

OPTIMALISASI KINERJA *HEAT EXCHANGER*-02 PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM MIGAS CEPU)

Abdurrahman Faiz Musyaffa^{1*}, Naila Hifdzia¹, Bungka Rico Hutabalian¹, Tun Sriana¹

¹Teknik Pengolahan Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan Gajah Mada No 38, Blora, 58315

*E-mail: faizmusy@gmail.com

ABSTRAK

Pada sebuah pengolahan minyak dan gas, heat exchanger digunakan untuk perpindahan panas dari fluida temperatur tinggi antara fluida temperatur rendah. PPSDM Migas Cepu mempunyai 5 *Heat Exchanger* yang memiliki fungsi sebagai *pre-heater crude oil* dengan memanfaatkan panas dari produk distilasi sebelum masuk ke furnace. Salah satu heat exchanger dievaluasi kinerja lalu dioptimasi untuk meningkatkan kinerjanya yaitu HE-02 dengan menggunakan metode Kern. *Heat exchanger* ini menggunakan jenis aliran *counter current*. Hasil perhitungan evaluasi penelitian ini terdapat 5 variabel yaitu nilai efisiensi termal yang dihasilkan kelima variabel yaitu kurang dari 100%. Adapun hasil nilai *pressure drop* didapatkan pada shell dan pada tube memiliki nilai yang lebih kecil dari batas nilai maksimum yang diperbolehkan untuk beroperasi yaitu 10 psi. Sedangkan hasil nilai dirt factor didapatkan lebih dari batas nilai maksimum yang diperbolehkan beroperasi yaitu 0,005 BTU/hr.ft².°F. Dari perhitungan didapatkan nilai efisiensi dari HE-02 paling besar sebesar 36,687%. Berdasarkan perhitungan evaluasi tersebut HE-02 perlu dilakukan optimalisasi kinerja HE-02 dengan peningkatan flowrate fluida dingin yaitu crude oil. Dengan pengoptimalisasi ini didapatkan nilai efisiensi pada HE-02 meningkat menjadi 40,356%. Untuk lebih meningkatkan nilai efisiensi HE-02 diperlukan perawatan pada HE-02 dan peralatan sekitar HE-02.

Kata kunci: Optimalisasi, Metode Kern, *Heat Exchanger*, *Shell*, *Tube*

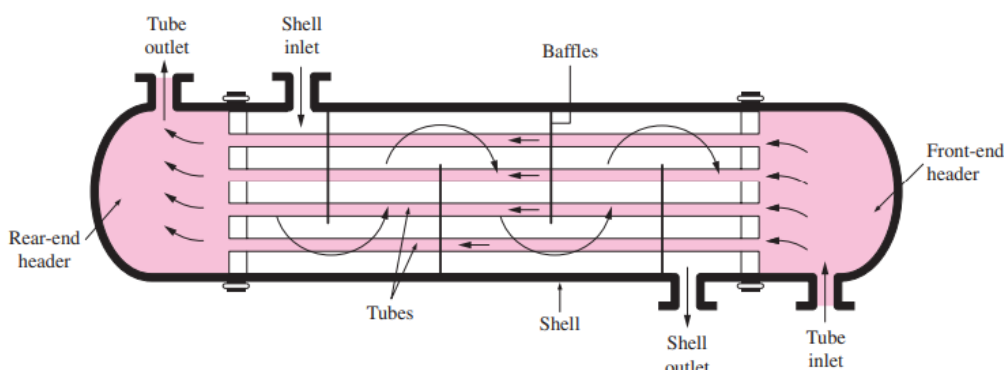
1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sangat banyak sumur minyak bumi, salah satunya di Kota Cepu, Blora, Jawa Tengah. Campuran minyak mentah (*crude oil*) yang dihasilkan dari kota ini khususnya pada PT Pertamina EP Aset 4 Field Cepu dikirim ke unit kilang PPSDM Migas Cepu untuk diolah menjadi produk, seperti Pertasol (CA, CB, dan CC), solar, dan residu. Kilang PPSDM Migas Cepu ini memiliki unit distilasi atmosferik yang dirancang untuk mengolah *crude oil* dengan *flowrate* sekitar 600 kL/hari. Selain mengolah *crude oil*, PPSDM Migas mempunyai sarana lain, yaitu sarana pendidikan, pelatihan, dan sertifikasi di bidang minyak dan gas bumi. Unit kilang PPSDM Migas Cepu mempunyai 5 alat *Heat Exchanger* yang beroperasi, dimana memiliki fungsi untuk proses *preheater crude oil*, dimana HE-01 dan HE-02 menggunakan residu sebagai fluida panas dan HE-03, HE-04, dan HE-05 menggunakan solar sebagai fluida panas. *Heat Exchanger* yang ditinjau pada unit kilang ini yaitu HE-02 [1].

