

EVALUASI PRESSURE DROP HEAT EXCHANGER-03 PADA CRUDE DISTILLATION UNIT PPSDM MIGAS CEPU

Reftian Jalu Prabaswara¹, Sri Rulianah¹, Christyfani Sindhuwati¹, Raharjo²

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

²PPSDM Migas Cepu, Jl. Raya Sorogo No. 1, Blora, Indonesia

ReftianJ2@gmail.com, [rulianahpolinema@yahoo.com]

ABSTRAK

Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki cadangan energi fosil melimpah tidak lepas dari konsumsi minyak bumi. PPSDM Migas Cepu merupakan salah satu instansi yang selain mengemban tugas dalam mempersiapkan tenaga-tenaga andal dalam bidang eksplorasi dan eksploitasi migas juga memiliki unit pengolahan minyak bumi yang menghasilkan beberapa produk turunan. *Heat Exchanger-03* merupakan penukar panas yang berperan vital dalam proses produksi pada CDU PPSDM Migas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat performa dari *Heat exchanger-03* yang didasarkan pada perhitungan nilai *pressure drop* dan efisiensi perpindahan panas. Metodologi penelitian yang digunakan berupa pengamatan secara langsung selama 7 hari terhadap kondisi operasi HE-03 yang meliputi suhu, laju alir, dan tekanan fluida. Hasil dari evaluasi *heat exchanger* menunjukkan *pressure drop* pada sisi *shell* dan *tube* berturut-turut 0,00000175 dan 0,02462 psi. Efisiensi perpindahan panas sebesar 76,0242%. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan jika HE-03 beroperasi dengan layak namun telah mengalami penurunan kinerja. Oleh karena itu, pihak PPSDM Migas Cepu diharapkan untuk melakukan perawatan secara berkala yang meliputi pembersihan *heat exchanger* dan penggantian insulasi termal yang kurang layak untuk menjaga proses perpindahan panas tetap berjalan dengan baik.

Kata kunci: *Heat Exchanger, Crude Oil, Pressure Drop, Distilasi, Solar*

ABSTRACT

Indonesia, country that possesses an abundant amount of fossil energy, could not be separated to dependency of oil consumption. PPSDM Migas Cepu prepared a skillfull human resources deale with this issues and also engaged to oil and gas industry which breaks crude oil into several derivative products. Heat Exchanger-03 is a heat transfer equipments installed on CDU that had important role to succeded production process. The objective of this study is to determine performance level of Heat Exchanger-03 based on calculation of pressure drop value and heat transfer efficiency. Methods used by conducting 7 days direct observation to temperature, flow rates, and pressures of the fluids. The calculation and data analysis showed that the value of pressure drop are 0,00000175 and 0,02462 psi in shell and tube respectively. Heat transfer efficiency of this equipment then known as 76,0242%. Based on this research, could be concluded that HE-03 works properly, yet the performance slightly declined. Therefore, PPSDM Migas Cepu authorithies then to be expected to do some periodic maintenance comprise of heat exchanger cleaning and substitution of obsolete insulation to ensure heat transfer process runs well.

Keywords: *Heat Exchanger, Crude Oil, Pressure Drop, Distillation, Diesel Fuel*

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki cadangan energi fosil melimpah tidak lepas dari konsumsi minyak bumi. PPSDM Migas Cepu merupakan salah satu instansi yang selain mengemban tugas dalam mempersiapkan tenaga-tenaga andal dalam bidang eksplorasi dan eksploitasi migas juga memiliki unit pengolahan minyak bumi yang menghasilkan beberapa produk turunan seperti Pertasol CA, Pertasol CB, Pertasol CC, dan solar. Keberadaan *heat exchanger* dalam unit distilasi minyak bumi sangatlah penting untuk mengkondisikan umpan dalam kondisi kesetimbangan dimana proses pemisahan fraksi minyak bumi akan dilakukan. *Heat exchanger* adalah peralatan yang digunakan untuk mentransfer energi panas antar fluida yang dikontakkan melalui permukaan/medium padat [1]. Pemanfaatan kembali (*Recovery*) panas yang dimiliki produk untuk menaikkan suhu dari minyak bumi dapat mengurangi kebutuhan utilitas sehingga dapat menekan biaya operasional. *Heat exchanger-03* PPSDM Migas Cepu yang berfungsi sebagai *preheater* memanfaatkan panas solar dari *bottom product stripper* C-4 yang juga merupakan produk bawah dari kolom distilasi C-1A untuk memanaskan minyak bumi.

