

## **EVALUASI KINERJA COOLER-05 PADA CRUDE DISTILLATION UNIT DI PPSDM MIGAS CEPU**

Virsa Faliolla Tasyakuranti<sup>1</sup>, Rosita Dwi Chrisnandari<sup>1</sup>, Arief Rahmatulloh<sup>1</sup>, Setiyono<sup>2</sup>, Nurul Kamaliya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas, Jl. Sorogo No.1, Cepu, Blora 58315, Indonesia

[vfaliolla@gmail.com](mailto:vfaliolla@gmail.com) ; [rositadwi86@polinema.ac.id](mailto:rositadwi86@polinema.ac.id)

### **ABSTRAK**

Dalam proses pengolahan minyak dan gas bumi di *Crude Distillation Unit* PPSDM Migas Cepu diperlukan berbagai alat perpindahan panas, salah satunya adalah *cooler*. Di PPSDM Migas Cepu, *Cooler-05* digunakan untuk mendinginkan Pertasol C<sub>B</sub> hasil keluaran dari kolom fraksinasi C2 sebelum masuk ke *separaor* S4. Dalam proses produksi Pertasol C<sub>B</sub> yang berlangsung secara kontinu, proses produksi ini menyebabkan alat di *Crude Distillation Unit* harus beroperasi selama 24 jam. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja *Cooler-05* sehingga perlu dilakukan perhitungan efisiensi untuk mengetahui kinerja alat tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari *Cooler-05* yang ada di *Crude Distillation Unit* PPSDM Migas Cepu yang didasarkan pada beberapa parameter. Metode evaluasi kinerja *Cooler-05* dilakukan dengan cara mengumpulkan dan mengolah data lapangan serta data literatur. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai *Dirt Factor* (Rd) sebesar 0,0086 J.ft<sup>2</sup>.°F/Btu dengan selisih 7% dari Rd minimal, dimana toleransi selisih yang diperbolehkan maksimal sebesar 10%. Pada *pressure drop* ( $\Delta P$ ) didapatkan untuk sisi *shell* dan *tube* berturut-turut sebesar 0,0001 psi dan 0,00805 psi dengan nilai yang diperbolehkan sebesar 10 psi untuk *liquid*. Didapatkan pula besar efisiensi perpindahan panas (kalor) sebesar 73,16% dimana suatu alat masih optimal beroperasi jika memiliki efisiensi mencapai 80%. Dengan demikian, perlu dilakukan perawatan pada *Cooler-05* secara berkala untuk menjaga kinerja *Cooler-05* agar tetap beroperasi dengan baik.

**Kata kunci:** *Cooler CDU, Efisiensi, Kinerja, Pertasol C<sub>B</sub>*

### **ABSTRACT**

*In processing oil and gas at the crude distillation unit PPSDM Migas Cepu, various heat storage devices are needed, one of which is Cooler. At PPSDM Migas Cepu, Cooler-05 is used to cool Pertasol C<sub>B</sub> output from the fractionation column C2 before entering separator S4. In the continuous Pertasol C<sub>B</sub> production process, this production process makes the crude distillation unit must operate for 24 hours. This can affect the performance of Cooler-05, so it is necessary to calculate the efficiency to determine the performance of the tool. This study aims to determine the performance of Cooler-05 in the Crude Distillation Unit PPSDM Migas Cepu based on several parameters. The Cooler-05 performance evaluation method is carried out by collecting and processing field data and literature. Based on the calculation results, the Dirt Factor (Rd) value is 0.0086 J.ft<sup>2</sup>.°F/Btu with a minimum difference of 7% from Rd, where the maximum allowable difference tolerance is 10%. The pressure drop ( $\Delta P$ ) obtained for the shell and tube sides is 0.0001 psi and 0.00805 psi, respectively, with an allowed value of 10 psi for liquid. It was also found that the efficiency of burning heat was 73.16%, whereas a device still operates optimally if it has an efficiency of 80%. Therefore, it is necessary to carry out maintenance on the Cooler-05 regularly to maintain its performance so that it continues to operate properly.*

**Keywords:** *Cooler CDU, Pertasol C<sub>B</sub>, Performance, Efficiency*

## 1. PENDAHULUAN

Dalam proses pengolahan minyak dan gas bumi di *Crude Distillation Unit* PPSDM Migas Cepu diperlukan berbagai alat perpindahan panas. Salah satu alat yang digunakan untuk perpindahan panas adalah *Cooler*. *Cooler* adalah alat yang berguna untuk mencegah panas berlebih (*overheating*) dengan cara mendinginkan fraksi panas menggunakan cairan pendingin, sehingga terjadi perpindahan panas dari fraksi panas ke media pendingin. Alat pendingin biasanya menggunakan air sebagai media pendingin, dalam proses perpindahan panas yang terjadi air pendingin tidak bersentuhan langsung dengan fraksi panas. Hal ini terjadi karena perpindahan panas terjadi antara fluida yang mengalir di dalam *tube* dan fluida yang mengalir di luar *tube* (pada sisi *shell*) [1].

Pada penerapannya di industri, *Cooler-05* digunakan untuk mendinginkan Pertasol  $C_B$  sebagai keluaran dari kolom fraksinasi C2 untuk diturunkan suhunya dan mencegah terjadinya *overheating* sebelum masuk ke *separator* S4. Pertasol  $C_B$  ini nantinya akan ditampung di tangki penampung Pertasol  $C_B$  yakni tangki T109  $C_B$ . Prinsip kerja dari *Cooler* ini memanfaatkan perpindahan panas antara dua fluida yaitu fluida panas berupa Pertasol  $C_B$  dan fluida dingin berupa air. Panas dari Pertasol  $C_B$  yang mengalir pada *tube* akan berpindah menuju air sebagai fluida dingin tanpa adanya kontak langsung karena air mengalir pada bagian *shell*.