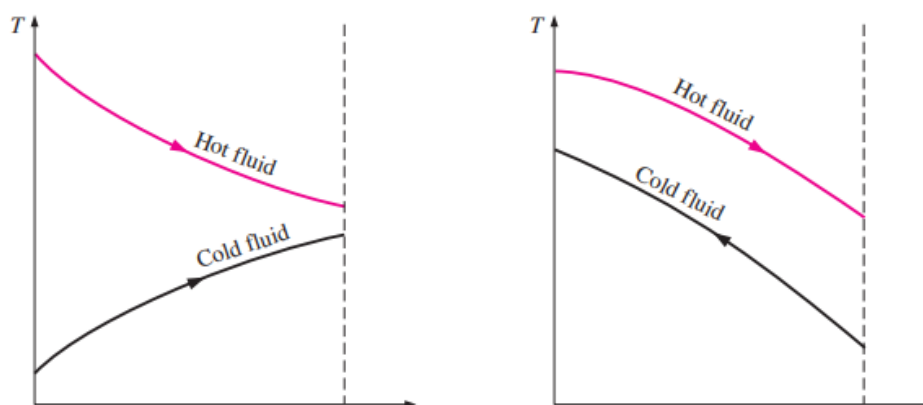
Alat yang dikenal sebagai *Heat Exchanger* dapat memungkinkan panas berpindah dari satu fluida ke fluida lain tanpa perpindahan massa sehingga digunakan sebagai pemanas dan pendingin [2][3]. Perpindahan panas terjadi ketika suhu 2 zat berbeda [4]. Alat penukar panas dikelompokkan berdasarkan arah aliran fluida, yaitu aliran paralel, *counterflow*, dan aliran silang [3]. Alat penukar panas dirancang untuk memaksimalkan perpindahan panas 2 fluida [5][6]. Agar alat ini bekerja secara efisien, kinerja dari alat agar terus dijaga [7]. Desain *Heat Exchanger* beroperasi sesuai kebutuhan [8]. Fluida yang tidak memenuhi persyaratan alat akan mengotori, lalu berubah menjadi kerak atau *scale* dan mengurangi efektivitas alat [9].

Pemilihan maupun pemakaian alat penukar panas di kilang pada umumnya berdasarkan perhitungan desain ekonomis, fungsi dan kemudahan dalam pemeliharaan. Desain konstruksi alat penukar panas menentukan bentuk fisik alat penukar panas. Berbagai macam bentuk fisik alat penukar panas didasarkan pada proses yang terjadi didalamnya, dimana umumnya terdiri dari *shell* yang didalamnya berisi beberapa *tube*. Susunan *tube* di dalam *shell* bermacam-macam berdasarkan pertimbangan faktor kekotoran dan kemudahan dalam perawatan. Proses pengolahan migas termasuk proses perpindahan panas di dalamnya, merupakan proses yang cukup kompleks dan mahal. Karena itu pemilihan alat penukar panas mempunyai fungsi khusus sesuai dengan jenisnya dan mengarah pada ekonomis [10].

Jenis *heat exchanger* yang paling umum digunakan dalam aplikasi industri adalah *shell and tube*, yang ditunjukkan pada Gambar 1. Perpindahan panas terjadi ketika satu fluida mengalir di dalam *tube* sementara fluida lainnya mengalir di luar *tube* pada *shell*. *Baffle* pada umumnya ditempatkan di dalam *shell* untuk memaksa fluida sisi *shell* mengalir dengan laju alir yang tinggi saat melintasi *shell* untuk meningkatkan perpindahan panas, dan juga sebagai penyangga *tube* di dalam *shell* dengan jarak yang seragam. Jenis *heat exchanger* yang paling sederhana terdiri dari dua aliran dengan diameter berbeda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dua jenis aliran *heat exchanger* yaitu terdapat aliran *co-current* dimana jenis ini cairan panas dan dingin memasuki alat di ujung yang sama dan bergerak ke arah yang sama, sedangkan dalam aliran *counter current* cairan panas dan dingin memasuki *heat exchanger* secara berlawanan [11].



Gambar 1. *Shell and Tube Heat Exchanger*



Gambar 2. Gambaran Umum *Shell and Tube Heat Exchanger*

Untuk membuat alat *heat exchanger* memiliki proses perpindahan panas yang efisien. Maka dari itu diperlukan evaluasi pada alat *heat exchanger* untuk mengetahui efisiensi dari alat *heat exchanger*. Dalam mengevaluasi suatu alat *heat exchanger* dilakukan didapat dari hasil