Penelitian yang dilakukan oleh referensi [2] mendapatkan hasil *pressure drop* dari HE-03 PPSDM Migas sebesar 0,3892 psi untuk sisi *shell* dan 0,005018 psi untuk sisi tube dengan efisiensi panas yang diperoleh yaitu 72,54%. Referensi [3] melakukan evaluasi *heat exchanger* PT Petrokimia Gresik, dari hasil evaluasi tersebut didapatkan *pressure drop* sebesar 0,510568 psi (*shell*) dan 0,2988 psi (*tube*), usia kilang dan peralatan yang terbilang sudah cukup tua memperbesar kemungkinan penurunan performa dari *Heat exchanger-03*. Penurunan performa kinerja alat dapat dipicu oleh adanya kerak, permukaan dinding yang terkorosi, kebocoran pada dinding dan insulasi, serta friksi [4]. Bentuk atau tanda dari menurunnya kinerja *heat exchanger* dapat ditinjau dari segi *pressure drop* yang tinggi, efisiensi perpindahan panas rendah, dan harga *fouling/dirt factor* melebihi batas yang diizinkan [5]. Untuk mengantisipasi kerugian yang diakibatkan oleh penurunan performa dari *heat exchanger* maka dapat dilakukan evaluasi secara berkala. *Heat exchanger-03* adalah alat penukar panas bertipe *shell and tube heat exchanger*, dimana *shell* diisi oleh solar sebagai fluida panas serta *tube* diisi oleh *crude oil* sebagai fluida dingin. HE-03 berperan sebagai *crude preheater* untuk mengurangi beban kerja dari *furnace*. Evaluasi *pressure drop* (ΔP) secara periodik sangat diperlukan dalam proses industri. Aliran fluida yang kontinyu dapat menimbulkan pembentukan kerak di dalam peralatan sehingga menjadikan tahanan panas semakin tinggi yang menyebabkan pertukaran panas kurang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat performa *Heat Exchanger-03* yang didasarkan pada perhitungan nilai *pressure drop* dan efisiensi perpindahan panas.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara pengamatan langsung pada *Heat exchanger-03* yang terdapat di *Crude Distillation Unit* PPSDM Migas Cepu. Adapun tahapan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.1. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder yang berkaitan dengan *Heat exchanger-03* PPSDM Migas Cepu. Data primer meliputi informasi kondisi operasi yang mencakup laju alir fluida proses, suhu *inlet* dan *outlet* fluida proses.

Pengamatan dan pencatatan data primer dilakukan rutin selama 7 hari. Hasil pengamatan mengenai kondisi operasi *heat exchanger* selama 7 hari akan dirata-ratakan untuk digunakan sebagai dasar perhitungan. Data sekunder meliputi spesifikasi desain dari *Heat exchanger-03* yang didapatkan dari *Distributed Control System Room* dan data penunjang perhitungan lainnya yang didapatkan dari studi berbagai literatur terkait evaluasi performa *heat exchanger*.

2.2. Perhitungan Evaluasi Kinerja *Heat Exchanger* dengan Metode Kern (1983) [6,7]

a) Penentuan Properti Fluida, Neraca Massa, dan Neraca Panas

Properti dari fluida didapatkan dari literatur *Process Heat Transfer*. Properti yang didapatkan digunakan sebagai acuan dalam perhitungan neraca panas. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$Q_{Hot} = Q_{cold} \quad (1)$$

$$W_{Hot} \times C_{P1} \times (T_1 - T_2) = W_{cold} \times C_{P2} \times (t_2 - t_1) \quad (2)$$

Keterangan: Q = Jumlah panas yang dipindahkan (Btu/jam)

W = Laju massa fluida

C_{P1} = *Specific heat solar* (Btu/lb.°F)