Pada penelitian terdahulu [2], telah dilakukan evaluasi kinerja *Cooler-10* pada *Crude Distillation Unit* PPSDM Migas Cepu dan didapatkan nilai *Dirt Factor* ( $R_D$ ) sebesar 0,008374604  $J.ft^2.^{\circ}F/Btu$  serta *pressure drop* ( $\Delta P$ ) pada sisi *shell* dan *tube* berturut-turut sebesar 0,010265897 psi dan 0,00413508 psi. dari penelitian ini diketahui bahwa *Cooler-10* masih layak untuk dioperasikan tetapi perlu dilakukan pembersihan secara berkala. Penelitian yang dilakukan oleh [3], bertujuan untuk mengevaluasi kinerja *Cooler-03* pada *Crude Distillation Unit* PPSDM Migas Cepu dan didapatkan nilai  $R_d$  sebesar 0,086808  $J.ft^2.^{\circ}F/Btu$ , efisiensi *Cooler-03* sebesar 61,1739%, dan *pressure drop* ( $\Delta P$ ) sebesar 0,004487823 psi pada *shell* serta  $3,25867 \times 10^{-5}$  psi pada *tube*. Berdasarkan penelitian tersebut, *Cooler-03* dinyatakan masih layak dioperasikan tetapi tidak mampu melakukan transfer panas secara maksimal karena memiliki nilai *Dirt Factor* ( $R_d$ ) yang sangat besar.

Selain itu, referensi [4] melakukan evaluasi *Cooler-11* pada *Crude Distillation Unit* PPSDM Migas Cepu, dari hasil evaluasi tersebut didapatkan efisiensi *Cooler-11* sebesar 74,70% dan adanya *losses* sebesar 25,30%. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan panas pada *Cooler-11* tidak terjadi secara maksimal. Keterbaruan dari penelitian ini adalah dengan melakukan evaluasi kinerja pada unit *Cooler* yang berbeda dari penelitian sebelumnya yaitu pada *Cooler-05*. Dilakukan pula evaluasi kinerja yang ditinjau melalui nilai *Coefficient Clean Overall* ( $U_c$ ), *Coefficient Dirt Overall* ( $U_D$ ), *Dirt Factor* ( $R_d$ ), *pressure drop* ( $\Delta P$ ), dan efisiensi perpindahan panas (kalor).

Dalam proses produksi Pertasol  $C_B$  yang berlangsung secara kontinyu, proses produksi ini menyebabkan alat di *Crude Distillation Unit* harus beroperasi selama 24 jam. Seiring berjalannya waktu, pasti terdapat pengotor maupun kerak yang terdapat pada alat sehingga dapat mempengaruhi kinerja dari *Cooler* itu sendiri. Sebagaimana yang diketahui dalam suatu industri proses, alat merupakan hal yang paling penting untuk diperhatikan agar produk yang dihasilkan tetap sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan [5]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari *Cooler-05* yang ada di *Crude*

*Distillation Unit* PPSDM Migas Cepu pada bulan Agustus 2022 melalui evaluasi kinerja yang dapat diukur berdasarkan parameter *Coefficient Clean Overall* ( $U_C$ ), *Coefficient Dirt Overall* ( $U_D$ ), *Dirt Factor* ( $R_d$ ), *pressure drop* ( $\Delta P$ ), dan efisiensi perpindahan panas (kalor).

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan dan mengolah hasil pengamatan *Cooler-05* pada *Crude Distillation Unit* di PPSDM Migas. Adapun tahapan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 2.1. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data lapangan dan data literatur. Data lapangan diperoleh dari pengamatan *Cooler-05* dan data yang didapatkan dari *Distributed Control System Room* pada bulan Agustus 2022 selama lima hari berturut-turut. Data lapangan meliputi *flow rate* fluida, suhu *inlet* dan *outlet* fluida proses pada *Cooler-05*, densitas fluida, dan spesifikasi desain dari *Cooler-05*. Hasil pengamatan mengenai kondisi operasi *Cooler-05* selama 5 hari akan dirata-rata untuk digunakan sebagai dasar perhitungan. Sementara itu, data literatur meliputi sifat fisis Pertasol  $C_B$  yang didapatkan dari studi berbagai literatur.

### 2.2. Perhitungan Evaluasi Kinerja *Cooler-05* dengan Metode Kern (1965) [6][7]

Untuk mengevaluasi kinerja *Cooler-05* diperlukan perhitungan dengan mengolah data lapangan dan data literatur menggunakan metode perhitungan yaitu metode Kern.