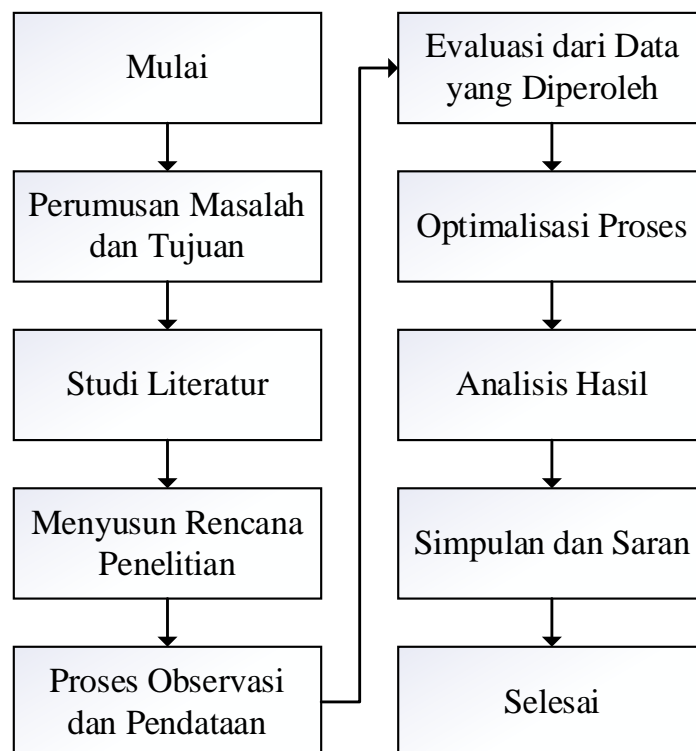
perhitungan untuk mengetahui beban panas (Q) yang digunakan, nilai *fouling factor* (R_d) untuk mengetahui kerak di komponen alat, *pressure drop* (ΔP) yang terjadi pada alat, dan efisiensi alat. Perhitungan disusun dengan metode Kern pada buku "Process Heat Transfer DQ Kern" [12].

Setelah melakukan evaluasi, diperlukan optimalisasi agar menambah efisiensi alat *heat exchanger*. Optimasi *heat exchanger* adalah proses untuk meningkatkan efisiensi dan performa *heat exchanger*, yang merupakan perangkat yang digunakan untuk mentransfer panas antara dua atau lebih fluida. Optimasi ini bertujuan untuk mencapai efisiensi maksimal dengan biaya operasional dan investasi yang minimal.

Penelitian ini didasarkan pada penelitian sebelumnya oleh Hendri (2023) yang menunjukkan optimasi kinerja perpindahan panas alat *plate heat exchanger* pada proses pemurnian *glycerin water* dengan meningkatkan *flowrate* aliran fluida [13]. Namun, penelitian ini memperluas cakupan dengan mengumpulkan 4 variabel untuk mengetahui hubungan *flowrate* yang berbeda-beda dengan parameter lainnya.

2. METODE

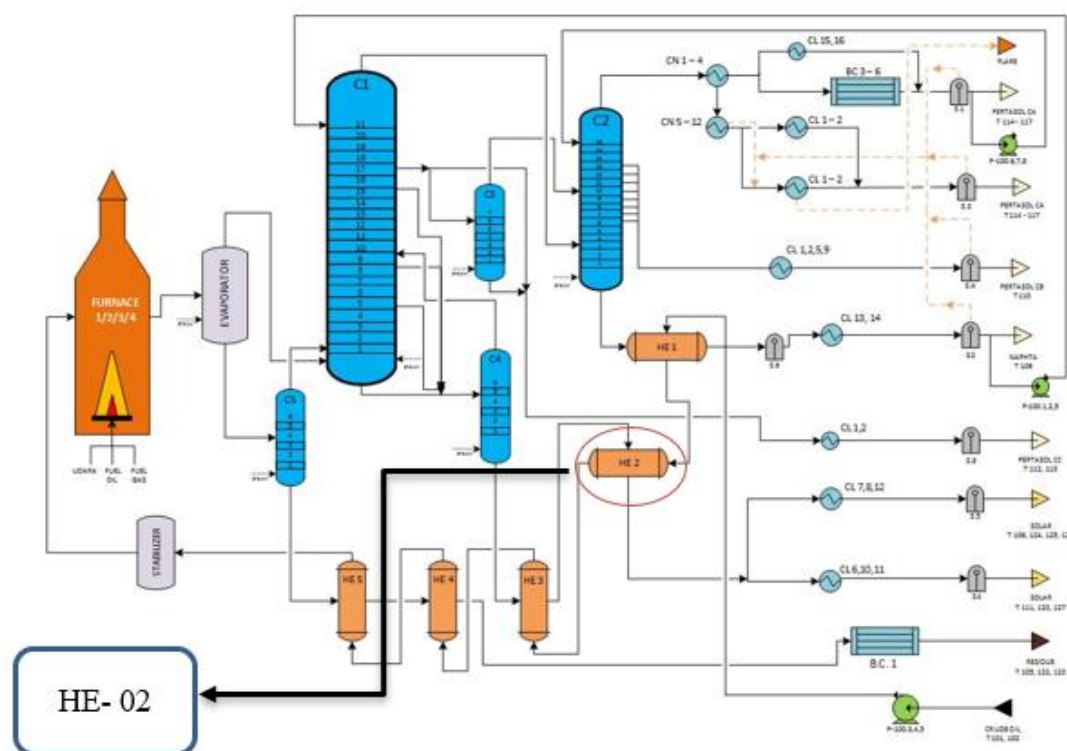
Penulis mengumpulkan data meliputi spesifikasi alat dan desain operasi, *flowrate*, *temperature in* dan *temperature out* pada *shell* dan *tube* dari salah satu alat *Heat Exchanger* yaitu HE-02 di Unit Kilang PPSDM Migas Cepu. Selanjutnya penulis melakukan perhitungan dengan menggunakan metode Kern. Tujuan menggunakan metode ini untuk mengevaluasi nilai perpindahan panas dan efisiensi performa alat HE-02. Adapun rencana alur penelitian seperti Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Rencana Alur Penelitian

