

EVALUASI KINERJA ALAT JACKETED VESSEL (E-240) PADA PEMBUATAN *HAND AND BODY LOTION* DI SECTION MAKING PT SEJAHTERA UTAMA

Sabrina Asyrofa Aulia Ennada¹, Profiyanti Hermien Suharti¹, Bowo Pujo Prasetyo²

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

²PT Sejahtera Utama, Jarang Sari, Lolawang, Ngoro 61385, Kabupaten Mojokerto, Indonesia

sabrinaasyrofa@gmail.com ; [profiyanti@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Alat penukar panas merupakan alat untuk memindahkan energi dalam bentuk panas antar fluida dengan suhu berbeda. Efisien pertukaran panas dipengaruhi oleh laju pertukaran panas, koefisien perpindahan panas keseluruhan, dan luas bidang perpindahan panas. Alat penukar panas yang cocok untuk industri kosmetik yaitu *jacketed vessel*. *Jacketed vessel* merupakan tangki yang dilengkapi pengaduk dengan pemanas berupa *jacket* yang mengelilingi tangki. Prinsip kerja dari *jacketed vessel* yaitu fluida masuk dalam tangki untuk dipanaskan menggunakan pemanas yang berasal dari *jacket* berupa steam. Kinerja *jacketed vessel* di industri perlu diperhatikan dengan tujuan menjaga efisiensi perpindahan panas berjalan secara normal. Perhitungan evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi *jacketed vessel* (E-240) berdasarkan nilai koefisien perpindahan panas (U) dalam proses pembuatan *hand and body lotion* di PT Sejahtera Utama. Tahapan yang dilakukan adalah mengumpulkan data *design* dan suhu operasi selama 12 hari kerja. Hasil perhitungan yang didapat untuk nilai U data *design* sebesar 9,375 Btu/hr.ft².°F, sedangkan nilai U rata-rata didapatkan 8,100 Btu/hr.ft².°F dengan efisiensi 86,40 %. Hal tersebut disimpulkan bahwa alat *jacketed vessel* (E-240) masih dalam kinerja yang baik karena efisiensi perpindahan panas <70 %.

Kata kunci: efisiensi, fluida, *jacketed vessel*, pemanasan

ABSTRACT

A heat exchanger is a device used to transfer energy in the form of heat between fluids at different temperatures. The efficiency of heat exchange is influenced by the rate of heat transfer, the overall heat transfer coefficient, and the area of the heat transfer surface. A suitable heat exchanger for the cosmetics industry is a *jacketed vessel*. A *jacketed vessel* is a tank equipped with an agitator and a heater in the form of a *jacket* that surrounds the tank. The working principle of a *jacketed vessel* is that fluid enters the tank to be heated using a heater that comes from the *jacket* in the form of steam. The performance of *jacketed vessels* in the industry needs to be monitored to ensure that heat transfer efficiency operates normally. This evaluation calculation aims to determine the efficiency of the *jacketed vessel* (E-240) based on the heat transfer coefficient (U) in the process of producing *hand and body lotion* at PT Sejahtera Utama. The steps taken involve collecting *design* data and operating temperature over a period of 12 working days. The calculation results obtained for the U value of the *design* data is 9.375 Btu/hr.ft².°F, while the average U value obtained is 8.100 Btu/hr.ft².°F with an efficiency of 86.40 %. It can be concluded that the *jacketed vessel* (E-240) is still performing well because the heat transfer efficiency is less than <70 %.

Keywords: efficiency, fluid, *jacketed vessel*, heating

1. PENDAHULUAN

Produk yang berkualitas baik didapatkan melalui proses produksi berdasarkan CPKB (Cara Pembuatan Kosmetik yang Baik) [1]. *Hand and body lotion* merupakan salah satu produk perawatan dengan persaingan yang tinggi. Banyak industri kosmetik mengeluarkan produk tersebut yang dikhususkan untuk negara tropis [2]. PT Sejahtera Utama merupakan salah satu industri yang memproduksi *hand and body lotion* dengan proses utama yaitu pencampuran seluruh bahan dengan penambahan proses pemanasan menggunakan *jacketed vessel* (E-240).

