

ANALISIS KINERJA HEAT EXCHANGER-02 PADA CRUDE DISTILLATION ATMOSPHERIC UNIT PPSDM MIGAS CEPU

Kharistya Indah Putri¹, Anisa Nurul Izza¹, Ariani¹, Dwi Purwanto²

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

² PPSDM Migas Cepu, Jl. Sorogo No. 1, Bora 58315, Indonesia

kharistyaindah@gmail.com ; [ariani@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Pada industri pengolahan *crude oil*, menjaga kinerja perpindahan panas yang optimal sangat penting untuk memastikan efisiensi energi dan kestabilan operasi. *Heat exchanger* (HE) merupakan komponen penting dalam proses pengolahan *crude oil*, khususnya pada tahap pemanasan awal sebelum *crude oil* masuk ke dalam *furnace*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja HE-02 tipe *shell and tube* yang digunakan pada *Crude Distillation Atmospheric Unit* di PPSDM Migas Cepu serta memberikan rekomendasi untuk pengoptimalan alat berdasarkan hasil analisis yang diperoleh. Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter efisiensi perpindahan panas, *fouling factor* (Rd), dan *pressure drop*. Hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi perpindahan panas HE-02 hanya mencapai 66,18%, lebih rendah dari standar minimum 80%, dengan nilai Rd sebesar 0,294 hr.ft².°F/Btu yang jauh melebihi batas maksimum 0,005 hr.ft².°F/Btu. Penurunan kinerja ini disebabkan oleh pembentukan kerak dari endapan parafin dan senyawa sulfur dalam *crude oil*. Meskipun demikian, sistem masih layak secara hidraulik karena *pressure drop* yang didapatkan sebesar 0,0104 psi di sisi *shell* dan 0,002567 psi di sisi *tube*, di mana hal ini sudah di bawah batas maksimal yang diizinkan yaitu 10 psi. Diperlukan tindakan preventif berupa pembersihan rutin dan evaluasi operasional untuk memulihkan performa alat dan menjaga efisiensi proses secara berkelanjutan.

Kata kunci: efisiensi, fouling factor, heat exchanger, kerak, pressure drop

ABSTRACT

In crude oil processing industries, maintaining optimal heat transfer performance is essential to ensure energy efficiency and stable operation. The heat exchanger is a critical component in the crude oil processing system, particularly during the initial heating stage before the crude oil enters the furnace. This study aims to evaluate the performance of HE-02, a shell and tube type, used in the Crude Distillation Atmospheric Unit at PPSDM Migas Cepu, and to provide recommendations for optimizing the equipment based on the analysis results. The evaluation was carried out using parameters such as heat transfer efficiency, fouling factor (Rd), and pressure drop. The analysis revealed that the heat transfer efficiency of HE-02 reached only 66.18%, which is below the minimum standard of 80%, with a Rd of 0.294 hr.ft².°F/Btu, significantly exceeding the maximum allowable value of 0.005 hr.ft².°F/Btu. This performance decline is attributed to the formation of deposits from paraffin and sulfur compounds present in the crude oil. Even so, the system is still considered hydraulically acceptable with a pressure drop of just 0.0104 psi on the shell side and 0.002567 psi on the tube side, which are both well below the maximum limit of 10 psi. Preventive measures such as routine cleaning and operational evaluations are necessary to restore the equipment's performance and maintain long-term process efficiency.

Keywords: efficiency, fouling factor, heat exchanger, scale, pressure drop

Corresponding author: Ariani

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: ariani@polinema.ac.id



1. PENDAHULUAN

Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi Cepu (PPSDM Migas Cepu) adalah salah satu instansi yang mengolah *crude oil* dengan kapasitas mencapai 3.800 barrel per hari. Proses pengolahan *crude oil* dilakukan melalui *Crude Distillation Atmospheric Unit* (CDU), menghasilkan produk seperti pertasol CA, pertasol CB, pertasol CC, solar, dan residu. Pada tahap awal pengolahan, diperlukan sebuah alat untuk menaikkan suhu *crude oil* sebelum memasuki *furnace*. Pemanasan awal ini bertujuan mengurangi beban kerja *furnace* selama proses berlangsung dan alat yang cocok digunakan untuk menaikkan suhu *crude oil* adalah *heat exchanger* [1].