3. PEMBAHASAN

Heat Exchanger yang ditinjau pada *Crude Distillation Unit* di kilang PPSDM Migas Cepu yaitu HE-02 mempunyai *tube* yang dialiri oleh *crude oil* dan *shell* yang dialiri oleh solar. Tujuan *tube* dialiri *crude oil* yang cenderung kotor berasal dari sumur agar hanya mengotori bagian dalam *tube* saja, sedangkan solar yang merupakan produk dari kilang dimana lebih bersih dibandingkan *crude oil* berisikan di dalam *shell* sehingga bagian luar *tube* dan bagian dalam *shell* cenderung lebih bersih. *Crude oil* yang masuk merupakan hasil keluaran dari proses HE-01, sedangkan solar yang masuk merupakan hasil keluaran dari HE-03 yang sebelumnya melalui proses *stripping* di C-4, untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Proses Unit Kilang PPSDM Migas Cepu

Jenis aliran kedua fluida pada *Heat Exchanger* (HE-02) menggunakan jenis aliran *counter current*. Dimana kedua fluida mengalir sejajar tetapi memiliki arah yang berlawanan. Jenis aliran ini paling efisien dari semua jenis aliran untuk *single-pass* dengan parameter yang sama, karena berdasarkan Gambar 2 grafik suhu antara *hot fluid* dan *cold fluid* yang didapatkan pada *counter current* adalah sejajar sehingga lebih efisien dalam penukaran panas.

Data spesifikasi alat dan desain operasi *Heat Exchanger* (HE-02) yang terdapat pada Unit Kilang PPSDM Migas Cepu dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan data kondisi operasi *Heat Exchanger* (HE-02) yang telah terdata sebanyak 4 variabel yang terdapat pada Unit Kilang PPSDM Migas Cepu dapat dilihat pada Tabel 2.

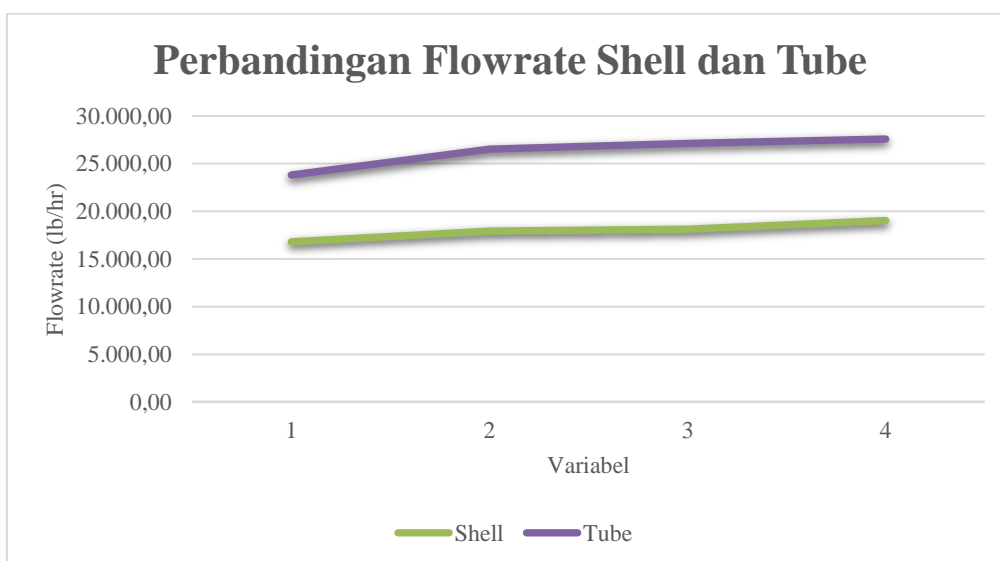
Tabel 1. Data Spesifikasi Alat Heat Exchanger (HE– 02) Shell dan Tube

