasional harian Heat Exchanger 101-E-527-A pada 10 September 2023 – 10 Oktober 2023. Adapun data yang digunakan untuk menghitung parameter Analisa kinerja Heat Exchanger 101-E-527-A di Unit 101 kilang RFCC disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel IX. 1 Data MP Steam Heat Exchanger 101-E-527-A

DATA MP Steam Superheater A			
Tanggal	Parameter		
	T in MP Steam (°C)	T out MP steam (°C)	Flow MP Steam (Ton/hr)
	101_TI224.PV	101_TI254.PV	101_FI215.PV
10/09/2023	209,9786	304,5543	29,4972
11/09/2023	210,4004	304,7003	30,6501
12/09/2023	210,5342	305,2506	31,5209
13/09/2023	210,4795	304,5985	31,5754
14/09/2023	210,6170	304,7206	32,0413
15/09/2023	210,5809	304,9835	31,6964
16/09/2023	210,2657	304,3859	30,9924
17/09/2023	210,3884	305,7183	31,3052
18/09/2023	210,5664	306,3035	31,9919
19/09/2023	210,8100	304,8442	31,8806

20/09/2023	211,2808	304,6958	31,2406
21/09/2023	210,5752	305,3294	30,9127
22/09/2023	210,4450	306,7672	30,5748
23/09/2023	210,6910	307,0844	30,7344
24/09/2023	211,0380	305,8402	31,5980
25/09/2023	210,7085	305,6115	30,8311
26/09/2023	210,6592	307,1099	30,7511
27/09/2023	210,7036	306,7760	31,0159
28/09/2023	211,6068	303,9980	33,5584
29/09/2023	211,6460	303,3163	34,0177
30/09/2023	211,2256	303,1631	32,7421
01/10/2023	211,0168	303,7374	32,3240
02/10/2023	211,0662	303,9360	32,7102
03/10/2023	211,2229	303,8483	33,2720
04/10/2023	210,9656	304,1116	32,6135
05/10/2023	210,5866	304,9128	31,6811
06/10/2023	210,8098	305,6704	31,9921
07/10/2023	211,0283	304,9723	32,7349
08/10/2023	211,0644	305,0723	32,9856
09/10/2023	211,2480	304,4039	33,5791
10/10/2023	211,2612	303,5924	33,7138
<b>Rata-rata</b>	<b>210,8216</b>	<b>304,9680</b>	<b>31,8947</b>

Tabel IX. 2 Data MCB Heat Exchanger 101-E-527-A

<b>DATA MCB Superheater A</b>			
Tanggal	Parameter		
	T in MCB (°C)	T out MCB (°C)	Flow MCB (Ton/hr)
	101_TI242.PV	101_TI253.PV	101_FIC213.PV
10/09/2023	340,5104	307,0643	86,2553
11/09/2023	340,7986	307,7096	88,8262



12/09/2023	340,6566	308,5319	89,9957
13/09/2023	339,8561	307,7762	89,9963
14/09/2023	340,6137	308,0427	89,9976
15/09/2023	340,5094	308,1711	89,9986
16/09/2023	338,7756	307,2490	89,9967
17/09/2023	340,9014	308,7614	89,9974
18/09/2023	342,6161	309,6209	89,9866
19/09/2023	340,5610	308,1309	90,0159
20/09/2023	339,6882	307,8499	90,0154
21/09/2023	339,8610	308,3063	89,9994
22/09/2023	341,3412	309,7341	89,9979
23/09/2023	341,6258	310,0205	90,6381
24/09/2023	341,1659	308,8758	89,9972
25/09/2023	339,5153	308,8852	92,5646
26/09/2023	341,1286	310,3567	93,0008
27/09/2023	341,2725	310,0790	92,2817
28/09/2023	341,4198	307,9163	90,4748
29/09/2023	341,1198	307,4764	90,9274
30/09/2023	339,2927	306,8091	90,0039
01/10/2023	339,5547	307,2192	90,0016
02/10/2023	340,4236	307,5021	89,9997
03/10/2023	340,7742	307,4939	89,9986
04/10/2023	339,9377	307,7964	91,3927
05/10/2023	339,4495	308,5660	93,0812
06/10/2023	340,9746	309,4791	92,9958
07/10/2023	341,0359	308,9836	92,9977
08/10/2023	341,3899	309,1220	93,0064
09/10/2023	341,2866	308,5350	93,0023
10/10/2023	340,8009	307,7878	91,8223
<b>Rata-rata</b>	<b>340,6083</b>	<b>308,3823</b>	<b>90,7505</b>