Heat exchanger (HE) merupakan alat yang berperan sebagai media pemindah panas antar fluida dengan memanfaatkan perbedaan suhu, sehingga proses perpindahan energi dapat berlangsung tanpa terjadi pencampuran fluida [2]. HE yang digunakan di kilang PPSDM Migas Cepu berupa HE tipe *shell and tube* yaitu salah satu jenis alat penukar panas yang secara konstruksi ditandai dengan adanya kumpulan pipa (*tube*) yang dipasang di dalam sebuah tabung berbentuk silinder (*shell*) [3]. Fluida di dalam *tube* memiliki suhu yang berbeda dengan fluida di dalam *shell*, sehingga terjadi perpindahan panas antara fluida yang mengalir di dalam *tube* dan di dalam *shell* [4].

PPSDM Migas Cepu memiliki 5 unit HE, di mana pada HE-01, HE-02, dan HE-03 memanfaatkan solar sebagai fluida panas, sedangkan pada HE-04 dan HE-05 menggunakan residu sebagai fluida panas. Salah satu unit yang menjadi fokus utama dalam evaluasi kinerja adalah HE-02, karena alat ini berperan penting dalam proses pemanasan awal *crude oil* sebelum masuk ke *furnace*. Untuk memastikan proses perpindahan panas berjalan optimal, diperlukan analisis terhadap kinerja HE-02 yang meliputi efisiensi perpindahan panas, *fouling factor* (Rd) dan *pressure drop*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Faiz, dkk. (2024) menunjukkan adanya penurunan efisiensi HE-02 di PPSDM Migas Cepu hingga mencapai nilai 36% dengan nilai Rd sebesar 0,154 hr.ft².°F/Btu, di mana hal ini sangat melebihi batas maksimum yang diizinkan yaitu 0,005 hr.ft².°F/Btu [5]. Hal yang serupa dialami oleh Dardiri dan Sudarni (2023) dalam penelitiannya yang menunjukkan hasil bahwa HE-02 di PPSDM Migas Cepu memiliki nilai Rd sebesar 0,417 hr.ft².°F/Btu yang melebihi batas maksimum [6]. Penurunan efisiensi HE dan tingginya nilai Rd ini diakibatkan oleh usia peralatan yang sudah cukup tua dan tidak mendapat perawatan yang baik, sehingga kinerja HE-02 akan turun seiring berjalannya waktu. Turunnya kinerja alat juga dapat disebabkan oleh terbentuknya *fouling*, korosi pada permukaan dinding, kebocoran di area dinding maupun insulasi, serta peningkatan friksi dalam sistem [7].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja HE-02 di PPSDM MIGAS Cepu menggunakan parameter efisiensi perpindahan panas, nilai Rd, dan *pressure drop*, serta memberikan rekomendasi untuk pengoptimalan alat berdasarkan hasil analisis yang diperoleh. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat berkontribusi pada peningkatan kinerja operasional HE-02 di *Crude Distillation Atmospheric Unit* PPSDM Migas Cepu.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan observasi langsung terhadap kondisi operasional HE-02 pada *Crude Distillation Atmospheric Unit* di PPSDM Migas Cepu. Adapun tahapan penelitian yang dilaksanakan yaitu sebagai berikut:

2.1. Teknik Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan data sekunder yang berkaitan dengan HE-02 di PPSDM Migas Cepu. Data primer mencakup kondisi operasi, seperti laju alir fluida serta suhu fluida pada saat masuk dan keluar proses. Pencatatan data primer dilakukan secara rutin selama lima hari berturut-turut, kemudian hasil pengamatan tersebut akan dirata-ratakan sebagai dasar dalam perhitungan. Sementara itu, data sekunder berupa spesifikasi HE-02 yang diperoleh dari *Distributed Control System Room* di *Crude Distillation Atmospheric Unit* PPSDM Migas Cepu. Data sekunder lainnya yang didapatkan dari berbagai literatur terkait analisis kinerja HE.