#### a. Menghitung Densitas Fluida

Densitas dari air dan Pertasol  $C_B$  masing-masing dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\rho_{fluida} = \frac{\text{massa fluida}}{\text{vol fluida}} \quad (1)$$

Keterangan: Massa fluida = Massa fluida (lb)  
Vol fluida = Volume fluida (ft<sup>3</sup>)  
 $\rho_{fluida}$  = Densitas fluida (lb/ft<sup>3</sup>)

#### b. Menghitung Laju Alir Massa Fluida

Laju alir dari air dan Pertasol  $C_B$  dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$m_{fluida} = V_{fluida} \times \rho_{fluida} \quad (2)$$

Keterangan:  $V_{fluida}$  = Laju alir volume fluida (ft<sup>3</sup>/jam)  
 $\rho_{fluida}$  = Densitas fluida (lb/ft<sup>3</sup>)  
 $m_{fluida}$  = Laju alir massa fluida (lb/jam)

#### c. Menghitung *Specific Gravity* (SG)

Pada industri minyak dan gas, *Specific Gravity* (SG) digunakan untuk mengklasifikasikan atau mengelompokkan minyak bumi yang akan diproduksi [8]. *Specific Gravity* (SG) dari air dan Pertasol  $C_B$  dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SG_{\text{Pertasol } C_B} = \frac{\rho_{\text{Pertasol } C_B}}{\rho_{\text{air}}} \quad (3)$$

Keterangan:  $\rho_{\text{Pertasol } C_B}$  = Densitas Pertasol  $C_B$  (lb/ft<sup>3</sup>)  
 $\rho_{\text{air}}$  = Densitas air (lb/ft<sup>3</sup>)

$$SG_{\text{Pertasol } C_B} = \text{Specific Gravity Pertasol } C_B$$

d. Menghitung °API Pertasol  $C_B$

Derajat API dari Pertasol  $C_B$  dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini. Semakin tinggi nilai derajat API dari suatu minyak bumi, maka minyak bumi tersebut termasuk ke dalam *light oil*. Sebaliknya, semakin rendah nilai derajat API, maka minyak bumi tersebut termasuk ke dalam *heavy oil* [8].

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{SG_{\text{Pertasol } C_B}} - 131,5 \quad (4)$$

e. Menghitung Panas yang Dpindahkan

Pada sisi *shell*:

$$Q_s = m_s \times C_{p1} \times (T_1 - T_2) \quad (5)$$

Pada sisi *tube*:

$$Q_T = m_T \times C_{p2} \times (t_2 - t_1) \quad (6)$$

Keterangan:  $Q_s$  = Heat flow pada *shell* (Btu/jam)

$Q_T$  = Heat flow pada *tube* (Btu/jam)

$m_s$  = Laju alir massa fluida di *shell* (lb/jam)

$m_T$  = Laju alir massa fluida di *tube* (lb/jam)

$C_{p1}$  = Specific heat Pertasol  $C_B$  (btu/lb.°F)

$C_{p2}$  = Specific heat air (btu/lb.°F)

$T_1$  = Suhu masuk Pertasol  $C_B$  (°F)

$T_2$  = Suhu keluar Pertasol  $C_B$  (°F)

$t_1$  = Suhu masuk air (°F)

$t_2$  = Suhu keluar air (°F)

f. Mencari  $T_{av}$  (suhu *average*)

Pada sisi *shell*:

$$T_{av \text{ hot}} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (7)$$

Pada sisi *tube*:

$$T_{av \text{ cold}} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (8)$$

Keterangan:  $T_1$  = Suhu masuk Pertasol  $C_B$  (°F)

$T_2$  = Suhu keluar Pertasol  $C_B$  (°F)

$t_1$  = Suhu masuk air (°F)

$t_2$  = Suhu keluar air (°F)

$T_{av \text{ hot}}$  = Suhu rata-rata fluida panas (Pertasol  $C_B$ ) (°F)

$T_{av \text{ cold}}$  = Suhu rata-rata fluida dingin (air) (°F)

g. Menentukan Properti Fluida

Properti fluida berupa  $c_p$  (*specific heat*),  $k$  (konduktivitas termal), dan  $\mu$  (viskositas) ditentukan melalui grafik atau tabel yang didapatkan dari buku Kern "*Heat Transfer*" dengan menggunakan  $T_{av}$  (suhu *average*).

h. Menghitung Nilai *Logarithmic Mean Temperature Difference* ( $\Delta T_{LMTD}$ )

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2,3 \log \left( \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} \right)} \quad (9)$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (10)$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (11)$$

Nilai R dan S ini nantinya akan digunakan untuk mencari nilai  $F_T$  pada Fig. 18 [7].

$$\Delta T = F_T \times \Delta T_{LMTD} \quad (12)$$

Keterangan:  $\Delta t_1 = T_2 - t_1$   
 $\Delta t_2 = T_1 - t_2$   
 $\Delta T_{LMTD} = \text{Log Mean Temperature Difference}$   
 $R = \text{Temperature group } (T_1 - T_2) / (t_2 - t_1)$   
 $S = \text{Temperature group } (t_2 - t_1) / (T_1 - T_2)$

i. Menentukan *Caloric Temperature*

Perhitungan diawali dengan menentukan nilai  $K_C$  yang didapat dari grafik pada Fig. 17 [7]. Selanjutnya mencari nilai  $F_C$  dengan bantuan grafik pada Fig. 17 [7].

$$\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \quad (13)$$

$$T_c = T_2 + F_C (T_1 - T_2) \quad (14)$$

$$t_c = t_1 + F_C (t_2 - t_1) \quad (15)$$

Keterangan:  $\Delta t_c = \text{Temperature differences at the cold terminals } (^{\circ}\text{F})$   
 $\Delta t_h = \text{Temperature differences at the hot terminals } (^{\circ}\text{F})$   
 $F_C = \text{Fraksi caloric}$   
 $K_C = \text{Konstanta caloric}$

j. Mencatat Data *Tube* yang Diketahui

Data *tube* yang didapat dari Tabel 10 [7] meliputi  $D_o$  (*outside diameter*),  $D_i$  (*inside diameter*), *BWG* (*Birmingham Wire Gage*),  $a''$  (*external surface per linear foot*), dan  $a'$  (*flow area per tube in<sup>2</sup>*). Untuk  $D_e$  dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$d_e = \frac{4 \times \left( \frac{1}{2} P_T \times 0,86 P_T - \frac{1}{2} \pi d_o^2 \right)}{1/2 \pi d_o} \quad (16)$$