Keterangan	Notasi	Satuan	Nilai	
			Shell	Tube
Diameter luar	ODs	In	31.614	1
Diameter dalam	IDs	In	30.748	0.834
Panjang tube	L	ft	-	10
Jumlah baffle	N	Buah	4	-
Jumlah tube	Nt	Buah	-	400
Jarak antara baffle	B	In	23.623	-
Jarak antara tube	C'	In	-	0.25
Jumlah passes	N	-	1	1
BWG	-	-	-	14
Susunan tube, pitch	Pt	In	-	1.25
Jenis Fluida			Solar	Crude Oil

Tabel 2. Data Kondisi Operasi Heat Exchanger (HE– 02) Shell dan Tube

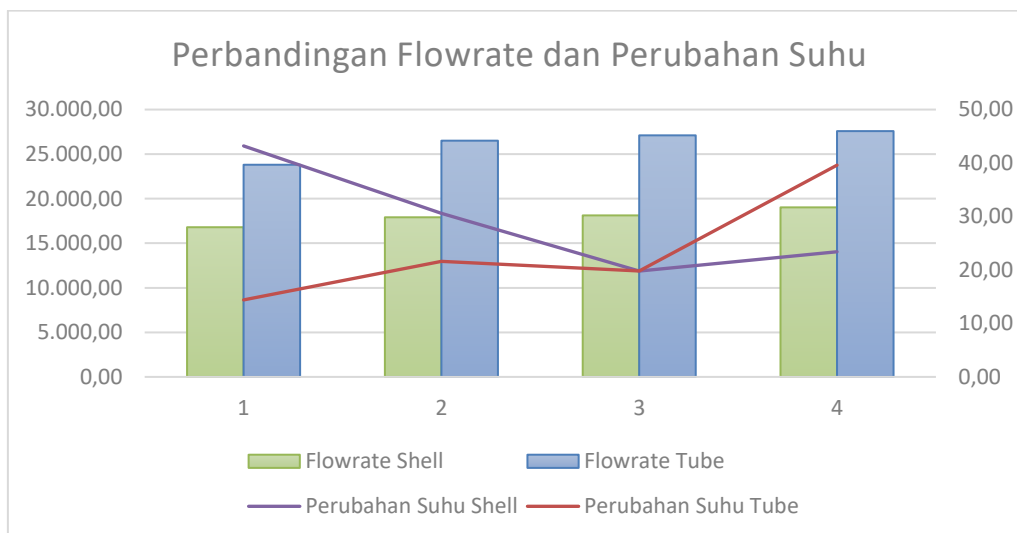
Variabel	Flow (lb/hari)		Suhu Input (°F)		Suhu Output (°F)	
	Shell	Tube	T1 (Shell)	t1 (Tube)	T2 (Shell)	t2 (Tube)
I	16.797	23.808	219,2	100,4	176	129,2
II	17.911	26.510	287,6	109,4	257	149
III	18.123	27.106	228,2	100,4	208	120,2
IV	19.025	27.582	237,2	100,4	213	122

Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat dibuat grafik untuk membandingkan *flowrate* pada Heat Exchanger yaitu pada Gambar 5. Dari Gambar 5 tersebut diketahui tube (*crude oil*) mempunyai *flowrate* yang lebih tinggi daripada shell (solar). *Flowrate crude oil* terendah yaitu 23.807,63 lb/hari, sedangkan laju *flowrate crude oil* tertinggi yaitu 27.581,94 lb/hari. *Flowrate solar* terendah yaitu 16.796,56 lb/hari, sedangkan laju *flowrate solar* tertinggi yaitu 19.024,97 lb/hari.



Gambar 5. Grafik Hubungan Flowrate Shell dan Tube

Selain itu, dapat dibuat juga grafik untuk menentukan perbandingan *flowrate* dan perubahan suhu pada *shell* dan *tube* pada *Heat Exchanger* yaitu pada Gambar 6. Dari Gambar 6 diketahui di bagian *shell* yang berisi solar semakin tinggi *flowrate*-nya maka perubahan suhunya berkurang, sedangkan di bagian *tube* yang berisi *crude oil* semakin tinggi *flowrate*-nya maka perubahan suhunya semakin tinggi. Maka untuk menambahkan perubahan suhu diperlukan penambahan *flowrate* bagian *tube* atau penurunan *flowrate* bagian *shell*.