Alat penukar panas merupakan alat yang penting dalam memindahkan energi dalam bentuk panas antar fluida yang memiliki suhu berbeda. Pertukaran panas terjadi saat adanya kontak secara langsung maupun tidak langsung. Fluida dalam alat penukar panas terdiri dari fluida panas dan fluida dingin. Efektivitas pertukaran panas yang baik dapat didapatkan melalui perancangan alat terlebih dahulu [3]. Efektivitas pertukaran panas dipengaruhi beberapa faktor seperti, laju pertukaran panas, koefisien perpindahan panas keseluruhan, dan luas bidang perpindahan panas [4]. *Jacketed vessel* merupakan salah satu alat penukar panas yang sering diaplikasikan pada proses di industri karena kapasitas dan suhunya yang dapat disesuaikan [5].

Proses utama pembuatan kosmetik yaitu pencampuran bahan baku yang dilakukan secara otomatis menggunakan *jacketed vessel* [1]. Proses pemanasan dalam *jacketed vessel* diperlukan untuk memperoleh dan menjaga suhu fluida sesuai yang dibutuhkan [6]. *Jacketed vessel* merupakan tangki berjaket berpengaduk dengan susunan berupa tangki sebagai wadah fluida dilengkapi dengan pengaduk untuk mencampur seluruh bahan dan membuat pemanasan menjadi rata [7]. Pemanas pada *jacketed vessel* berupa *jacket* atau ruang yang mengelilingi tangki. Prinsip kerja dari *jacketed vessel* yaitu fluida masuk dalam tangki untuk dipanaskan menggunakan pemanas yang berasal dari *jacket* berupa steam. Penggunaan *jacket* bertujuan untuk membantu sirkulasi panas merata di sekeliling tangki dan mengurangi transfer panas dari tangki menuju lingkungan [8]. Suhu fluida dalam tangki dapat berubah akibat perubahan laju alir atau suhu fluida panas yang masuk ke *jacket*. Oleh karena itu, suhu dalam tangki harus dijaga supaya perpindahan panas terjadi secara efisien [9].

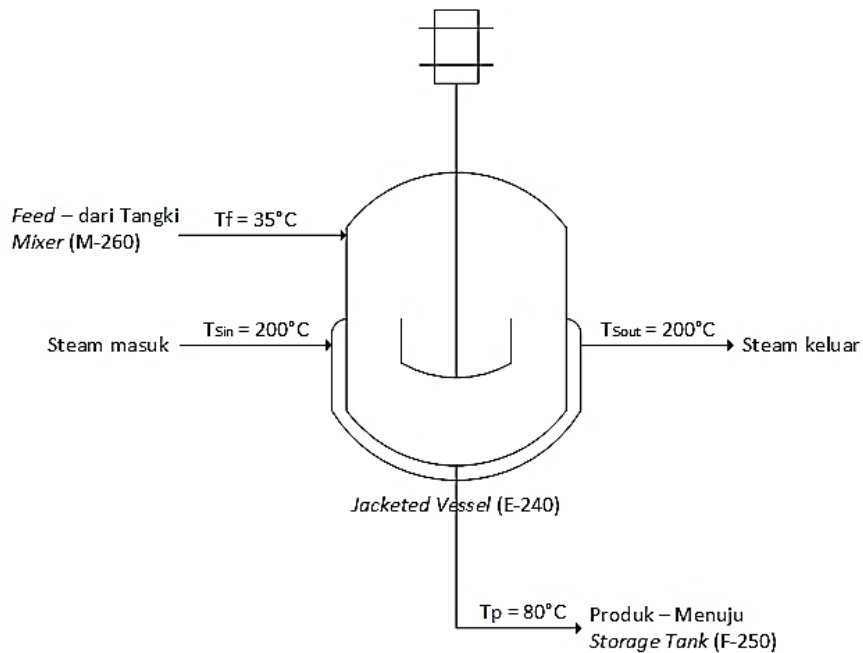
Upaya peningkatan kinerja alat *jacketed vessel* dapat diketahui melalui perhitungan efisiensi perpindahan panasnya. Efisiensi perpindahan panas perlu dilakukan untuk menghindari kemungkinan terjadinya peningkatan kebutuhan energi dan suhu operasi yang tidak stabil [10]. Kinerja alat *jacketed vessel* yang menurun dapat berpengaruh pada alat lainnya dan kualitas produk yang dihasilkan [11]. Alat *jacketed vessel* yang beroperasi dalam jangka waktu lama juga mempengaruhi penurunan kinerja alat sehingga perlu *maintenance* pada periode tertentu [12].