Keterangan:  $\Delta t_c = \text{Temperature differences at the cold terminals } (^{\circ}\text{F})$   
 $\Delta t_h = \text{Temperature differences at the hot terminals } (^{\circ}\text{F})$   
 $F_C = \text{Fraksi caloric}$   
 $K_C = \text{Konstanta caloric}$   
 $d_o = \text{Outside diameter dari tube (in)}$   
 $P_T = \text{Pitch tube (in)}$   
 $d_e = \text{Equivalent diameter untuk heat transfer (in)}$

k. Mencari Koefisien Desain dan Melengkapi Data *Shell* yang Diketahui

Perhitungan diawal dengan mencari luas permukaan *tube* dan dilanjutkan dengan mencari koefisien desain.

$$A = N_T \times L \times a'' \quad (17)$$

$$U_D = \frac{Q}{A \times \Delta T_{LMTD}} \quad (18)$$

Keterangan:  $A = \text{Heat transfer surface (ft}^2\text{)}$   
 $N_T = \text{Temperature differences at the hot terminals } (^{\circ}\text{F})$   
 $L = \text{Tube length (ft)}$   
 $a'' = \text{External surface per linear foot (ft)}$   
 $F_C = \text{Fraksi caloric}$   
 $U_D = \text{Overall Heat Transfer Coefficient Design (Btu/jam.ft}^2\text{.}^{\circ}\text{F)}$   
 $Q = \text{Heat flow (Btu/jam)}$

$$\Delta T_{LMTD} = \text{Log Mean Temperature Difference}$$

l. Mencatat Data *Shell* yang Diketahui

Data *shell* yang dicatat meliputi IDs (*Internal Diameter of Shell*), n' (jumlah lewatan *shell*), B (jarak baffle), dan C' (jarak antara dinding).

m. Evaluasi Perpindahan Panas

- Menghitung  $N_{Re}$

Pada sisi *shell*:

$$a_s = \frac{ID_s \times C' \times B}{n' \times P_t \times 144} \quad (19)$$

$$G_s = \frac{m}{a_s} \quad (20)$$

$$N_{Re} = \frac{G_s \times D_e}{\mu \times 2,42} \quad (21)$$

Pada sisi *tube*:

$$a_T = \frac{N_t \times a'}{n \times 144} \quad (22)$$

$$G_T = \frac{m}{a_T} \quad (23)$$

$$N_{Re} = \frac{G_T \times D_i}{\mu \times 2,42} \quad (24)$$

Keterangan:

$a_s$	= Flow area <i>shell</i> (ft <sup>2</sup> )
$a_t$	= Flow area <i>tube</i> (ft <sup>2</sup> )
$ID_s$	= <i>Internal Diameter of shell</i> (in)
$C'$	= Jarak antara dinding (in)
$B$	= Jarak <i>baffle</i> (in)
$P_t$	= <i>Pitch tube</i>
$N_t$	= Jumlah <i>tube</i>
$M$	= laju alir massa fluida (lb/jam)
$n$	= Jumlah lewatan <i>shell</i>
$n'$	= Jumlah lewatan <i>tube</i>
$G_s$	= <i>Mass velocity</i> di <i>shell</i> (lb/jam.ft <sup>2</sup> )
$G_T$	= <i>Mass velocity</i> di <i>tube</i> (lb/jam.ft <sup>2</sup> )

- Mencari faktor panas  $J_H$  dari Fig. 28 untuk Pertasol  $C_B$  dan Fig. 24 untuk air [7]

- Menentukan nilai  $h_o$ ,  $h_i$ , dan  $h_{io}$

Pada sisi *shell*:

$$h_o = J_H \times \frac{k}{D_e} \times \left(\frac{C_p \mu}{k}\right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (25)$$

Pada sisi *tube*:

$$h_i = J_H \times \frac{k}{D_i} \times \left(\frac{C_p \mu}{k}\right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (26)$$

$$h_{io} = h_i \times \frac{ID}{OD} \quad (27)$$

- Menentukan nilai  $t_w$  untuk sisi *shell* dan *tube* untuk mendapatkan nilai dari

$\mu_w$ :

$$t_w = t_c + \frac{h_o}{h_{io} + h_o} \times (T_c - t_c) \quad (28)$$

$$\phi = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (29)$$

Keterangan:  $h_o$  = *Heat-transfer coefficient for outside* (Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F)

$h_i$	= Heat-transfer coefficient for inside (Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F)
$h_{i_o}$	= Nilai $h_i$ bila mengacu pada <i>tube outside diameter</i> (Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F)
$J_H$	= Faktor dari <i>heat transfer</i>
$k$	= Konduktivitas termal (Btu/jam.ft <sup>2</sup> .(F/ft))
$\mu$	= Viskositas (cps)
$\mu_w$	= Viskositas pada temperatur dinding <i>tube</i> (cps)
ID	= <i>Inside diameter</i> dari <i>tube</i> (ft)
OD	= <i>Outside diameter</i> dari <i>tube</i> (ft)
$t_w$	= Temperatur dinding <i>tube</i> (°F)
$t_c$	= <i>Caloric temperature</i> dari <i>cold fluid</i> (°F)
$T_c$	= <i>Caloric temperature</i> dari <i>hot fluid</i> (°F)
$\phi$	= Rasio dari viskositas ( $\mu / \mu_w$ ) <sup>0,14</sup>