2.2. Metode Perhitungan

Analisis kinerja HE-02 di PPSDM Migas Cepu dilakukan dengan menggunakan perhitungan pada Kern (1965) [8]. Berikut merupakan tahapan perhitungannya:

- a. Penentuan Laju Alir Massa (W)

$$W = V \times \rho \quad (1)$$

Keterangan:

V = Laju alir volumetrik (ft³/jam)

ρ = Densitas fluida (lb/ft³)

- b. Perhitungan Neraca Panas

$$Q_1 = Q_2 \quad (2)$$

$$W_s \times C_p \times (T_1 - T_2) = W_t \times c_p \times (t_2 - t_1) \quad (3)$$

Keterangan:

Q_1 = Jumlah panas yang dipindahkan oleh fluida panas (Btu/jam)

Q_2 = Jumlah panas yang dipindahkan oleh fluida dingin (Btu/jam)

W_s = Laju alir fluida panas (lb/jam)

W_t = Laju alir fluida dingin (lb/jam)

C_p = *Specific heat* fluida panas (Btu/lb)

T_1 = Suhu fluida panas masuk (°F)

T_2 = Suhu fluida panas keluar (°F)

t_1 = Suhu fluida dingin masuk (°F)

t_2 = Suhu fluida dingin keluar (°F)

- c. Penentuan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_h - \Delta t_c}{\log\left(\frac{\Delta t_h}{\Delta t_c}\right)} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\log\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \quad (4)$$

$$\Delta t = \Delta T_{LMTD} \times f_T \quad (5)$$

Keterangan :

t_h = Suhu paling tinggi pada kedua fluida (°F)

t_c = Suhu paling rendah pada kedua fluida (°F)

f_T = *Correction Factor* (didapatkan dari *figure 18* [8])

- d. Penentuan *Caloric Temperature*

Fluida panas (T_c) :

$$T_c = T_2 + (fc \times (T_1 - T_2)) \quad (6)$$

Fluida dingin (t_c) :

$$t_c = t_1 + (fc \times (t_2 - t_1)) \quad (7)$$

Keterangan:

T_c = Caloric temperature fluida panas (°F)

t_c = Caloric temperature fluida dingin (°F)

fc = Caloric temperature factor

T_1 = Suhu fluida panas masuk (°F)

T_2 = Suhu fluida panas keluar (°F)

t_1 = Suhu fluida dingin masuk (°F)

t_2 = Suhu fluida dingin keluar (°F)

e. Penentuan *Flow Area* (a)

$$\text{Shell : } a_s = \frac{ID_s \times C' \times B}{P_t \times 144} \quad (8)$$

$$\text{Tube : } a_t = \frac{N_t \times A't}{n \times 144} \quad (9)$$

Keterangan:

a_s = Flow area shell (ft²)

a_t = Flow area tube (ft²)

ID_s = Diameter dalam shell (in)

C' = Tube clearance (in)

B = Baffle spacing (in)

P_t = Pitch tube (in)

N_t = Jumlah tube

$A't$ = Flow area per tube (in²)

n = Jumlah pass tube side

f. Penentuan *Mass Velocity* (G)

$$\text{Shell : } G_s = \frac{W_s}{a_s} \quad (10)$$

$$\text{Tube : } G_t = \frac{W_t}{a_t} \quad (11)$$

Keterangan:

$G_{s/t}$ = Mass velocity per cross section area shell/tube (lb/jam.ft²)

$W_{s/t}$ = Laju alir fluida panas dalam shell/tube (lb/jam)

$a_{s/t}$ = Flow area shell/tube side (ft²)

g. Penentuan Koefisien Perpindahan Panas Fluida

$$\text{Shell : } \frac{h_o}{\phi_s} = jH \frac{k}{De} \left(\frac{c_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

$$\text{Tube : } \frac{h_i}{\phi_t} = jH \frac{k}{ID_t} \left(\frac{c_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (13)$$

Keterangan:

$h_{o/i}$ = Koefisien perpindahan panas di *shell/tube* (Btu/jam. ft²°F)

jH = Faktor perpindahan panas

C_p = *Specific heat* fluida (Btu/lb)

k = *Thermal Conductivity* fluida (Btu/jam.ft)

$\phi_{s/t}$ = Viskositas rasio fluida di *shell/tube*

- h. Penentuan Koefisien Transfer Panas Bagian *Shell* (h_o) dan *Tube* (h_{io})

$$\text{Shell : } h_o = \frac{h_o}{\phi_s} \times \phi_s \quad (14)$$

$$\text{Tube : } \frac{h_{io}}{\phi_t} = \frac{h_i}{\phi_t} \times \frac{ID}{OD} \quad (15)$$

$$h_{io} = \frac{h_i}{\phi_t} \times \phi_t \quad (16)$$

- i. Penentuan Nilai *Clean Overall Heat transfer Coefficient* (U_c)

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \quad (17)$$

- j. Penentuan Nilai *Design/Dirty Overall Coefficient* (U_D)

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

- k. Penentuan Nilai R_d

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \quad (19)$$

- l. Penentuan Nilai Efisiensi Alat (η)

$$\eta = \frac{Q_t}{Q_s} \times 100\% \quad (20)$$

Keterangan:

Q_s = Jumlah panas yang dipindahkan pada *shell* (Btu/jam)

Q_t = Jumlah panas yang dipindahkan pada *tube* (Btu/jam)

- m. Perhitungan *Pressure drop*

- a) *Shell side* :

$$\text{Pressure drop Shell : } \Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times ID_s \times (N+1)}{5,22 \times 10^{10} \times De \times Sg_s \times \phi_s} \quad (21)$$

Keterangan :

f = *Friction factor* (ft²/in) (Diperoleh dari *figure 29* [8])

G_s = *Mass velocity per cross section area shell* (lb/jam.ft²)

L = Panjang (ft)

$N + 1$ = *Number of Crosses*

De = *Diameter ekuivalen* (ft)

Sg_s = *Specific gravity* pada *shell*

ϕ_s = Viskositas rasio fluida di *shell*

b) *Tube side*

$$\text{Pressure drop Tube : } \Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times ID_t \times Sg_t \times \phi_t} \quad (22)$$

Keterangan :

 f = Friction factor (ft²/in) (Diperoleh dari figure 28 [8]) G_t = Mass velocity per cross section area tube (lb/jam.ft²) L = Panjang (ft) n = Jumlah *passes* Sg_t = Specific gravity pada tube ϕ_t = Viskositas rasio fluida di tubec) *Return pressure drop* (ΔP_r)

$$\Delta P_r = \frac{4 \times n \times v^2}{Sg_t \times 2 \times G_t} \quad (23)$$

Keterangan:

 n = Jumlah *passes* v = velocity (ft/jam) Sg_t = Specific Gravity fluida dalam tube G_t = Mass velocity per cross section area tube (lb/jam.ft²)d) *Total pressure drop* (ΔP_T)

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r \quad (24)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN**3.1 Hasil Pengamatan dan Perhitungan****Tabel 1.** Spesifikasi HE-02 bagian *shell*

Keterangan	Notasi	Nominal	Satuan
Diameter luar	OD _s	31,614	<i>inch</i>
Diameter dalam	ID _s	30,748	<i>inch</i>
Jarak antar <i>shell</i>	-	0,25	<i>inch</i>
Jumlah <i>baffle</i>	N	4	buah
Jarak antar <i>baffle</i>	B	23,623	<i>inch</i>
Jumlah <i>passes</i>	n	1	buah
Panjang	L	10	<i>ft</i>
<i>Pitch</i>	Pt	1,25	<i>inch</i>
Jenis fluida		Solar	

Tabel 2. Spesifikasi HE-02 bagian *tube*

Keterangan	Notasi	Nominal	Satuan
Diameter luar	OD _t	1	inch
Jumlah <i>tube</i>	N	400	buah
Jarak antar <i>tube</i>	C	0,25	inch
Dimensi tabung	BWG	14	-
Jumlah <i>passes</i>	n	1	buah
Panjang	L	10	ft
<i>Pitch</i>	Pt	1,25	inch
Jenis <i>pitch</i>		Square	
Jenis fluida		Crude oil	