C_{P2} = *Specific heat crude oil* (Btu/lb.°F)

T_1 = Suhu masuk solar (°F)

T_2 = Suhu keluaran solar (°F)

t_1 = Suhu masuk *crude oil* (°F)

t_2 = Suhu keluaran *crude oil* (°F)

b) Menghitung Nilai *Logarithmic Mean Temperature Difference* (ΔT_{LMTD})

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

Keterangan = $\Delta t_1 = T_2 - t_1$

$\Delta t_2 = T_1 - t_2$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (5)$$

F_T adalah faktor koreksi didapatkan dari *figure 19* [7]

$$\Delta T = \Delta T_{LMTD} \times F_T \quad (6)$$

c) Menghitung *Caloric Temperature*

Perhitungan diawali dengan penentuan nilai K_C dan F_C yang didapatkan dari plot grafik *figure 17* [7].

$$\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2} \quad (7)$$

$$T_C = T_2 + (F_C(T_1 - T_2)) \quad (8)$$

$$t_c = t_1 + (F_C(t_2 - t_1)) \quad (9)$$

d) Menghitung *Flow Area*, *Mass Velocity*, dan *Reynold Number*

Flow area pada *shell* dan *tube* dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$a_s = \frac{ID_s \times C' \times B'}{144 \times Pt} \quad (10)$$

$$a_t = \frac{Nt \times a'}{144 \times n} \quad (11)$$

$$G = \frac{W_{s/t}}{a_{s/t}} \quad (12)$$

Keterangan : a_s = Flow area shell (ft²)
 a_t = Flow area tube (ft²)
 ID_s = Internal Diameter Shell (in)
 C' = Clearance (in)
 Pt = Tube Pitch (in)
 B' = Baffle Space (in)
 Nt = Jumlah tube
 N = Jumlah Passes
 G = Mass velocity (lb/jam.ft²)

Bilangan Reynold dari masing-masing fluida dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$N_{Re} = \frac{D \times G}{\mu} \quad (13)$$

e) Menghitung Nilai Koefisien Perpindahan Konveksi

Untuk memperoleh nilai koefisien h_o , h_i , dan h_{io} dibutuhkan data konduktivitas termal fluida (k) dan j_H . Data konduktivitas panas fluida hidrokarbon didapatkan dari *figure 16*, sedangkan j_H didapatkan dari *figure 24* dan *figure 28* [7].

$$h_o = Jh \times \frac{k}{De} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k} \right)^{1/3} \times \varphi_s \quad (14)$$

$$h_i = Jh \times \frac{k}{ID} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k} \right)^{1/3} \times \varphi_t \quad (15)$$

$$h_{io} = \frac{h_i}{\varphi_t} \times \frac{ID}{OD} \quad (16)$$

$$\varphi = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (17)$$

Dimana μ_w adalah viskositas fluida pada suhu *tube wall temperature* (T_w)

$$T_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\varphi_s}}{\frac{h_o}{\varphi_s} + \frac{h_{io}}{\varphi_t}} \times (T_c - t_c) \quad (18)$$

f) Menghitung *Pressure Drop*

- *Pressure drop* pada sisi shell

$$N + 1 = \frac{12 \times L}{B} \quad (19)$$

$$\Delta P_s = \frac{f \times Gs^2 \times ID_s \times (N+1)}{5,22 \times 10^{10} \times De \times s \times \varphi_s} \quad (20)$$

- *Pressure drop* pada sisi tube

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_p^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times D_i \times s \times \phi_t} \quad (21)$$

$$\Delta P_n = \frac{4n}{s} \times \frac{v^2}{2g} \quad (22)$$

Nilai $\frac{v^2}{2g}$ diperoleh dari *figure 27* [7].

$$\Delta P_{total} = \Delta P_t + \Delta P_n \quad (23)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengamatan

Tabel 1. Data spesifikasi desain *Heat Exchanger-03*

HE – 03	Shell			Tube		
	Notasi	Satuan	Dimensi	Notasi	Satuan	Dimensi
Dimensi luar	ODs	Inch	31,614	ODt	Inch	1
Dimensi dalam	IDs	Inch	30,748	IDt	Inch	0,834
Jumlah <i>Baffle</i>	N	Unit	4			
Jumlah <i>Pass</i>	N	Unit	1	N	unit	2
BWG				BWG		14
Jarak antar <i>Tube</i>				C'	Inch	0,25
Panjang <i>Tube</i>				L	ft	10
Jumlah <i>Tube</i>				Nt	unit	400
<i>Pitch</i>				Pt	Inch	1,25
Jarak antar <i>Baffle</i>	B	Inch	23,623			
Jenis Fluida		Solar			<i>Crude oil</i>	
<i>Flow Area</i>				a'	In ²	0,2618
Susunan <i>Tube</i>					<i>Triangular Pitch</i>	

Tabel 2. Data observasi kondisi operasi aktual *Heat Exchanger-03*

Data Lapangan		
Parameter Ukur	Tube	Shell
Jenis fluida	<i>Crude oil</i>	Solar
Suhu masuk (°C)	67	260
Suhu keluar (°C)	90	210
Laju alir (Liter/jam)	271,7	157,299
Densitas 15°C (kg/m ³)	839,4	838,0
°API	40	36

Tabel 3. Hasil perhitungan evaluasi *pressure drop* pada *Heat Exchanger-03*

Hasil Evaluasi		
	Tube	Shell
Suhumasuk (°C)	67	260
Suhukeluar (°C)	90	210

Lajualir (Liter/jam)	271,7	157,299
<i>Specific Gravity</i>	0,780	0,700
K (Btu/jam.(ft ²)(°F/ft))	0,079	0,071
Densitas 15°C (kg/m ³)	839,4	838
Viskositas (cP)	1,028	0,24
<i>Specific Heat</i> (Btu/lb.°F)	0,64	0,67
°API	40	36
<i>Pressure Drop</i> (psi)	0,02462	1,175 x 10 ⁻⁵

Tabel 4. Hasil perhitungan efisiensi perpindahan panas pada *Heat Exchanger-03*

Hasil Perhitungan	
Panas yang dilepas oleh solar (Q_{Hot})	17523,3932 Btu
Panas yang diserap oleh <i>crude oil</i> (Q_{cold})	13322,0124 Btu
Kehilangan panas (Q_{loss})	4201,38 Btu
Efisiensi perpindahan panas	76,0242%

3.2. Pembahasan

Penelitian ini dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung pada *Heat Exchanger-03* yang terdapat di *Crude Distillation Unit* PPSDM Migas Cepu. Data diambil selama 7 hari dan dirata-ratakan untuk mengetahui hasil rata-rata dalam 1 minggu pengoperasian. Pada mulanya dalam perancangan *heat exchanger* telah diperhitungkan perihal adanya *pressure drop*. Kegunaan dari tahapan tersebut untuk memastikan bahwa *heat exchanger* bekerja di atas spesifikasi minimalnya agar pertukaran panas berjalan dengan baik. Namun sejalan dengan penggunaan secara terus menerus dengan kondisi operasi yang tidak selalu dapat konsisten dengan asumsi perencanaan awal maka seringkali nilai *pressure drop*, dan efisiensi panas keluar dari spesifikasi yang ditetapkan ketika perancangan. *Heat exchanger-03* memiliki tipe *shell and tube heat exchanger* dengan 1 kali lewat *shell* dan 2 kali lewat *tube*. Fluida yang diproses di dalam *shell* adalah solar, sedangkan *crude oil* berada di dalam *tube*. Penempatan fluida pada salah satu sisi *heat exchanger* ini memiliki beberapa alasan yang terkait dengan *operational advantages* dan *safety aspect*. *Crude oil* yang memiliki laju alir lebih besar dibandingkan dengan solar ditempatkan di dalam *tube* yang berdiameter kecil untuk memperbesar bilangan *reynold* atau membuat aliran lebih turbulen. Turbulensi aliran dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi dan meningkatkan laju perpindahan panas yang terjadi [8], sehingga pertukaran panas antara *crude oil* dan solar menjadi lebih efisien. Saat terjadi turbulensi dalam suatu aliran fluida, bilangan *nusselt* akan bertambah sehingga menyebabkan penyerapan panas menjadi lebih baik [9]. Kandungan sulfur yang terbawa dari pusat pengeboran menjadikan *crude oil* bersifat lebih korosif jika dibandingkan dengan solar [10], dengan demikian akan lebih aman jika *crude oil* dialirkan melalui *tube* untuk mencegah kebocoran material penyusun *heat exchanger* akibat korosi [11].