- Menghitung koefisien perpindahan panas

n. Menghitung *Clean Overall Coefficient* ( $U_C$ )

$$U_C = \frac{h_o \times h_{i_o}}{h_o + h_{i_o}} \quad (30)$$

Keterangan:

$h_o$	= <i>Heat-transfer coefficient for outside</i> (Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F)
$h_i$	= <i>Heat-transfer coefficient for inside</i> (Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F)
$h_{i_o}$	= Nilai $h_i$ bila mengacu pada <i>tube outside diameter</i> (Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F)
$U_C$	= <i>Clean Overall Coefficient</i> (Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F)

o. Menghitung *Dirt Factor* ( $R_D$ )

$$R_D = \frac{U_C - U_D}{U_C \times U_D} \quad (31)$$

Keterangan:

$U_C$	= <i>Clean Overall Coefficient</i> (Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F)
$U_D$	= <i>Overall Heat Transfer Coefficient Design</i> (Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F)

p. Menghitung *Pressure Drop* ( $\Delta P$ )

Pada sisi *shell*:

$$N + 1 = \frac{12 \times L}{B} \quad (32)$$

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times ID_s \times (N+1)}{5,22 \times 10^{10} \times D_e \times s \times \phi_s} \quad (33)$$

Pada sisi *tube*:

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_T^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times D_i \times s \times \phi_T} \quad (34)$$

$$\Delta P_n = \frac{4n}{s} \times \frac{v^2}{2g} \quad (35)$$

$$\Delta P_{total} = \Delta P_t + \Delta P_n \quad (36)$$

Keterangan:

N	= Jumlah <i>baffle</i> pada sisi <i>shell</i>
L	= Panjang <i>tube</i> (ft)
B	= Jarak <i>baffle</i> (in)
f	= Faktor friksi (sq ft)
$G_s$	= Laju alir massa pada <i>shell</i> (lb/jam.ft <sup>2</sup> )
$G_T$	= Laju alir massa pada <i>tube</i> (lb/jam.ft <sup>2</sup> )
$d_e$	= <i>Equivalent diameter</i> untuk <i>heat transfer</i> (ft)
s	= <i>Specific gravity</i>

- $\phi_s$  = Rasio dari viskositas pada sisi *shell* ( $\mu/ \mu_w$ )<sup>0,14</sup>  
 $\phi_T$  = Rasio dari viskositas pada sisi *tube* ( $\mu/ \mu_w$ )<sup>0,14</sup>  
 n = Jumlah lewatan *tube*  
 v = Velocity (fps)  
 g = Percepatan gravitasi (ft/s<sup>2</sup>)  
 $\Delta P_s$  = Pressure drop pada *shell* (psi)  
 $\Delta P_t$  = Pressure drop pada *tube* (psi)  
 $\Delta P_n$  = Return pressure drop (psi)  
 $\Delta P_{total}$  = Total pressure drop pada *tube* (psi)

q. Menghitung Efisiensi dan Losses Kalor

$$Efisiensi (\eta) = \frac{Q_T}{Q_S} \times 100\% \quad (37)$$

$$Losses = \frac{Q}{Q_S} \times 100\% \quad (38)$$

- Keterangan:  $Q_s$  = Heat flow pada *shell* (Btu/jam)  
 $Q_T$  = Heat flow pada *tube* (Btu/jam)  
 Efisiensi = Efisiensi perpindahan kalor (%)  
 Losses = Kehilangan kalor (%)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Pengamatan

Tabel 1. Data spesifikasi desain Cooler-05

Cooler-05	Shell			Tube		
	Notasi	Satuan	Nilai	Notasi	Satuan	Nilai
Dimensi luar	OD <sub>s</sub>	in	47,2441	OD <sub>T</sub>	in	1,4961
Dimensi dalam	ID <sub>s</sub>	in	47,0583	ID <sub>T</sub>	in	1,2800
Jumlah <i>baffle</i>	N	buah	4			
Jarak antar <i>baffle</i>	B	in	9			
Jumlah lewatan	n'	buah	1	n	buah	1
Panjang <i>tube</i>				L	ft	6,2336
Jumlah <i>tube</i>				N <sub>T</sub>	buah	321
BWG				BWG	-	12
<i>Pitch</i> (triangular)				P <sub>T</sub>	in	1 7/8
Jarak antar dinding <i>tube</i>				C'	in	0,5512

Tabel 2. Data pengamatan kondisi operasi *Shell* pada Cooler-05

Hari ke-	Kapasitas (L/day)	Suhu Masuk (°C)	Suhu Keluar (°C)	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )
1	14.167,5	91,7	43,8	743,05
2	13.605	95,5	44,1	760,70
3	10.774	90,8	42,8	764,63
4	7.992	94,6	40,6	760,40
5	14.966,5	95,8	42,3	763,35
Rata-rata	12.287	93,68	42,72	758,43

**Tabel 3.** Data pengamatan kondisi operasi *Tube* pada *Cooler-05*

Hari ke-	Kapasitas (L/day)	Suhu Masuk (°C)	Suhu Keluar (°C)	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )
1	38.604	32,7	36,3	1.000
2	38.604	32,8	36,6	1.000
3	38.604	32,5	37,4	1.000
4	38.604	35,6	41,1	1.000
5	38.604	35,3	41,8	1.000
Rata-rata	38.604	33,78	34,68	1.000

\*nilai dari densitas air pada *Tube* didapatkan dari data literatur.