Tabel 3. Data kondisi operasi aktual HE-02 bagian *shell*

Suhu masuk (°C)	Suhu keluar (°C)	Laju Alir (L/Day)
108	78	165.162
100	92	166.474
120	90	182.730
126	100	169.117
120	92	176.377

Tabel 4. Data kondisi operasi aktual HE-02 bagian *tube*

Suhu masuk (°C)	Suhu keluar (°C)	Laju Alir (L/Day)
36	48	275.155
42	51	274.788
38	50	277.498
45	55	278.490
46	60	299.129

3.2 Pembahasan

Heat exchanger (HE) atau alat penukar panas merupakan perangkat yang dirancang untuk mentransfer energi panas dari satu fluida ke fluida lainnya tanpa terjadi pencampuran langsung. Dalam industri pengolahan minyak dan gas, HE memiliki peran penting dalam proses pemanasan maupun pendinginan fluida sebagai bagian dari sistem efisiensi energi [9]. HE-02 yang digunakan pada *Crude Distillation Atmospheric Unit* di PPSDM Migas Cepu termasuk tipe *shell and tube* dengan konfigurasi *1-pass shell* dan *1-pass tube*, di mana solar yang merupakan fluida panas mengalir pada bagian *shell*, sedangkan *crude oil* yang berperan sebagai fluida dingin mengalir pada bagian *tube*. HE ini berfungsi untuk menaikkan suhu *crude oil* sebelum masuk ke dalam *furnace*, sehingga energi yang dikeluarkan *furnace* akan jauh lebih sedikit [10]. Untuk mengetahui seberapa optimal HE-02 dalam menjalankan fungsinya, diperlukan evaluasi berdasarkan parameter efisiensi perpindahan panas, nilai *Rd*, dan *pressure drop*.

a. Efisiensi Perpindahan Panas

Nilai efisiensi HE-02 diperoleh dengan membandingkan jumlah panas yang dilepaskan oleh fluida panas dengan jumlah panas yang diterima oleh fluida dingin [11].

Berdasarkan hasil perhitungan, panas yang dilepaskan oleh solar sebesar 315.630,6476 Btu/jam, sedangkan panas yang diterima *crude oil* sebesar 208.894,8915 Btu/jam. Sehingga nilai efisiensi HE-02 yang diperoleh mencapai 66,18% dengan loses sebesar 33,82%. Efisiensi ini tergolong rendah karena tidak mencapai standar efisiensi minimum sebesar 80% yang umum dijadikan acuan [12]. Menurut Ghifary, dkk. (2022), salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi perpindahan panas pada HE adalah nilai R_d , ketika nilai R_d aktual lebih tinggi daripada nilai R_d desain, maka efisiensi alat akan menurun [13].

b. Fouling factor (Rd)

Fouling factor (R_d) merupakan nilai yang menunjukkan besarnya pengotoran atau penumpukan material asing pada permukaan HE dan berkontak langsung dengan fluida proses [14]. Hasil perhitungan menunjukkan nilai R_d pada HE-02 yakni sebesar 0,294 hr.ft².°F/Btu, nilai ini jauh melebihi batas maksimum yang diizinkan dalam standar operasional menurut Kern (1965) yaitu 0,005 hr.ft².°F/Btu [8]. Nilai R_d yang cukup tinggi ini mengindikasikan bahwa HE telah mengalami pengotoran serius.

Pengotor dapat berupa senyawa hidrokarbon dalam *crude oil* berupa parafin yang mengalami pengerasan akibat suhu yang turun [15]. Parafin merupakan komponen utama lilin dalam minyak mentah yang kelarutannya akan menurun apabila suhu dalam HE menurun, sehingga molekul parafin akan mulai mengendap dan membentuk kristal padat. Kristal parafin ini dapat menempel langsung pada permukaan dingin atau terbentuk di dalam fluida lalu terbawa ke dinding dan menumpuk [16].