Berdasarkan hasil analisis evaluasi *pressure drop* yang terjadi pada HE-03 diketahui bahwa *pressure drop* pada sisi *shell* sebesar 0,00000175 psi dan sebesar 0,02462 psi pada sisi *tube*. Nilai dari *pressure drop* di kedua sisi *heat exchanger* tersebut tergolong rendah. Terjadinya peningkatan *pressure drop* berkaitan dengan akumulasi kekotoran di dalam pipa-pipa atau ruang dalam *heat exchanger*. Penurunan tekanan semakin lama semakin

besar sebab *fouling factor* yang tersedia semakin mendekati jenuh/melebihi batas 10% dari desain. Kenaikan *pressure drop* pada *shell and tube heat exchanger* juga dapat disebabkan oleh pengaturan jarak *baffle* yang kurang memadai [12], jarak *baffle* tersebut mempengaruhi pola pembentukan deposit padatan pada titik-titik tertentu yang menyebabkan kenaikan penurunan tekanan [13]. Penggunaan fluida proses berupa solar dan *crude oil* meningkatkan kemungkinan penurunan tekanan dalam ruang *heat exchanger*. Fluida proses pada PPSDM Migas Cepu tersebut bersifat viskos atau kental serta memiliki laju alir yang relatif kecil. Komposisi fluida serta sifat-sifatnya yang meliputi viskositas, laju alir, dan suhu turut berperan dalam pembentukan tekanan di dalam suatu alat penukar panas [14]. Berdasarkan referensi kern dinyatakan bahwa nilai *pressure drop* yang diperbolehkan adalah sebesar 10 psi karena jenis fluida yang diproses adalah *liquida*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan tekanan pada HE-03 masih dalam batas wajar dan HE-03 masih layak beroperasi.

Selain *pressure drop*, efisiensi perpindahan panas juga dievaluasi pada penelitian ini. Efisiensi perpindahan panas termasuk dalam parameter untuk menilai unjuk kerja dari *heat exchanger* [15]. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi perpindahan panas pada HE-03 hanya mencapai 76,0242%. Hasil tersebut sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil dari evaluasi *heat exchanger* yang sama diperoleh efisiensi sebesar 72,54%. Tingkat efisiensi yang relatif lebih tinggi dari hasil penelitian yang berbeda tersebut mengindikasikan bahwa tahap *maintenance* terhadap HE-03 telah dilakukan dalam kurun waktu tertentu. *Heat exchanger* digunakan untuk memindahkan energi termal di antara 2 fluida yang memiliki suhunya berbeda tanpa adanya transfer panas dan kerja eksternal dari lingkungan [16]. Semakin tinggi efektifitas suatu *heat exchanger* maka kemampuan perpindahan panas di antara fluida semakin baik, sebab laju perpindahan panas aktual mendekati kuantitas energi panas yang dapat dipindahkan [17]. Penurunan pada efisiensi perpindahan panas menandakan adanya panas yang hilang ke lingkungan sehingga energi panas aktual lebih kecil dari pada kuantitas panas yang dimiliki oleh solar sebagai fluida panas. Selain itu penurunan efisiensi pada *heat exchanger* juga dipengaruhi oleh *pressure drop*, koefisien perpindahan panas, laju alir massa fluida, dan tingkat kekotoran di dalam *heat exchanger* [18]. Menurunnya efisiensi panas HE-03 tidak dapat dikatakan turun karena *pressure drop*, sebab nilai *pressure drop* relatif kecil untuk menghambat perpindahan panas pada HE-03. Efisiensi dan efektifitas *heat exchanger* juga ditentukan oleh laju alir fluida yang diproses [19]. Referensi [20] menyatakan bahwa aliran pada *shell* akan membentuk turbulensi akibat kenaikan bilangan reynold oleh pecahnya aliran fluida karena membentur *baffle*, turbulensi ini akan meningkatkan keacakan fluida dan momentum sehingga nilai efektifitas *heat exchanger* cenderung naik. Peningkatan efektifitas kinerja alat tersebut juga meningkatkan efisiensi perpindahan panas pada *heat exchanger*. Berdasarkan referensi [21], efektifitas *heat exchanger* juga dapat ditingkatkan dengan memperbesar laju alir fluida dingin. Pada kasus HE-03 PPSDM Migas ini, laju alir fluida dingin yaitu *crude oil* tidak disarankan untuk diperbesar sebab penempatan fluida yang berada dalam *tube*. Laju alir yang tinggi dalam *tube* akan mengurangi efektifitas dan efisiensi panas sebab waktu kontak fluida menjadi lebih singkat. Meskipun demikian *losses* panas tetap harus diwaspadai karena dapat menimbulkan kerugian jika efisiensi dibiarkan pada nilai tersebut dalam jangka waktu yang lama. Melalui pengamatan fisik *heat exchanger*, dapat diketahui *losses* panas yang menyebabkan turunnya efisiensi disebabkan oleh insulasi