**Tabel 4.** Hasil perhitungan untuk evaluasi kinerja *Cooler-05*

Parameter	Shell	Tube
Heat flow (Q)	42.401,2027 btu/jam	31.021,5902 btu/jam
Pressure drop ( $\Delta P$ )	0,0001 psi	0,00805 psi
Clean Overall Coefficient ( $U_c$ )	1,1932 btu/ft <sup>2</sup> .jam.°F	
Dirt Overall Coefficient ( $U_D$ )	1,1812 btu/ft <sup>2</sup> .jam.°F	
Dirt Factor ( $R_D$ )	0,0086 J.ft <sup>2</sup> .°F/btu	
Efisiensi perpindahan panas	73,16%	
Losses kalor	26,84%	

### 3.2. Pembahasan

*Cooler* merupakan salah satu alat penukar panas yang berfungsi untuk menurunkan temperatur suatu bahan proses yang berasal dari unit proses sebelumnya [3]. *Cooler* adalah alat yang berguna untuk mencegah panas berlebih (*overheating*) dengan cara mendinginkan fraksi panas menggunakan cairan pendingin, sehingga terjadi perpindahan panas dari fraksi panas ke media pendingin [1]. *Cooler* yang terdapat pada *Crude Distillation Unit* di PPSDM Migas Cepu memiliki tipe *shell and tube* yang berbentuk vertikal dengan bagian atas terbuka. *Cooler-05* berfungsi sebagai alat penukar panas yang digunakan untuk mendinginkan Pertasol C<sub>B</sub>. Prinsip kerja dari *Cooler-05* pada dasarnya sama seperti *heat exchanger*, yakni pertukaran panas antara dua fluida dengan suhu yang berbeda dimana air mengalir di dalam *tube* dan Pertasol C<sub>B</sub> mengalir pada shell hingga bersentuhan secara tidak langsung. Akibatnya, panas dari Pertasol C<sub>B</sub> dengan suhu yang lebih tinggi berpindah ke air yang memiliki suhu lebih rendah.

Berdasarkan data lapangan dan data literatur yang telah diolah melalui perhitungan, didapatkan nilai densitas Pertasol C<sub>B</sub> pada hari pertama lebih kecil dari densitas pada empat hari lainnya. Hal ini dikarenakan kapasitas (volume) dari Pertasol C<sub>B</sub> pada hari pertama lebih besar dari kapasitas pada empat hari lainnya. Densitas adalah rasio antara massa dengan volume suatu bahan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil volume suatu bahan, maka akan semakin kecil pula nilai densitas bahan tersebut [9]. Selain itu, suhu keluar dari air pendingin pada data hari keempat nilainya lebih tinggi dari suhu keluar Pertasol C<sub>B</sub> yang didinginkan. Hal ini merupakan penyimpangan dari semestinya karena seharusnya suhu keluar Pertasol C<sub>B</sub> tidak boleh lebih rendah dari suhu keluar air pendingin. Penyimpangan ini dapat terjadi karena kurang efektifnya pengukuran suhu Pertasol C<sub>B</sub> yang telah dilakukan. Pengukuran suhu Pertasol C<sub>B</sub> dilakukan secara manual menggunakan *termometer gun* sehingga hasilnya kurang akurat.

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai rata-rata panas yang dilepas oleh Pertasol  $C_B$  ( $Q_S$ ) sebesar 42.401,2027 btu/jam dan panas yang diterima oleh air ( $Q_T$ ) sebesar 31.021,5902 btu/jam. Kebutuhan air rata-rata yang digunakan untuk mendinginkan Pertasol  $C_B$  dari suhu 93,68 °C menjadi 42,72 °C adalah sebesar 38.604 L/hari dengan jumlah Pertasol  $C_B$  rata-rata sebesar 12.287 L/hari. Nilai dari  $Q_T$  dan  $Q_S$  menunjukkan bahwa air tidak dapat menerima semua panas yang dilepas oleh Pertasol  $C_B$ , hal ini disebabkan oleh panas yang dilepas ke lingkungan [10]. Besarnya persentase *heat loss* yang terjadi pada *Cooler-05* adalah sebesar 26,84%.

Sementara itu, efisiensi *Cooler-05* selama lima hari pengamatan di PPSDM Migas Cepu didapatkan sebesar 73,16%. Hal ini menunjukkan besarnya persentase panas yang dapat diserap oleh *Cooler-05*. Nilai tersebut menunjukkan efisiensi kerja pada *Cooler-05* tergolong kurang optimal. Suatu alat masih optimal untuk bekerja jika memiliki efisiensi mencapai 80% [11]. Penurunan efisiensi dari suatu alat penukar panas dapat disebabkan oleh terbentuknya kerak, korosi, kebocoran, maupun aliran fluida yang menyebabkan friksi terhadap dinding alat [12]. Selain itu, nilai efisiensi alat penukar panas dipengaruhi oleh adanya *fouling* yang terdapat di dalam alat [11]. Pengaruh nilai efisiensi pada alat juga ditentukan oleh spesifikasi alat, apakah spesifikasi alat tersebut telah mencapai desain yang paling baik dalam perpindahan panas. Dari nilai efisiensi *Cooler-05* yang didapatkan, perlu dilakukan pembersihan dan perawatan pada *Cooler-05* secara berkala untuk menjaga kinerja *Cooler-05* agar tetap beroperasi dengan baik.