Selain senyawa hidrokarbon, ada pula senyawa non hidrokarbon berupa sulfur yang dapat menyebabkan kerak logam [17]. Sulfur yang terkandung dalam *crude oil* mampu membentuk endapan padat karena memiliki kemampuan untuk memicu reaksi kimia kompleks pada permukaan logam, khususnya pada suhu tinggi. Reaksi ini melibatkan dekomposisi termal, oksidasi otomatis, serta pembentukan radikal bebas, yang menghasilkan senyawa tidak stabil dan berpotensi menjadi sumber *fouling* [18].

c. Pressure drop

Pressure drop merupakan penurunan tekanan yang terjadi pada aliran fluida di dalam HE akibat adanya hambatan atau gesekan antara fluida dengan dinding/saluran [19]. Meskipun nilai efisiensi menurun akibat *fouling*, analisis *pressure drop* menunjukkan bahwa tekanan yang hilang di sisi *shell* dan *tube* masih dalam batas aman. *Pressure drop* pada sisi *shell* sebesar 0,0104 psi dan pada sisi *tube* sebesar 0,002567 psi, nilai ini jauh di bawah batas maksimal tekanan yang direkomendasikan, yaitu kurang dari 10 psi untuk fluida cair [8]. Tekanan yang relatif rendah ini menunjukkan bahwa aliran fluida di dalam HE masih berlangsung dengan baik tanpa hambatan besar karena desain konfigurasi HE-02 yang terdiri dari satu lintasan *shell* dan satu lintasan *tube*. Hal ini sesuai dengan penelitian Bakrie dan Fatimura (2020) yang menyatakan bahwa semakin sedikit lintasan pada *tube*, maka nilai *pressure drop* akan semakin menurun [20].

Secara keseluruhan, meskipun aliran fluida masih dalam kondisi lancar, kinerja HE-02 menunjukkan adanya penurunan efektivitas perpindahan panas akibat *fouling*. Oleh karena itu, diperlukan tindakan preventif berupa pembersihan rutin atau modifikasi operasional untuk mengembalikan performa alat ke kondisi optimal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa HE-02 di PPSDM Migas Cepu mengalami penurunan kinerja termal, dengan efisiensi sebesar 66,18% dan nilai R_d mencapai 0,294 hr.ft².°F/Btu, yang keduanya melebihi batas standar operasional. Pembentukan kerak disebabkan oleh endapan parafin dan senyawa sulfur dalam *crude oil*. HE ini dinyatakan masih layak secara hidraulik karena *pressure drop* berada dalam batas aman, yaitu sebesar 0,0104 psi pada sisi *shell* dan 0,002567 psi pada sisi *tube*. Oleh karena itu, meskipun HE-02 masih layak digunakan dari sisi aliran, tindakan perawatan seperti pembersihan kerak secara berkala dan evaluasi kondisi permukaan perpindahan panas sangat diperlukan untuk meningkatkan kembali efisiensinya dan menjaga performa alat dalam jangka panjang.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar pengambilan data dilakukan dalam periode yang lebih panjang agar performa HE dapat diamati secara lebih akurat. Selain itu, pengujian laboratorium terhadap kerak dan korosi pada permukaan pipa juga penting dilakukan guna mengetahui karakteristik *fouling* yang terjadi, sehingga dapat menentukan tindakan apa yang harus dilakukan untuk mengurangi *fouling* tersebut.