### IX.7.2 Heat Exchanger 101-E-527-B

Pengambilan data operasional harian Heat Exchanger 101-E-527-B pada 10 September 2023 – 10 Oktober 2023. Adapun data yang digunakan untuk menghitung parameter Analisa kinerja Heat Exchanger 101-B-527-A di Unit 101 kilang RFCC disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel IX. 3 Data MP Steam Heat Exchanger 101-E-527-B

DATA MP Steam Superheater B			
Tanggal	Parameter		
	T in MP Steam (°C)	T out MP steam (°C)	Flow MP Steam (Ton/hr)
	101_TI225.PV	101_TI256.PV	101_FI217.PV
10/09/2023	210,3459	302,5381	29,9370
11/09/2023	210,7469	302,9664	30,9483
12/09/2023	210,8456	303,7475	31,5536
13/09/2023	210,7806	303,2269	31,4609
14/09/2023	210,9070	303,4054	31,9034
15/09/2023	210,8902	303,5905	31,6243
16/09/2023	210,6074	302,7952	31,1272
17/09/2023	210,7216	304,1289	31,4160
18/09/2023	210,8739	304,8800	31,9036
19/09/2023	211,1178	303,4425	31,8000
20/09/2023	211,6326	302,9660	31,5347
21/09/2023	210,9639	303,3205	31,4929
22/09/2023	210,8418	304,7212	31,1566
23/09/2023	211,0843	305,0442	31,3139
24/09/2023	211,4224	303,8552	32,1590
25/09/2023	211,1043	303,6345	31,3933
26/09/2023	211,0325	305,1902	31,1921
27/09/2023	211,0738	304,9524	31,3827
28/09/2023	211,9117	302,5683	33,5505
29/09/2023	211,9196	302,1229	33,7728

30/09/2023	211,5614	301,5765	32,9121
01/10/2023	211,3774	301,9851	32,6549
02/10/2023	211,4155	302,1863	33,0361
03/10/2023	211,5638	302,1163	33,5740
04/10/2023	211,3221	302,3452	32,9445
05/10/2023	210,9550	303,1258	32,0269
06/10/2023	211,1733	303,8844	32,3384
07/10/2023	211,3806	303,2158	33,0592
08/10/2023	211,4042	303,4175	33,1873
09/10/2023	211,5850	302,7094	33,8393
10/10/2023	211,5755	302,0844	33,7927
<b>Rata-rata</b>	<b>211,1657</b>	<b>303,2820</b>	<b>32,1286</b>

Tabel IX. 4 Data MCB Heat Exchanger 101-E-527-B

<b>DATA MCB Superheater B</b>			
Tanggal	Parameter		
	T in MCB (°C)	T out MCB (°C)	Flow MCB (Ton/hr)
	101_TI242.PV	101_TI255.PV	101_FIC213.PV
10/09/2023	340,5104	307,7810	86,2553
11/09/2023	340,7986	308,5519	88,8262
12/09/2023	340,6566	309,6251	89,9957
13/09/2023	339,8561	308,9826	89,9963
14/09/2023	340,6137	309,3054	89,9976
15/09/2023	340,5094	309,3598	89,9986
16/09/2023	338,7756	308,2494	89,9967
17/09/2023	340,9014	309,8035	89,9974
18/09/2023	342,6161	310,8326	89,9866
19/09/2023	340,5610	309,2973	90,0159
20/09/2023	339,6882	308,7387	90,0154
21/09/2023	339,8610	308,9675	89,9994