Jacketed Vessel (E-240) yang digunakan pada produksi *hand and body lotion* di PT Sejahtera Utama ini telah digunakan lebih dari 10 tahun dengan pemakaian selama 24 jam setiap harinya. *Jacketed vessel* (E-240) ini merupakan alat dengan usia dan lama pengoperasian yang cukup lama. Oleh karena itu, untuk mengetahui evaluasi kinerja *jacketed vessel* (E-240) perlu dilakukan perhitungan efisiensi perpindahan panas pada alat tersebut.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data meliputi data *design* alat *jacketed vessel* (E-240), suhu masuk feed (T_f), suhu masuk steam (T_{sin}), suhu keluar produk (T_p), dan suhu keluar steam (T_{sout}). Diketahui bahwa feed sebagai fluida dingin dan steam sebagai fluida panas. Pengambilan data tersebut dilakukan selama 12 hari kerja. Alat *jacketed vessel* (E-240) pada Gambar 1.



Gambar 1. Process flow diagram jacketed vessel (E-240)

Data yang didapatkan adalah data *design* dan suhu fluida dalam tangki *jacketed vessel* (E-240) yang ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data *design* alat *jacketed vessel* (E-240)

Diketahui			
Kapasitas tangki	9416,47	kg	20759,76 lb
Suhu feed (T_f)	35	$^{\circ}\text{C}$	95 $^{\circ}\text{F}$
Suhu produk (T_p)	80	$^{\circ}\text{C}$	176 $^{\circ}\text{F}$
Suhu steam masuk (T_{sin})	200	$^{\circ}\text{C}$	392 $^{\circ}\text{F}$
Diameter vessel (D_v)	1,9063	m	6,2542 ft
Ketinggian vessel (H_v)	3,8	m	12,4671 ft
Ketinggian fluida dalam vessel (H_f)	3,04	m	9,9773 ft
Kecepatan pengadukan (N)	50	rpm	
Diameter impeller ($D_{impeller}$)	0,9	m	2,9527 ft
Tebal dinding <i>jacket</i> (x)	0,25	inch	0,0208 ft
Konduktivitas fluida dalam vessel (K)	9,4	Btu/hr.(ft ²).($^{\circ}\text{F}/\text{ft}$)	

Tabel 2. Data suhu steam masuk dan suhu produk dari alat *jacketed vessel* (E-240)

Data hari ke-	T _{sin} (°C)	T _p (°C)	Data hari ke-	T _{sin} (°C)	T _p (°C)
1	179,98	70,00	7	183,68	72,79
2	184,20	72,89	8	178,87	70,11
3	181,78	71,09	9	184,01	72,68
4	179,11	69,66	10	182,19	71,44
5	179,78	69,98	11	178,05	70,21
6	180,45	71,87	12	185,16	72,94

2.2. Perhitungan

Koefisien perpindahan panas *overall* (U) dari alat *jacketed vessel* (E-240) dihitung dengan beberapa tahapan adalah mencari properti dari fluida dalam vessel dan fluida dalam jacket (asumsi fluida dalam vessel massa jenisnya sama dengan air) [13]

Tabel 3. Tabel properti fluida

Feed masuk dalam vessel		Steam dalam jacket		
Specific heat capacity (Cp)	0,99 Btu/ lb°F			
Konduktivitas (k)	0,19 Btu/hr.(ft ²).°F/ft)	Entalpi	1000	Btu/(hr).(ft ²).°F
Viskositas (μ)	15000 cP	(h _s)		
Densitas (ρ)	68,67 lb/ft ³			