Gambar 6. Grafik Hubungan *Flowrate* dan Perubahan Suhu

Untuk mengetahui nilai efisiensi kinerja *Heat Exchanger* (HE-02) dalam jumlah panas yang digunakan dapat menggunakan perbandingan antara jumlah beban panas yang diserap oleh solar dan juga oleh *crude oil*. Sedangkan, untuk mengetahui nilai efisiensi kinerja *Heat Exchanger* (HE-02) dalam prosesnya di dalam alat tersebut dapat diketahui dari nilai faktor kontaminasi dengan menghitung beberapa parameter, yaitu beban panas (Q) yang dapat dihitung menggunakan Pers. (1), *fouling factor* (R_d) yang dapat dihitung menggunakan Pers. (2), *pressure drop* (ΔP) yang dapat dihitung menggunakan Pers. (3) dan Pers. (4), dan efisiensi yang dapat dihitung menggunakan Pers. (5). Untuk perhitungannya didapatkan dari buku "Process Heat Transfer DQ Kern"[4] disusun dengan rumusan-rumusan beserta keterangannya sebagai berikut:

$$Q = W \times C_p \times \Delta T \tag{1}$$

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \tag{2}$$

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times I D_s \times (N+1)}{5,22 \times 10^{10} \times D_e \times S_s \times \varphi_s} \tag{3}$$

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_s^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times D \times S_t \times \varphi_t} \tag{4}$$

$$\eta = \frac{Q_{\text{aktual}}}{Q_{\text{maksimal}}} \times 100\% \tag{5}$$

Hasil perhitungan evaluasi untuk mendapatkan hasil efisiensi kinerja *Heat Exchanger* (HE-02) dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil perhitungan data dari hasil observasi operasi memberikan penjelasan bahwa jumlah panas yang digunakan oleh *Heat Exchanger* (HE-02) memiliki presentase yaitu kurang dari 100% yang memiliki arti masih terdapat panas yang tidak digunakan yang dapat disebut juga *heat loss*. Hal tersebut disebabkan isolasi pada dinding luar *Heat Exchanger* (HE-02) sudah tidak sempurna sehingga panas dapat terlepas ke lingkungan luar. Berdasarkan Tabel 3 presentase Q yang digunakan bersifat fluktuatif dikarenakan suhu lingkungan yang berubah-ubah. Hal tersebut dikarenakan kurangnya perhatian pada alat *Heat Exchanger* (HE-02) sehingga terdapat ketidaksempurnaan isolasi pada dinding *Heat Exchanger* (HE-02). Maka dari itu, disarankan isolasi dinding pada *Heat Exchanger* (HE-02) dilakukan perbaikan atau penambahan isolasi agar lebih sempurna dan meminimalisir kehilangan panas dari lingkungan luar.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Evaluasi *Heat Exchanger* (HE-02)

Deskripsi	Unit	Variabel I		Variabel II		Variabel III		Variabel IV	
		Shell	Tube	Shell	Tube	Shell	Tube	Shell	Tube
Flow Rate (W)	lb/hr	16.797	23.808	17.911	26.510	18.123	27.106	19.025	27.582
Q yang digunakan	%	38,585		85,321		81,869		49,909	
Fouling Factor (Rd)	Btu/hr.ft ² .°F	0,746		0,643		0,478		0,154	
Pressure Drop	Psi	0.028	0.001	0.031	0.001	0.032	0.001	0.035	0,001
Efisiensi	%	13,229		13,947		18,924		36,687	

Dirt factor atau disimbolkan Rd yaitu faktor kontaminasi yang disebabkan oleh akumulasi kerak atau lumut pada tabung yang dapat menghambat perpindahan panas. Nilai Rd memiliki batas nilai maksimum yang diperbolehkan untuk beroperasi yaitu 0,005 BTU/hr.ft².°F. Nilai Rd dari *Heat Exchanger* (HE-02) dinyatakan sudah tidak optimal dikarenakan melebihi batas maksimum. Berdasarkan Tabel 3 nilai Rd berbanding terbalik dengan *flowrate*, dikarenakan semakin tinggi nilai *flowrate* maka nilai Rd akan semakin rendah walaupun masih melebihi batas maksimum. Maka dari itu *Heat Exchanger* (HE-02) perlu dilakukan perawatan dengan membersihkan seluruh komponen pada *Heat Exchanger* (HE-02) dengan cara menginjeksikan udara atau air yang bertekanan tinggi untuk mendorong kerak pada dinding-dinding tabung keluar.

Penurunan tekanan pada *Heat Exchanger* berkaitan dengan akumulasi kotoran yang didapatkan dari hasil perhitungan *dirt factor* di dalam *Heat Exchanger* yang menyebabkan terdapat pengurangan tekanan pada laju alir fluida. Penurunan tekanan memiliki batas nilai maksimum yang diperbolehkan untuk beroperasi yaitu 10 psi. Penurunan tekanan dari *Heat Exchanger* (HE-02) pada *shell* dan *tube* masih kurang dari batas maksimum sehingga kinerja proses *Heat Exchanger* (HE-02) dinyatakan masih dalam kondisi optimal. Jika ditinjau pada nilai *dirt factor* hasil yang didapatkan tidak menurunkan tekanan secara signifikan yang terjadi pada *Heat Exchanger* (HE-02).