22/09/2023	341,3412	310,3815	89,9979
23/09/2023	341,6258	310,6557	90,6381
24/09/2023	341,1659	309,5613	89,9972
25/09/2023	339,5153	309,5561	92,5646
26/09/2023	341,1286	311,0752	93,0008
27/09/2023	341,2725	310,8811	92,2817
28/09/2023	341,4198	309,0904	90,4748
29/09/2023	341,1198	308,8229	90,9274
30/09/2023	339,2927	307,7626	90,0039
01/10/2023	339,5547	308,0632	90,0016
02/10/2023	340,4236	308,3955	89,9997
03/10/2023	340,7742	308,3852	89,9986
04/10/2023	339,9377	308,6417	91,3927
05/10/2023	339,4495	309,3412	93,0812
06/10/2023	340,9746	310,2801	92,9958
07/10/2023	341,0359	309,8317	92,9977
08/10/2023	341,3899	310,0654	93,0064
09/10/2023	341,2866	309,4868	93,0023
10/10/2023	340,8009	308,8774	91,8223
<b>Rata-rata</b>	<b>340,6083</b>	<b>309,3113</b>	<b>90,7505</b>

## IX.8 Hasil dan Pembahasan

Parameter pertama yang digunakan dalam menentukan performa Heat Exchanger 101-E-527-A/B di Unit 101 kilang RFCC ini ialah *fouling factor* atau *Dirt Factor (Rd)* dan parameter kedua yang digunakan untuk mengevaluasi performa Heat Exchanger 101-E-527-A/B yakni pressure drop ( $\Delta P$ ).

### IX.8.1. *Fouling factor (Rd)*

*Fouling factor* merupakan suatu parameter yang digunakan untuk menunjukkan besarnya faktor pengotor di dalam alat penukar panas akibat adanya kotoran yang terbawa fluida alir. Pengotor ini merupakan lapisan yang memberikan



tahanan tambahan terhadap aliran panas yang berasal dari peristiwa korosi ataupun *scaling* akibat fluida yang digunakan dalam heat exchanger.

Dalam melakukan perhitungan performa Heat Exchanger 101-E-527-A/B di Unit 101 kilang RFCC digunakan data operasional harian pada tanggal 10 September 2023 – 10 Oktober 2023. Data-data baik temperatur dan laju alir massa dirata-rata untuk mendapatkan nilai yang akan digunakan dalam perhitungan. Dapat dilihat pada **Tabel.5** merupakan hasil dari perhitungan dan nilai desain dari *dirt factor* Heat Exchanger 101-E-527-A/B.

Tabel IX. 5 Perbandingan Nilai *Fouling Factor* (Rd) Desain dan Aktual pada Heat Exchanger 101-E-527-A/B

Parameter	Desain	Aktual HE 101-E-527-A	Aktual HE 101-E-527-B
Rd Total (hr.ft <sup>2</sup> .°F/btu)	0,0023707	0,0033121	0,0067030

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa nilai Rd desain dan aktual tidak jauh berbeda. Didapatkan nilai Rd aktual yang lebih besar daripada nilai Rd desain, semakin lama heat exchanger digunakan akan menyebabkan pengotoran (*fouling*) pada bagian dalam heat exchanger tersebut, hal ini menunjukkan bahwa heat exchanger telah jenuh atau memiliki kandungan pengotor (*impurities*) didalamnya. sehingga dapat mempengaruhi meningkatnya nilai *fouling factor* pada alat tersebut. Secara teori, nilai *fouling factor* sangat mempengaruhi dalam proses perpindahan panas, tergantung pada kadar *impurities* dari umpan yang masuk ke dalam heat exchanger. *Fouling factor* yang tinggi menyebabkan adanya endapan yang berat sehingga secara signifikan mengganggu aliran fluida dan meningkatkan penurunan tekanan yang diperlukan untuk mempertahankan laju aliran melalui heat exchanger (Lebele-Alawa & Ohia, 2014). Lapisan pengotoran ini menyebabkan penambahan tahanan termal dan menyebabkan laju perpindahan panas pada heat exchanger berkurang, yang pada akhirnya akan berpengaruh pada kinerja dari heat exchanger. Hal ini mengakibatkan rentang waktu maintenance yang akan panjang.