Menghitung nilai luas perpindahan panas (A)

$$A = \pi \times D_V \times H_f \tag{1}$$

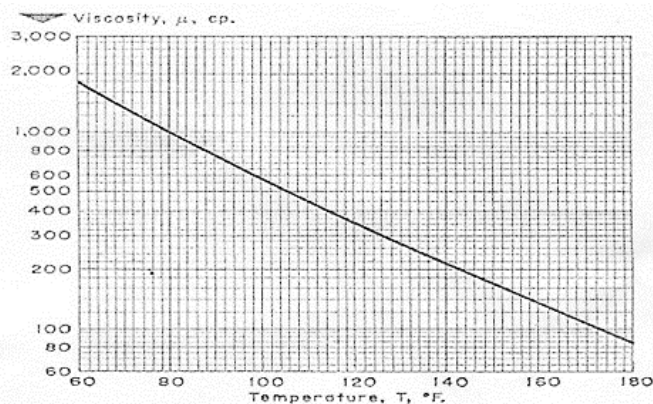
Dengan keterangan:

A = Luas perpindahan panas (ft²)

π = 3,14

D_V = Diameter vessel (ft)

H_f = Ketinggian fluida dalam vessel (ft)



Gambar 2. Grafik penentuan nilai viskositas fluida [14]

Menghitung nilai bilangan Reynold (N_{RE}) dari produk :

$$N_{RE} = \frac{\rho \cdot N \cdot D_{impeller}}{\mu_b} \quad (2)$$

Dengan keterangan:

- N_{RE} = Bilangan Reynold dari produk
 ρ = Densitas produk (lb/ft³)
 N = Kecepatan pengadukan (rpm)
 $D_{impeller}$ = Diameter impeller (ft)
 μ_b = Viskositas produk pada suhu produk (cP)

Menghitung bilangan Prandtl (N_{PR}) dari produk :

$$N_{PR} = \frac{C_p \times \mu_b}{k} \quad (3)$$

Dengan keterangan:

- N_{PR} = Bilangan Prandtl dari produk
 C_p = *Specific heat capacity* dari produk (Btu/lb.°F)
 μ_b = Viskositas produk pada suhu produk (cP)
 k = Konduktivitas feed masuk dalam vessel (Btu/(hr).(ft²).(°F/ft))

Menghitung entalpi mula-mula (hi_0) :

$$hi_0 \cdot \frac{D_v}{k} = 0,73 \times (N_{RE})^{0,65} \times (N_{PR})^{0,33} \quad (4)$$

Dengan keterangan:

- hi_0 = Entalpi mula-mula (Btu/(hr).(ft²).(°F))
 D_v = Diameter vessel (ft)
 k = Konduktivitas feed masuk dalam vessel (Btu/(hr).(ft²).(°F/ft))
 N_{RE} = Bilangan Reynold
 N_{PR} = Bilangan Prandtl

Menghitung suhu dinding vessel (T_w) :

$$T_w = T_s - \left(\frac{(T_{s_{in}} - T_p)}{1 + \left(\frac{h_s}{hi_0} \right)} \right) \quad (5)$$

Dengan keterangan:

- T_w = Suhu dinding vessel (°F)
 $T_{s_{in}}$ = Suhu steam masuk (°F)
 T_p = Suhu produk (°F)
 h_s = Entalpi steam (Btu/(hr).(ft²).(°F))
 hi_0 = Entalpi mula-mula (Btu/(hr).(ft²).(°F))

Menghitung nilai viskositas produk (μ_w) pada suhu dinding vessel dengan grafik pada Gambar 2 dengan cara menghitung rasio viskositas, menghitung entalpi produk akhir (h_i) dan menghitung efisiensi perpindahan panas.

$$\text{Rasio viskositas} = (\mu_w/\mu_b) \quad (6)$$

Dengan keterangan:

μ_w = Viskositas produk pada suhu dinding vessel (cP)

μ_b = Viskositas produk pada suhu produk (cP)

$$h_i \cdot \frac{D_v}{k} = 0,73 \times (N_{RE})^{0,65} \times (N_{PR})^{0,33} \times \left(\frac{\mu_w}{\mu_b}\right)^{0,14} \quad (7)$$

Dengan keterangan:

h_i = Entalpi akhir (Btu/(hr).(ft²).°F)

D_v = Diameter vessel (ft)

k = Konduktivitas feed masuk dalam vessel (Btu/(hr).(ft²).°F/ft)