yang kurang baik di sepanjang aliran perpipaan yang terhubung dengan *Heat exchanger-03*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kinerja *Heat Exchanger-03* masih layak meskipun mengalami penurunan. Hal itu dibuktikan dengan *pressure drop* sebesar 0,02462 psi pada sisi *tube* dan $1,175 \times 10^{-5}$ psi pada sisi *shell*. Selain itu efisiensi perpindahan panas yang dihasilkan oleh penggunaan *Heat Exchanger-03* hanya mencapai 76,0242%. Penurunan efisiensi *heat exchanger* dapat dikarenakan oleh insulasi pada peralatan yang kurang baik, sehingga dimungkinkan terjadi kehilangan panas selama proses pertukaran panas terjadi.

Dari hasil evaluasi demikian maka disarankan ke depannya agar pihak terkait dapat melakukan perbaikan dan pembersihan *Heat Exchanger-03* secara berkala agar pengotor yang dapat menyumbat aliran dan meningkatkan *pressure drop* dapat diatasi. Di samping itu penggantian insulasi termal di sepanjang jalur-jalur fluida proses serta pada peralatan *Heat Exchanger-03* sangat diperlukan agar tidak terjadi kehilangan panas dan perpindahan panas menjadi lebih efisien.

REFERENSI

- [1] Alawa, B. T. L., dan Ohia, I. O., 2013, *Performance Evaluation Of Heat Exchangers In A Polyethylene Plant*, Internatinal Journal Engineering Technology and Innovation, Vol. 1, No. 1, Hal. 49–67.
- [2] Sukma, K. W., 2020, *Evaluasi Kinerja Heat Exchanger-02 dan Heat Exchanger-03 Pada Unit Kilang PPSDM MIGAS Cepu, Sipora*.
- [3] Imron, M. A., 2018, *Evaluasi Kinerja HE (E-1201) Shell And Tube Unit Asam Sulfat Departemen Produksi III-B PT.Petrokimia Gresik*, Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Yogyakarta. Diploma Thesis.
- [4] Bizzy, I., dan Setiadi, R., 2013, *Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube dengan Program Heat Transfer Research Inc. (HTRI)*, Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya.
- [5] Setyoko, B., 2017, *Evaluasi Kinerja Heat Exchanger dengan Metode Fouling Faktor*, Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Vol. 29, No. 2, Hal. 148–153.
- [6] Zain, M. R., dan Mustain, A., 2020, *Evaluasi Efisiensi Heat Exchanger (HE - 4000) dengan Metode Kern*, Jurnal Teknologi Separasi Distilat, Vol. 6, No. 2, Hal. 415–421.
- [7] Kern, D. Q., 1983, *Process Heat Transfer*, McGraw Hill International Book Company, Japan.
- [8] Geankoplis, C. J., 2003, *Transport Processes and Unit Operations (Includes Unit Operations)*, Prentice Hall Press.
- [9] Irsyad, M., 2012, *Karakteristik Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Paksa pada Pemodelan Biji Kakao dengan Naphthalene Menggunakan Analogi Perpindahan Panas dan Massa*, Jurnal Sains dan Teknologi, Vol. 12, No. 2, Hal. 137–145.
- [10] Prayudha, D., Moralista, E., dan Ashari, Y., 2018, *Penentuan Laju Korosi dan Sisa Umur Pakai (Remaining Service Life/RSL) pada Jalur Pipa Transportasi Crude Oil dari Spu-A Mundu ke Terminal Balongan di PT. Pertamina EP Asset 3 Jatibarang Field, Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat*, Prosiding Spesia Teknik Pertambangan, Hal. 511–529.
- [11] Hartanto, A., Moralista, E., dan Zaenal, Z., 2020, *Kajian Korosi pada Pipa Transportasi Crude Oil Pipeline D (SP 04 - SP 05) di Kecamatan Tirtamulya Kabupaten Karawang*