### IX.8.2 Pressure Drop ( $\Delta P$ )

*Pressure drop* ( $\Delta P$ ) merupakan parameter yang menunjukkan adanya penurunan tekanan yang terjadi dalam shell maupun tube. Tekanan dalam heat exchanger merupakan *driving force* bagi aliran dalam suatu penukar panas baik pada bagian shell maupun tube. Nilai *pressure drop* pada suatu alat penukar panas dipengaruhi oleh beberapa hal seperti factor gesekan (*friction factor*), viskositas fluida, pemilihan jenis fluida, dll.

Dalam melakukan perhitungan performa Heat Exchanger 101-E-527-A/B di Unit 101 kilang RFCC digunakan data operasional harian pada tanggal 10 September 2023 – 10 Oktober 2023. Data-data baik temperatur dan laju alir massa dirata-rata untuk mendapatkan nilai yang akan digunakan dalam perhitungan.

Tabel IX. 6 Perbandingan Nilai *Pressure Drop* ( $\Delta P$ ) Desain dan Aktual pada Heat Exchanger 101-E-527-A/B

Parameter	Desain	Aktual HE 101-E-527-A	Aktual HE 101-E-527-B
$\Delta P$ Total (psi)	17,5624	18,2429	17,7087

*Pressure drop* dipengaruhi oleh *fouling factor* dimana semakin tinggi *fouling factor* maka *pressure drop* juga akan semakin tinggi, hingga menyebabkan penurunan kinerja transfer panas pada heat exchanger. Penurunan ini disebabkan oleh suhu, dan laju perpidahan panas, karena temperatur outlet pada desain dan aktual memiliki interval perbedaan yang cukup jauh. Penurunan suhu ini diakibatkan karena penggunaan alat yang sudah cukup lama, jadi perpindahan panas yang terjadi pada heat exchanger sudah mulai berkurang karena faktor usia pemakaian (Al Ghifary et al., 2022). Kelayakan operasi dari heat exchanger dapat dilihat dari perbandingan antara perhitungan *pressure drop* dari data aktual dengan *pressure drop allowable* yang didapat dari desain. Hasil perhitungan dari data aktual dapat diketahui bahwa nilai dari *pressure drop actual* melebihi nilai *pressure drop allowable*.

### IX.8.3 Efisiensi

Efisiensi dari alat penukar panas menunjukkan seberapa besar yang diserap oleh fluida dingin dibandingkan terhadap panas yang dilepaskan oleh fluida panas. Berikut merupakan tabel perbandingan nilai efisiensi aktual heat exchanger E-527 A/B dengan efisiensi pada desainnya.

Parameter	Desain	Aktual HE 101-E-527-A	Aktual HE 101-E-527-B
Efisiensi ( $\eta$ ) (%)	60,4304	58,4860	58,1170

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai efisiensi aktual Heat Exchang E-527 A/B tidak terlalu besar yaitu sekitar 58% yang mana menunjukkan bahwa cukup banyak panas yang hilang ( $Q_{loss}$ ) pada unit tersebut. Banyaknya panas yang hilang membuat proses perpindahan panas tidak berlangsung dengan baik, menurunnya performa heat exchanger juga disebabkan oleh semakin besarnya kapasitas kalor minimum yang diakibatkan oleh kenaikan flowrate. Nilai *fouling factor* aktual lebih besar daripada nilai *fouling factor* desain. Hal ini menyebabkan efisiensi aktual lebih rendah dibandingkan efisiensi desain karena *fouling* menyebabkan terbentuknya lapisan pengotoran yang menyebabkan penambahan tahanan termal dan menyebabkan laju perpindahan panas pada heat exchanger berkurang sehingga berpengaruh pada kinerja heat exchanger. Nilai efisiensi heat exchanger dapat ditingkatkan dengan menggunakan perubahan laju aliran massa fluida dinginnya karena setiap fluida dingin yang mengalir ke dalam alat penukar panas akan membawa panas yang dialirkan melalui dinding-dinding pipa suatu alat penukar panas tersebut (konduktansi), selain itu kecepatan fluida dingin yang mengalir akan semakin mempermudah panas meresap kedalam fluida dingin (konveksi) (Barun & Rukmana, 2015).