N_{RE} = Bilangan Reynold

N_{PR} = Bilangan Prandtl

(μ_w/μ_b) = Rasio viskositas

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{x}{K} + \frac{1}{h_s} \quad (8)$$

Dengan keterangan:

U = Koefisien perpindahan panas *overall* (Btu/(hr).(ft²).°F)

h_i = Entalpi akhir (Btu/(hr).(ft²).°F)

x = Tebal dinding *jacket* (ft)

K = Data *design* konduktivitas fluida dalam vessel (Btu/hr.(ft²).°F/ft)

h_s = Entalpi steam (Btu/(hr).(ft²).°F)

$$\text{Efisiensi} = \frac{U_n}{U_{\text{design}}} \times 100\% \quad (9)$$

Dengan keterangan:

U_n = Koefisien perpindahan panas *overall* hari ke-n (Btu/(hr)(ft²)°F)

U_{design} = Koefisien perpindahan panas *overall* design (Btu/(hr)(ft²)°F)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah didapatkan koefisien perpindahan panas *overall* (U) dari alat *jacketed vessel* (E-240) dapat diketahui hasil evaluasi kinerjanya pada Tabel 4. Perpindahan panas dalam *jacketed vessel* sangat penting dalam menjaga kondisi operasional di dalamnya menjadi optimal dan efisien. Mekanisme perpindahan panas dalam *jacketed vessel* mencakup beberapa proses yaitu, perpindahan panas konduksi dan konveksi [15]. Perpindahan panas

secara konduksi terjadi melalui kontak antara dinding tangki yang berbahan *stainless steel* dengan fluida dingin yang mengalir ke dalam tangki [16]. Dinding tangki menghantarkan panas dari fluida panas berupa steam yang berasal dari dalam *jacket* menuju fluida dingin di dalam tangki [17].

Tabel 4. Data hasil perhitungan evaluasi kinerja *jacketed vessel* (E-240)

data hari ke-	T _{sin} (°C)	T _{sin} (°F)	T _p (°C)	T _p (°F)	μ _b (cP)	N _{RE}	N _{PR}
<i>design</i>	200	392	80,00	176,000	100	299,359	248,7437
1	179,98	355,964	70,00	158,000	160	187,099	397,9899
2	184,2	363,56	72,89	163,202	121	247,404	300,9799
3	181,78	359,204	71,09	159,962	138	216,927	343,2663
4	179,11	354,398	69,66	157,388	140	213,828	348,2412
5	179,78	355,604	69,98	157,964	140	213,828	348,2412
6	180,45	356,81	71,87	161,366	131	228,518	325,8543
7	183,68	362,624	72,79	163,022	121	247,404	300,9799
8	178,87	353,966	70,11	158,198	130	230,276	323,3668
9	184,01	363,218	72,68	162,824	131	228,518	325,8543
10	182,19	359,942	71,44	160,592	131	228,518	325,8543
11	178,05	352,49	70,21	158,378	139	215,366	345,7538
12	185,16	365,288	72,94	163,292	121	247,404	300,9799

Tabel 5. Data hasil perhitungan evaluasi kinerja *jacketed vessel* (E-240)

data hari ke-	h _{i0} (Btu/(hr).(ft ²)°F)	T _w (°F)	μ _w (cP)	μ _w /μ _b	h _i (Btu/(hr).(ft ²) °F)	1/U ((hr).(ft ²) °F/Btu)
<i>design</i>	11,672	389,5079	26	0,260	9,666	0,107
1	10,042	353,9957	22	0,138	7,607	0,135
2	10,981	361,3837	23	0,190	8,704	0,118
3	10,529	357,128	23	0,167	8,193	0,125
4	10,481	352,3546	22	0,157	8,089	0,127
5	10,481	353,5541	22	0,157	8,089	0,127
6	10,706	354,7397	23	0,176	8,392	0,122
7	10,981	360,4559	24	0,198	8,756	0,117
8	10,732	351,8873	22	0,169	8,369	0,123
9	10,706	361,0953	23	0,176	8,392	0,122
10	10,706	357,8304	23	0,176	8,392	0,122
11	10,505	350,4721	22	0,158	8,115	0,126
12	10,981	363,0939	23	0,190	8,704	0,118

Perpindahan panas secara konveksi terjadi ketika fluida dingin memperoleh transfer panas melalui dinding tangki yang berasal dari steam dalam *jacket*. Kecepatan aliran fluida

panas tersebut mempengaruhi efisiensi perpindahan panas. Semakin cepat aliran fluida panas, maka perpindahan panas secara konveksi meningkat [18]. Proses pengadukan fluida di dalam tangki dengan kecepatan tertentu juga mempengaruhi efisiensi perpindahan panas. Proses pengadukan dapat meningkatkan perpindahan panas karena distribusi perpindahan panas pada fluida dingin menjadi lebih rata [5].