Parameter selanjutnya yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja dari *Cooler-05* adalah *Dirt Factor* ( $R_D$ ). *Dirt Factor* merupakan sebuah faktor untuk mengantisipasi deposit kotoran dan kerak melalui sebuah tahanan (*resistance*) sebagai akibat gesekan antara fluida dengan dinding *tube* pada *Cooler* [13]. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai  $R_D$  sebesar 0,0086 J.ft<sup>2</sup>.°F/btu dengan nilai  $R_D$  minimal sebesar 0,008 J.ft<sup>2</sup>.°F/btu [7]. Nilai  $R_D$  hasil per penyimpangan sebesar 7% dimana toleransi selisih yang diperbolehkan maksimal sebesar 10%. Nilai  $R_D$  yang melebihi nilai  $R_D$  minimal mengindikasikan bahwa kinerja dari *Cooler-05* telah mengalami penurunan. Penyebab dari meningkatnya nilai  $R_D$  yaitu timbulnya kerak pada dinding dalam atau luar *tube* sehingga menghambat perpindahan panas yang terjadi. Selain itu, menurut [14] *fouling* juga dapat disebabkan oleh adanya karat pada logam *tube* akibat terjadinya korosi. Dapat disimpulkan bahwa jika nilai  $R_D$  perhitungan lebih dari nilai  $R_D$  minimal, maka suatu alat penukar panas tidak dapat memenuhi kebutuhan transfer panas yang sama sehingga perlu dilakukan pembersihan [7].

Nilai dari *Dirt Factor* ( $R_D$ ) sendiri bergantung pada nilai *Clean Overall Coefficient* ( $U_C$ ) dan *Dirt Overall Coefficient* ( $U_D$ ). *Clean Overall Coefficient* ( $U_C$ ) merupakan koefisien perpindahan panas menyeluruh pada kondisi awal yaitu dalam keadaan masih bersih, sedangkan *Dirt Overall Coefficient* ( $U_D$ ) merupakan koefisien perpindahan panas menyeluruh setelah terjadi pengotoran pada alat penukar panas [15]. Secara teoritis, nilai  $U_C$  harus lebih besar dari nilai  $U_D$ . Hal ini dikarenakan perpindahan panas saat *Cooler* masih dalam keadaan bersih lebih baik daripada perpindahan panas setelah terjadi pengotoran pada *Cooler* [6]. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa nilai  $U_C$  adalah 1,1932 btu/ft<sup>2</sup>.jam.°F dan nilai  $U_D$  sebesar 1,1812 btu/ft<sup>2</sup>.jam.°F. Nilai ini menunjukkan

bahwa perhitungan sudah sesuai dengan teori yang ada yaitu nilai  $U_C$  lebih besar dari nilai  $U_D$ .

*Pressure drop* ( $\Delta P$ ) merupakan suatu peristiwa menurunnya tekanan dari satu titik ke titik lainnya dalam suatu pipa atau tabung. *Pressure drop* ( $\Delta P$ ) dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain faktor gesekan, diameter pipa, panjang pipa, temperatur aliran fluida, dan kecepatan aliran fluida sehingga *pressure drop* memiliki peranan penting dalam kinerja suatu alat penukar panas [16]. Terjadinya peningkatan *pressure drop* berkaitan dengan adanya akumulasi kotoran di dalam tube atau ruang pada alat penukar panas [17]. Peningkatan *pressure drop* pada alat penukar panas juga dapat disebabkan oleh pengaturan jarak *baffle* yang kurang memadai [18]. Jarak *baffle* tersebut mempengaruhi pola pembentukan deposit padatan pada titik-titik tertentu sehingga menyebabkan peningkatan pada *pressure drop* [19]. Berdasarkan hasil evaluasi melalui parameter *pressure drop* ( $\Delta P$ ) pada *Cooler-05*, diketahui bahwa *pressure drop* ( $\Delta P$ ) pada sisi *shell* sebesar 0,0001 psi dan pada sisi *tube* sebesar 0,00805 psi. Berdasarkan [7], menyatakan bahwa nilai *pressure drop* ( $\Delta P$ ) yang diperbolehkan untuk fluida yang diproses berupa *liquid* adalah sebesar 10 psi. Dapat disimpulkan bahwa besar penurunan tekanan pada *Cooler-05* masih dalam batas wajar dan *Cooler-05* dinyatakan masih layak beroperasi.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *Cooler-05* masih layak beroperasi walaupun mengalami penurunan dalam kinerjanya. Hal ini dapat dilihat dari nilai *pressure drop* pada sisi *shell* sebesar 0,0001 psi dan pada sisi *tube* sebesar 0,00805 psi yang masih di bawah batas. Didapatkan pula nilai *Dirt Factor* ( $R_d$ ) sebesar 0,0086  $J.ft^2.^{\circ}F/Btu$  dengan selisih 7% dari  $R_d$  minimal, dimana toleransi selisih yang diperbolehkan maksimal adalah sebesar 10%. Selain itu, efisiensi perpindahan panas pada *Cooler-05* didapatkan sebesar 73,16% dengan *losses* sebesar 26,84%.