Efisiensi pada *Heat Exchanger* berkaitan dengan kinerja seluruh alat yang didapatkan dari hasil perhitungan beban panas (Q). Semakin dekat nilai efisiensi dengan angka 100% maka akan semakin baik, semakin jauh kurang dari 100% maka efisiensi kinerja *Heat Exchanger* akan semakin berkurang. Jika nilai efisiensi lebih dari 100% maka kinerja *Heat Exchanger* terjadi berlebihan dari data desain *Heat Exchanger*. Efisiensi dari keempat variabel *Heat*

Exchanger (HE- 02) mempunyai rentang 13 – 36%. Nilai ini sangat jauh dari 100% sehingga harus dilakukan optimalisasi kinerja *Heat Exchanger* (HE-02). Namun, nilai efisiensi ini memiliki hubungan dengan *dirt factor* (Rd) dan beban panas (Q). Pada paragraf sebelumnya diketahui bahwa kedua nilai tersebut tidak memenuhi nilai normal sehingga harus dilakukan perawatan untuk isolasi pada *Heat Exchanger* (HE-02) dan komponen pada *Heat Exchanger* (HE-02). Maka dari itu, tidak hanya dioptimalisasi kinerja *Heat Exchanger* (HE-02) tetapi juga harus dilakukan perawatan pada *Heat Exchanger* (HE-02).

Dalam melakukan optimalisasi kinerja *Heat Exchanger* (HE-02) dapat dilakukan dengan cara meningkatkan *flowrate* fluida dingin yaitu *crude oil* agar perpindahan panas terjadi lebih efisien. Dengan *flowrate* yang lebih cepat, *crude oil* dapat lebih cepat menyerap energi panas dari solar. Selain itu, aliran turbulen pada *tube* akan meningkat yang membantu meningkatkan perpindahan panas konveksi di sisi fluida dingin Dalam penelitian ini dilakukan kajian meningkatkan *flowrate crude oil* hingga 10%. Presentase ini sering dipilih dalam langkah awal optimalisasi *flowrate* fluida dikarenakan dapat memberikan peningkatan efisiensi yang cukup signifikan tanpa menyebabkan perubahan besar pada parameter lainnya contohnya beban kerja pada pompa dan tekanan pada pipa. Variabel yang dipilih untuk dioptimalisasi yaitu pada Variabel IV dikarenakan memiliki efisiensi yang paling besar. Hasil yang didapatkan dipaparkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perbandingan Data Aktual dan Optimasi *Heat Exchanger* (HE– 02)

Deskripsi	Unit	Aktual (Variabel IV)		Optimasi	
		Shell	Tube	Shell	Tube
<i>Flow Rate</i> (W)	lb/hr	19.025	27.582	19.025	30.340
<i>Fouling Factor</i> (Rd)	Btu/hr.ft ² .°F	0,154		0,130	
Efisiensi	%	36,687		40,356	

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa pada kondisi optimasi yang memiliki perubahan yang signifikan pada nilai Rd dan efisiensi, terdapat penurunan nilai Rd menjadi 0,130 Btu/hr.ft².°F dan peningkatan efisiensi menjadi 40,356%. Namun, kedua hasil ini belum memenuhi spesifikasi yang baik. Untuk menambah efisiensi yang lebih besar dan nilai Rd lebih sedikit diperlukan *crude oil* yang lebih banyak atau dapat memperbesar kinerja pompa agar *flowrate* meningkat. Selain itu peralatan *Heat Exchanger* (HE-02) dan alat-alat yang berhubungan yaitu kolom (C-04) dan *Heat Exchanger* (HE-01) memerlukan perawatan secara berkala agar lebih maksimal *flowrate* yang dihasilkan, khususnya untuk isolasi pada *Heat Exchanger* (HE-02) juga penting untuk diperbaiki ataupun disempurnakan.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metode Kern pada *Heat Exchanger* (HE– 02) di PPSDM Migas Cepu dengan mengumpulkan kelima variabel dapat ditarik kesimpulan yaitu jumlah beban panas yang digunakan kurang dari 100% sehingga harus dilakukan perbaikan pada isolasi di dinding *Heat Exchanger* (HE-02). Lalu, *dirt factor* yang diketahui melebihi nilai maksimum operasi sehingga perlu dilakukan perawatan dengan membersihkan seluruh komponen pada *Heat Exchanger* (HE-02) dengan cara meninjeksikan udara atau air dengan tekanan yang tinggi untuk mendorong kerak yang masih terkandung di