Tabel 6. Data hasil perhitungan efisiensi perpindahan panas *jacketed vessel* (E-240)

Data hari ke-	U (Btu/(hr).(ft ²).°F)	Efisiensi (%)
<i>design</i>	9,375	100,00%
1	7,425	79,20%
2	8,467	90,32%
3	7,983	85,15%
4	7,884	84,09%
5	7,884	84,09%
6	8,171	87,16%
7	8,516	90,84%
8	8,150	86,93%
9	8,171	87,16%
10	8,171	87,16%
11	7,909	84,36%
12	8,467	90,32%
<i>Rata-rata</i>	8,100	86,40%



Gambar 3. Grafik koefisien perpindahan panas *overall* alat *jacketed vessel* (E-240)

Efisiensi perpindahan panas dapat ditinjau dari nilai koefisien perpindahan panas *overall* (U). Koefisien perpindahan panas *overall* merupakan parameter yang menggambarkan efisiensi perpindahan panas dari suatu sistem [19]. Koefisien perpindahan panas *overall* menunjukkan seberapa besar panas yang dipindahkan melalui suatu alat penukar panas yang mencakup semua mekanisme perpindahan panas seperti konduksi dan konveksi [20]. Semakin tinggi nilai koefisien perpindahan panas *overall* (U), maka semakin tinggi efisien perpindahan panasnya [21]. Beberapa faktor yang harus diperhatikan agar nilai U semakin optimal antara

lain, viskositas fluida, kecepatan aliran fluida, jenis perpindahan panas, dan *design jacketed vessel* [22].

Perhitungan evaluasi kinerja dari *jacketed vessel* (E-240) ditinjau dari analisa nilai koefisien perpindahan panas *overall* (U). Hasil pada Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai koefisien perpindahan panas *overall* (U) pada data *design* sebesar 9,375 (Btu/(hr).(ft²).°F), sedangkan rata-rata koefisien perpindahan panas *overall* (U) pada data operasional sebesar 8,100 (Btu/(hr).(ft²).°F). Nilai U rata-rata mengalami penurunan dari nilai U *design*. Hal ini dikarenakan alat beroperasi di bawah suhu pemanasan ketika *design* yaitu 80°C. Penentuan suhu produksi di bawah suhu *design* memiliki tujuan untuk faktor keselamatan yaitu untuk mengurangi resiko *overheating*, kebakaran dan kecelakaan lainnya serta dapat memperpanjang umur alat dan mengurangi biaya perawatan [23].

Nilai rata-rata U pada data operasional yang lebih kecil dari data *design* menyebabkan nilai efisiensi perpindahan panas pada data operasional juga lebih kecil yaitu 86,40 % dibandingkan nilai efisiensi perpindahan panas optimal sebesar 100 %. Nilai tersebut masih dikatakan tinggi karena didukung dengan pengoperasian yang cukup baik. Nilai efisiensi perpindahan panas yang tidak kurang dari 70 % dapat dinyatakan alat *jacketed vessel* (E-240) masih dalam performa yang baik [24]. Nilai efisiensi perpindahan panas yang berbeda dikarenakan oleh usia alat. Semakin lama alat penukar panas digunakan menyebabkan kemungkinan adanya pengotor yang dapat mengurangi laju perpindahan panas. Hal ini dapat dicegah dengan adanya pembersihan secara berkala [25]. Jadwal pembersihan dilakukan selama dua tahun sekali dan terakhir dilakukan pada awal tahun 2023. Faktor lain yang mempengaruhi yaitu, adanya *heat loss* yang tidak dapat dihindari dalam sebuah proses pemanasan, namun masih dalam batas toleransi dan tidak membebani proses produksi [26].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil perhitungan evaluasi kinerja alat *jacketed vessel* (E-240) pada produksi *hand and body lotion* didapatkan koefisien perpindahan panas *overall* (U) sebesar 8,100 (Btu/(hr)(ft²)°F) dengan efisiensi perpindahan panas sebesar 86,40 %. Nilai tersebut lebih kecil dari data *design* dengan nilai U sebesar 9,375 (Btu/(hr)(ft²)°F) dan efisiensi perpindahan panas sebesar 100%. Nilai efisiensi perpindahan panas yang masih di atas 70% menandakan bahwa alat *jacketed vessel* (E-240) masih dalam performa yang baik. Perbedaan nilai tersebut dikarenakan *jacketed vessel* bekerja di bawah suhu *design* karena memperhatikan faktor keselamatan yaitu untuk mengurangi resiko *overheating*, kebakaran dan kecelakaan lainnya serta dapat memperpanjang umur alat dan mengurangi biaya perawatan.