Dari hasil evaluasi ini, dapat disarankan agar dilakukan perawatan dan pembersihan pada *Cooler-05* secara berkala untuk menjaga kinerja *Cooler-05* agar tetap beroperasi dengan baik. Faktor-faktor yang menyebabkan penurunan kinerja dari *Cooler-05* harus tetap diwaspadai karena dapat menimbulkan kerugian dalam jangka waktu yang lama. Selain itu, penambahan indikator suhu pada *Cooler-05* sangat diperlukan untuk memudahkan dalam pembacaan suhu dan aktivitas kontrol selama proses produksi minyak bumi. Saran yang dapat ditambahkan untuk penelitian selanjutnya berupa penambahan variabel penelitian seperti efektivitas LMTD sehingga dalam perhitungan evaluasi kinerja *Cooler-05* ini menjadi lebih akurat dan mendalam.

#### REFERENSI

- [1] T. M. Sitompul, "Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)". Jakarta Utara: PT Raja Grafindo Persada, 1993.
- [2] M. Ayana, "Laporan Praktik Kerja Lapangan Evaluasi Kinerja Cooler (CL-10) Pada Unit Kilang Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi Cepu," Laporan Praktik Kerja Lapangan, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2021.

- [3] D. P. Gulischa, "Evaluasi Kinerja Unit Cooler (CL-3) Pada Proses Crude Distillation Kilang Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM Migas), Cepu Jawa Tengah," Laporan Praktik Kerja Lapangan, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Pertamina, Jakarta Selatan, 2021.
- [4] A. N. dan N. T. Anfia, "Efisiensi Kinerja Cooler-11 Tipe Shell and Tube Pada Unit Kilang di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi," Laporan Praktik Kerja Lapangan, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Malang, 2021.
- [5] P. Nurhasanah dan D. C. Pratiwi, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger 05 (HE-05) Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi Cepu (PPSDM MIGAS Cepu)," *Majalah Ilmiah Swara Patra*, vol. 12, no. 2, hal. 5-11, 2022.
- [6] M. Rais Zain, A. Mustain Jurusan Teknik Kimia, P. Negeri Malang, dan J. Soekarno Hatta No, "Evaluasi Efisiensi Heat Exchanger (HE-4000) Dengan Metode Kern," vol. 6, no. 2, hal. 415–421, 2020.
- [7] D. Q. Kern, "Process Heat Transfer". New York: *Mc Graw Hill International Book Co. Inc*, 1965.
- [8] S. Agus, M. Hatta, M. Si, dan I. Sekartedjo, "Crude Oil Specific Gravity Sensor Design Using Polymer Optical Fiber With Structural Imperfections," *Second International Seminar on Photonics, Optics, and Its Applications (ISPhOA 2016)*, vol. 10150, no. 2, hal. 8-12, 2016.
- [9] I. Permanadewi, A. C. Kumoro, D. H. Wardhani, dan N. Aryanti, "Analysis of Temperature Regulation, Concentration, and Stirring Time at Atmospheric Pressure to Increase Density Precision of Alginate Solution," *TEKNIK*, vol. 42, no. 1, hal. 29–34, 2021.
- [10] H. L. Amrullah dan C. I. Walhawanadana, "Efisiensi Heat Exchanger (HE-002) Pada Crude Distillation Unit di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM Migas)," *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi Migas Zoom*, vol. 4, no.1, hal. 27-32, 2022.
- [11] P. Coniwanti, F. Zamali, dan V. L. Rance, "Evaluasi Efisiensi Heat Exchanger Di Refinery Plant Industri Minyak Goreng," *Jurnal Teknik Kimia Unsri*, vol. 25, no. 1, hal 18-20, 2019.
- [12] B. Setyoko, "Kinerja Heat Exchanger Dengan Metode Fouling Faktor," *TEKNIK*, vol. 29, no. 2, hal. 148-153, 2008.
- [13] T. Yasunaga, T. Noguchi, T. Morisaki, dan Y. Ikegami, "Basic Heat Exchanger Performance Evaluation Method On OTEC," *Journal of Marine Science Engineering*, vol. 6, no. 2, hal. 1-12, 2018.
- [14] R. Dwicahyo Putro Nugroho dkk., "Evaluasi Faktor Kekotoran Pada Heat Exchanger-03 Crude Distillation Unit Di Ppsdm Migas Cepu," *Distilat*, vol. 8, no. 1, hal. 64–71, 2021.
- [15] Moch. N. M. Asyidiki, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger-02 (HE-02) Pada Unit Kilang Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi," Skripsi, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur. Surabaya, 2020.
- [16] A. Naufal, A. Ghifary, A. N. Hasya, T. Riadz, dan L. Cundari, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger E-401 Pada Unit Pe3 Pt. Lotte Chemical Titan Nusantara," *Jurnal Sains dan Teknologi Reaksi*, vol. 20, no. 1, hal. 1-16, 2022.

- [17] R. Jalu Prabaswara, S. Rulianah, dan C. Sindhuwati, "Evaluasi Pressure Drop Heat Exchanger-03 Pada Crude Distillation Unit PPSDM Migas Cepu," vol. 7, no. 2, hal. 505–513, 2021.
- [18] J. Coelho Lemos, A. Luiz Hemerly Costa, dan M. J. Bagajewicz, "Linear Method For The Design Of Shell And Tube Heat Exchangers Including Simple Fouling Modeling." Biological and Materials Engineering, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma USA.
- [19] A. A. Abd, M. Q. Kareem, dan S. Z. Naji, "Performance Analysis Of Shell And Tube Heat Exchanger: Parametric Study," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 12, no.1, hal. 563–568, 2018.