- Provinsi Jawa Barat, Prosiding Teknik Pertambangan, Vol. 6, No. 2, Hal. 543–550.*
- [12] Lemos, J. C., Costa, A. L. H., dan Bagajewicz, M. J., 2017 *Linear Method for The Design of Shell and Tube Heat Exchangers Including Fouling Modeling* Applied Thermal Engineering Journal, Vol. 125, No. 3, Hal. 1345–1353.
- [13] Kareem, A. A. A. M. Q., dan Naji, S. Z., 2018, *Performance Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger: Parametric Study*, Case Study Thermodynamics Engineering Journal, Vol. 12, Hal. 563–568.
- [14] Liu, L., Ding N., Shi J., Xu, N., Guo, W., dan Wu, C. M. L., 2016, *Failure Analysis of Tube-To-Tubesheet Welded Joints in a Shell-Tube Heat Exchanger*, Case Study Engineering Failure Analysis Journal, Vol. 25, No. 4, Hal. 32–40.
- [15] Pramesti, S. T., dan Made Arsana, I., 2020., *Experimental Study of Baffle Angle Effect on Heat Transfer Effectiveness of The Shell and Tube Heat Exchanger Using Helical Baffle*, Journal of Mechanical Engineering Research and Development, Vol. 4, No. 3, Hal. 332–338.
- [16] Bichkar, P., Dandgaval, O., Dalvi, P., Godase, R., dan Dey, T., 2018, *Study of Shell and Tube Heat Exchanger with The Effect of Types of Baffles*, Procedia Manufacturing, Hal. 195–200.
- [17] Gahana D., dan Supriyadi, D., 2018, *Analisis Kinerja High Pressure Heater (HPH) Tipe Shell and Tube Heat Exchanger*, Journal of Science and Applied Technology, Vol. 2, No. 2, Hal. 23–33.
- [18] Wang, Q. W., Chen, G. D., Xu, J., dan Ji, Y. P., 2010, *Second Law Thermodynamic Comparison and Maximal Velocity Ratio Design of Shell and Tube Heat Exchangers with Continuous Helical Baffles*, Journal of Heat Transfer, Vol. 132, No. 10, Hal. 101801–10180.
- [19] Shanahan, R., dan Chalim, A., 2020, *Studi Literatur Tentang Efektivitas Alat Penukar Panas Shell And Tube 1-1 Sistem Fluida Gliserin – Metanol dengan Aliran Counter Current*, Jurnal Teknologi Separasi Distilat, Vol. 6, No. 2, Hal. 164–170.
- [20] Chalim, A., Ariani, dan Iswara, M. A. I., 2021, *Penentuan Number Transfer Unit Sistem Fluida Dietilen Glikol – Metanol dalam Evaluasi Efisiensi Penukar Panas Shell and Tube 1-1*, Jurnal Teknologi Ilmu dan Aplikasi, Vol. 3, No. 1, Hal. 164–170.
- [21] Yunianto, B., Cahyo D. K., dan Arijanto, 2013, *Pengaruh Perubahan Debit Aliran Fluida Panas dan Fluida Dingin terhadap Efektifitas pada Penukar Kalor Tipe Plat Aliran Silang*, Jurnal Rotasi, Vol. 13, No. 1, Hal. 13–16.