Alat *jacketed vessel* (E-240) yang sudah disimpulkan masih dalam performa baik hanya perlu dilakukan peningkatan efisiensi perpindahan panasnya. Untuk lebih meningkatkan efisiensi perpindahan panas disarankan dengan cara menambah frekuensi jadwal pembersihan alat *jacketed vessel* (E-240) menjadi satu tahun sekali. Penambahan frekuensi tersebut diharapkan efisiensi perpindahan panas tidak mengalami penurunan seiring bertambahnya umur alat.

REFERENSI

- [1] R. Dwiyantri, M. Hubeis, dan G. Suprayitno, "Perumusan Strategi Operasi-Produksi Kosmetik (Studi Kasus PT ANI)," *Jurnal Manajemen Pengembangan Industri Kecil Menengah*, vol. 12, no. 1, hal. 35, 2017.
- [2] M. S. Anam, D. L. Nadila, T. A. Anindita, dan R. Rosia, "Pengaruh Kualitas Produk, Harga dan Brand Image terhadap Keputusan Pembelian Produk Hand and Body Lotion Merek Citra," *Jesya: Jurnal Ekonomi dan Ekonomi Syariah*, vol. 4, no. 1, hal. 120–136, 2020.
- [3] F. Rozi, "Pengaruh Temperatur terhadap Efektivitas Perpindahan Panas menggunakan Nanofluida CuO – Air pada Shell and Tube Heat Exchanger," *Jurnal Teknik Mesin.*, vol. 9, no. 2, hal. 81–88, 2021.
- [4] S. Andalucia, "Analisis Perpindahan Panas Heat Exchanger Tipe Shell and Tube pada Gas Turbine Generator di PLTGU Gunung Megang Muara Enim," *Petro: Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, vol. 11, no. 4, hal. 181–190, 2022.
- [5] S. Sudaryadi, I. D. Rachmawati, dan H. Poernomo, "Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan Waktu Tinggal Reaktan terhadap Temperatur dan Volume Fluid dalam RATB Bench Scale untuk Persiapan Sintesis ZBS," *Indonesia Journal of Chemical Science*, vol. 9, no. 3, hal. 179–186, 2020.
- [6] A. Wahid, I. G. E. P. Putra, F. F. Adicandra, A. P. Prasetyo, dan Y. Wiranoto, "Pemodelan Dinamik dan Pengendalian Proses Stirred Tank Heater menggunakan Sistem Dinamik," *Sinergi: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, vol. 21, no. 2, hal. 83, 2017.
- [7] M. Maha, E. M. Anas, K. Ismail, S. Said, dan B. Mohamed, "An Investigation of Heat Transfer Performance in an Agitated Vessel," *Processes: Open Access Scientific Journal*, vol. 9, no. 3, hal. 468, 2021.
- [8] Wikamdani, N. Mulyono, dan D. Septiyanto, "Sistem Pengendali Suhu Tangki Pengaduk dengan Fuzzy Logic dan PID Berbasis Matlab," *Jurnal Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan*, hal. 151–159, 2021.
- [9] A. Wahid dan R. Gunawan, "Metode Korelasi Baru pada Penyetelan Pengendali PID dengan Pendekatan Model Empirik FOPDT," *Sinergi: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, vol. 7, hal. 1–9, 2015.
- [10] S. A. Pravitasari, F. Angestine, dan P. H. Suharti, "Evaluasi Kinerja Alat Glycol Fan Cooler (E-230) pada Proses Regenerasi Glikol Minarak Brantas Gas Inc," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 143–150, 2023.
- [11] E. N. N. A. Ansar, A. Maylia, A. Chumaidi, dan A. Kresmagus, "Evaluasi Efisiensi Heat Exchanger (E-3101) pada Pabrik AlF₃ Departemen Produksi III B PT Petrokimia Gresik," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 218–223, 2023.
- [12] A. N. Al 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. 01, 2022.
- [13] D. Q. Kern, "Process Heat Transfer," *New York America: Mc Graw-Hill Book Company*, 1983.
- [14] S. Saba, F. Fariha, dan S. Shazia, "Design of Agitated Heat Transfer Vessel," *Processes:*