dalam *Heat Exchanger* (HE-02). Kemudian, perubahan tekanan yang diketahui tidak melebihi nilai maksimum pada *Heat Exchanger* sehingga kinerja alat tersebut dinyatakan optimal. Adapun efisiensi yang didapatkan yaitu paling besar 36,687% dimana angka ini sangat kecil sehingga harus dioptimalisasi dengan peningkatan *flowrate* fluida dingin yaitu *crude oil*. Dengan pengoptimalisasi ini didapatkan nilai efisiensi pada HE-02 meningkat menjadi 40,356%. Untuk lebih meningkatkan nilai efisiensi HE-02 diperlukan perawatan pada HE-02 dan peralatan sekitar HE-02.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jalu, R., Dwicahyo, R., "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger-03 Pada Crude Distillation Unit Di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi," Malang: Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Malang (2021) 15–64.
- [2] B. Zohuri, "Heat Exchanger Types and Classifications," *Compact Heat Exchangers*, pp. 19–56, Sep. 2016, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-29835-1_2.
- [3] E. Edreis and A. Petrov, "Types of heat exchangers in industry, their advantages and disadvantages, and the study of their parameters," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 963, no. 963, p. 012027, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/963/1/012027>.
- [4] A. T. Wahyudi, F. Leestiana, and R. Widodo, "Evaluasi kinerja Heat Exchanger pada Fasilitas Kilang PPSDM Migas dengan Metode Perhitungan Fouling Factor," *Majalah Ilmiah Swara Patra*, vol. 12, no. 1, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.37525/sp/2022-1/322>.
- [5] T. Sianturi, "Analisa pipa heat exchanger (cooling tube) Bervariasi Pada turbineguide bearing PEMBANGKIT Listrik Tenaga Air Siguragura," *SPROCKETJOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING*, vol. 2, no. 2, pp. 49–62, 2021.
- [6] Z. Yuqing, S. Jianfeng, D. Yun, Y. Xin, and D. Jiayu, "Simulation study on performance of plate heat exchanger for heat pump," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 608, no. 1, p. 012004, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/608/1/012004>.
- [7] E.N.N.A. Ansar, A. Maylia, A. Chumaidi, A. Kresmagus, "Evaluasi Efisiensi Heat Exchanger (E-3101) Pada Pabrik ALF3 Departemen Poduksi III B PTPetrokimia Gresik," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.221>.
- [8] R. Singla, "Improving the Performance of Heat Exchanger System," *International Journal of Soft Computing*, vol. 14, no. 4, pp. 77–85, May 2020, doi: <https://doi.org/10.36478/ijscmp.2019.77.85>.
- [9] Andriawan, H. Tanujaya, dan A. Riza, "Simulation and Study of Shell and Tube Type Heat Exchangers," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1007, no. 1, p. 012179, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1007/1/012179>.
- [10] R. W. Serth and T. G. Lestina, "Process heat transfer: principles and applications," 2014
- [11] Cengel, Y. A., "HEAT TRANSFER A Practical Approach (2nd ed.)," McGraw-Hill Companies, New York (2003).
- [12] Kern, DQ, "Process Heat Transfer", International Edition, Mc Graw Hill Book Company, New York (1950).
- [13] H. Rantau, F.R. Rifai, dan R.R. Saputro, "Optimalisasi Kinerja Perpindahan Panas Alat Plate Heat Exchanger Pada Proses Pemurnian Glycerin Water," Politeknik LPP Yogyakarta. 2023.

Daftar Simbol

Q	=	Panas yang dilepas oleh fluida, Btu/jam
W	=	Jumlah aliran massa fluida, lb/jam
Cp	=	Panas jenis fluida, Btu/lb ^o F
ΔT	=	Perubahan suhu masuk dengan suhu keluar fluida, ^o F
Rd	=	<i>Fouling Factor</i> , Btu/hr.ft ² . ^o F
Uc	=	Koefisien <i>clean overall</i> , Btu/hr.ft ² . ^o F
Ud	=	Koefisien <i>design overall</i> , Btu/hr.ft ² . ^o F
ΔPs	=	Penurunan tekanan pada bagian <i>shell</i> , psi
ΔPt	=	Penurunan tekanan pada bagian <i>tube</i> , psi
f	=	Faktor friksi zat, ft ² /in ²
S	=	Specific gravity zat di dalam <i>tube</i>
Gs	=	Kecepatan aliran massa pada <i>shell</i> , lb/hr.ft ²

Gt	=	Kecepatan aliran massa pada <i>tube</i> , lb/hr.ft ²
Ds	=	Diameter bagian dalam <i>shell</i> , ft
De	=	Diameter <i>equivalent</i> bagian <i>shell</i> , ft
Di	=	Diameter bagian dalam <i>tube</i> , ft
N	=	Jumlah <i>baffle</i> bagian <i>shell</i>
L	=	Panjang <i>tube</i> , ft
n	=	Jumlah <i>pass</i>
φ_s	=	Rasio viskositas <i>shell</i>
φ_t	=	Rasio viskositas <i>tube</i>
V	=	Kecepatan, fps
G	=	Percepatan gravitasi, ft ² /detik
η	=	Efisiensi, %
Q _{aktual}	=	Panas yang dilepas oleh fluida dari data, Btu/jam
Q _{maksimal}	=	Panas yang dilepas oleh fluida dengan jumlah panas maksimum, Btu/jam