REFERENSI

- [1] M. Alhanif, W. Frastia, M. Kamil, A. Kumoro, F. Yusupandi, E. Utami, D. Saputri, Y. Fahni, "Evaluasi Kinerja Alat Penukar Panas 11-E-107 Pada Unit Distilasi Minyak Mentah (CDU)," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 2, hal. 382–392, 2024.
- [2] G. Aprianto, B. Septian, P. D. Rey, dan A. Aziz, "Desain Dan Fabrikasi Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*) Tipe *Shell And Tube*," *Metrik Serial Teknologi dan Sains*, vol. 2, no. 1, 2021.
- [3] R. F. Rasyid, S. Prajogo, dan D. A. Syafitri, "Perancangan Heat Exchanger Tipe Shell and Tube Menggunakan Helical Baffles pada Proses Gasifikasi Batu Bara Kapasitas 30000 Nm³/h," *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung*, 2022.
- [4] F. Alidifan dan A. Chalim, "Pengaruh Variasi Suhu Dan Laju Alir Terhadap Kinerja Pertukaran Kalor Sistem Fluida Formalin-Glisерol Menggunakan *Shell and Tube Heat Exchanger* Pada Aliran Laminer," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 1, hal. 322–328, 2024.
- [5] A. F. Musyaffa, N. Hifdzia, B. R. Hutabalian, dan T. Sriana, "Optimalisasi Kinerja *Heat Exchanger*-02 Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi (PPSDM Migas Cepu)," *Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral (SNTEM)*, vol. 4, no. 1, hal. 1215–1224, 2024.
- [6] F. A. Dardiri dan D. H. A. Sudarni, "Evaluasi Kinerja *Heat Exchanger* 02 di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia (PPSDM) Minyak Dan Gas Bumi Cepu," *AMMA : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 2, no. 6, hal. 574–578, 2023.
- [7] R. J. Prabaswara, S. Rulianah, dan C. Sindhuwati, "Evaluasi Pressure Drop Heat Exchanger-03 pada Crude Distillation Unit PPSDM Migas Cepu," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 505–513, 2021.
- [8] D. Q. Kern, "Process Heat Transfer," Tokyo: McGraw-Hill Book Company, 1965.

- [9] H. S. Pratomo dan A. Chalim, "Efektivitas Alat Penukar Panas *Shell And Tube* 1-1 dengan Metanol sebagai Fluida Pemanas dan Etanol sebagai Fluida Pendingin," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 4, hal. 771–776, 2022.
- [10] R. Widiyantoro, "Heat exchanger 5 Leak Analysis in PPSDM Migas," *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi MigasZoom*, vol. 4, no. 2, Nov 2022.
- [11] C. I. Walhawanadana dan H. L. Amrullah, "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 MigasZoom*, vol. 4, no. 1, 2022.
- [12] V. F. Tasyakuranti, R. D. Chrisnandari, A. Rahmatulloh, Setiyono, dan N. Kamaliya, "Evaluasi Kinerja Cooler-05 Pada Crude Distillation Unit Di PPSDM Migas Cepu," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 9, no. 2, hal. 177–189, 2023.
- [13] A. N. 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 Reaksi (Journal of Science and Technology)*, vol. 20, no. 01, 2022.
- [14] T. E. Prasasti, S. Udjiana, dan Y. Muharram, "Evaluasi *Fouling* Faktor Terhadap Kinerja *Heat Exchanger* Pada Gas Cooler Unit Co 2 Liquid Plant," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 570–578, 2021.
- [15] A. P. Watkinson, "Deposition From *Crude oils* In *Heat Exchangers*," *The Berkeley Electronic Press*, vol. 2, no. 4, 2016.
- [16] S. G. Johnsen, S.M. Hanetho, P. Tetlie, S.T. Johansen, M.A. Einarsrud, I. Kaus, and C.R. Simon, "Studies Of Paraffin Wax Deposition On Coated And Non-Coated Steel Surfaces," *International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning*, 2011.
- [17] B. Wiyantoko, "Analisis Kimia Fmipa Kimia Petroleum Edisi 1,". *Sleman: Universitas Islam Indonesia*, 2016.
- [18] A. Kondyli dan W. Schrader, "Study of *Crude oil Fouling* from Sulfur-Containing Compounds Using High-Resolution Mass Spectrometry," *Energy and Fuels*, vol. 35, no. 16, hal. 13022–13029, 2021.
- [19] M. R. Zain dan A. Mustain, "Evaluasi Efisiensi *Heat Exchanger* (HE-4000) dengan Metode Kern," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 415–421, 2020.
- [20] M. Bakrie dan M. Fatimura, "Optimalisasi Rancangan *Shell Dan Tube Heat Exchangers*," *Jurnal Online Universitas PGRI Palembang*, vol. 2, 2020.