- Open Access Scientific Journal*, vol. 2, hal. 1–37, 2018.
- [15] L. Wang, Y. Zhou, dan Z. Chen, "Investigation of Heat Transfer Efficiency of Improved Intermig Impellers in a Stirred Tank Equipped with Vertical Tubes," *International Journal Chemical Reactor Engineering*, vol. 18, no. 3, Mar 2020.
- [16] D. Ivananda, R. D. Ahmad, dan M. A. I. Iswara, "Analisis Koefisien Perpindahan Panas Alat Double Pipe Heat Exchanger Berbasis Computational Fluid Dynamics," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 9, no. 3, hal. 240–250, 2023.
- [17] W. P. Marsis dan D. Saputro, "Analisis Reaktor Alir Tangki Pengaduk pada Kapasitas 20 M³ dengan Temperatur 1520 C," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 1(3), no. 1, hal. 24–35, 2016.
- [18] N. Titahelu, "Analisis Pengaruh Kecepatan Fluida Panas Aliran Searah terhadap Karakteristik Heat Exchanger Shell and Tube," *Jurnal Teknologi*, vol. 5, no. 2, hal. 819–824, 2019.
- [19] P. V. Gusniawan, A. Z. Aldillah, dan S. Rulianah, "Evaluasi Performa Heat Exchanger 11E-25 CDU I (Crude Distillation Unit I) pada FOC I (Fuel Oil Complex I) PT Pertamina (Persero) Refinery Unit IV Cilacap Jawa Tengah," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 2, hal. 463–475, 2024.
- [20] I. Syaichurrozi, A. M. Karina, dan A. Imanuddin, "Study of Plate and Frame Heat Exchanger Performance," *Eksergi: Jurnal Teknik Kimia*, vol. 11, no. 2, hal. 11, 2014.
- [21] C. S. E. Tupamahu dan C. Narmo, "Pengaruh Temperatur Fluida Panas Masuk terhadap Karakteristik Penukar Panas Shell and Tube," *Jurnal Teknik Mesin, Elektro, Informatika, Kelautan dan Sains*, vol. 1, no. 1, hal. 9–16, 2021.
- [22] A. Shahab dan A. Wahyuningsi, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger-003 di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM Migas Cepu)," *Journal of Innovation Research and Knowledge.*, vol. 2, no. 8, hal. 3229–3242, 2023.
- [23] R. Walikrom, A. Muin, dan H. Hermanto, "Studi Kinerja Plate Heat Exchanger pada Sistem Pendingin PLTGU," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, hal. 2621–3354, 2018.
- [24] A. Barun dan E. Rukmana, "Analisis Performansi pada Heat Exchanger Jenis Shell and Tube Tipe BEM dengan Menggunakan Perubahan Laju Aliran Massa Fluida Panas (Mh)," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 2, hal. 1–7, 2015.
- [25] H. Huda, "Optimisasi Proses Penjadwalan Pembersihan pada Sebuah Heat Exchanger Networks (HEN) yang disebabkan oleh Fouling di Sebuah Crude Oil Refinery," Doctoral Thesis, Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2021.
- [26] 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 Migas*, vol. 4, no. 1, hal. 23–28, 2022.