

PENENTUAN EFISIENSI KINERJA ALAT PEMANAS JACKETED VESSEL BERPENGADUK (E-380) PADA PEMBUATAN PASTA GIGI DI PT SEJAHTERA UTAMA

Eno Budhi Triadmaja Putra¹, Hardjono², Bowo Pujo Prasetyo³

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

enobudhi7@gmail.com; [hardjono@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Vessel berjaket adalah jenis wadah atau tangki yang digunakan dalam proses industri untuk mengontrol suhu reaksi dan perpindahan panas dalam sistem. vessel berjaket terdiri dari dua lapisan dinding yaitu dinding dalam dan dinding luar. Dinding bagian dalam merupakan wadah utama bagi bahan atau campuran yang direaksikan atau dipanaskan. Sedangkan dinding luar berbentuk mantel yang mengelilingi dinding bagian dalam. Dalam industri *Jacketed Vessel* sering digunakan dalam proses produksi seperti industri kosmetik. Kinerja *Jacketed Vessel* pada proses di industri perlu diperhatikan, hal ini bertujuan untuk menjaga efisiensi pemanasan atau pendinginan berjalan secara normal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan mengevaluasi efisiensi *Jacketed Vessel* dari nilai koefisien perpindahan panas dalam proses pembuatan pasta gigi. Tahapan awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengumpulkan data desain dari *Jacketed Vessel* dan data saat kondisi operasi. Variabel yang digunakan adalah suhu operasi dari 12 hari kerja. Hasil penelitian yang didapat pada kinerja *Jacketed Vessel* untuk nilai U data desain sebesar 8,807 Btu/(jam).(ft²).(°F), sedangkan nilai U rata-rata dari hasil penelitian didapatkan 7,261 Btu/(jam).(ft²).(°F) dengan efisiensi 88,28%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa alat *Jacketed Vessel* tidak bekerja pada efisiensi 100%, akan tetapi kinerja alat masih optimal karena memiliki nilai efisiensi di atas 70%.

Kata kunci: efisiensi, *heat exchanger*, *jacketed vessel*, pemanasan, RATB.

ABSTRACT

A jacketed vessel is a type of container or tank used in industrial processes to control the reaction temperature and heat transfer in the system. Jacketed vessels consist of two layers of walls, namely the inner wall and the outer wall. The inner wall is the main container for materials or mixtures that are reacted or heated. Meanwhile, the outer wall is in the form of a mantle that surrounds the inner wall. In the Jacketed Vessel industry, it is often used in production processes such as the cosmetics industry. Jacketed Vessel performance in industrial processes needs to be considered, this aims to maintain normal heating or cooling efficiency. This research aims to determine and evaluate the efficiency of the Jacketed Vessel from the heat transfer coefficient value in the toothpaste making process. The initial stage carried out in this research was collecting design data from the Jacketed Vessel and data during operating conditions. The variable used is the operating temperature of 12 working days. The research results obtained on the performance of the Jacketed Vessel for the U value of the design data were 8.807 Btu/(hour).(ft²).(°F), while the average U value from the research results was 7.261 Btu/(hour).(ft²).(°F) with an efficiency of 88.28%. It can be concluded that the Jacketed Vessel tool does not work at 100% efficiency, however the tool performance is still optimal because it has an efficiency value above 70%.

Keywords: efficiency, *heat exchanger*, *jacketed vessel*, heating, CSTR

Corresponding author: Hardjono

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

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

E-mail: hardjono@polinema.ac.id



1. PENDAHULUAN

Indonesia menjadi pasar potensial untuk produk-produk *Fast Moving Consumer Goods* (FMCG) dengan pertumbuhan yang menunjukkan angka 15% berdasarkan hasil *survey* yang dilakukan Kantar World Panel [1]. Salah satu produk FMCG yang sering kita jumpai adalah kosmetik dan pasta gigi. Pada produksi pasta gigi di PT Tempo Utama Sejahtera proses utama terjadi pada unit *making*. Pada unit ini, terjadi proses *mixing* seluruh *raw material* dengan penambahan pemanasan menggunakan alat *Jacketed Vessel* (E-380).

Penukar panas adalah suatu alat yang digunakan untuk menukar panas dari suatu cairan ke cairan lainnya dengan perbedaan suhu [2]. Alat penukar panas adalah penukar panas yang mengubah suhu suatu fluida untuk pendinginan atau pemanasan. Untuk mencapai kinerja yang optimal, diperlukan desain penukar panas yang sangat baik yang dapat memberikan efisiensi perpindahan panas yang tinggi [3]. Prinsip perpindahan panas mempunyai penerapan yang luas dalam proses industri. Misalnya, perpindahan panas merupakan salah satu operasi utama yang terjadi dalam bioreaktor yang diaduk [4]. Secara umum, proses perpindahan panas sering kita jumpai pada alat industri salah satu nya *Jacketed Vessel*. Tangki berpengaduk mekanis digunakan secara luas dalam industri-industri kimia untuk macam-macam proses pencampuran, salah satunya adalah untuk pencampuran reaktan cair suatu reaksi [5]. Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) merupakan salah satu jenis reaktor yang biasanya berbentuk tangki dan beroperasi secara kontinyu [6].

Pada industri yang bergerak pada bidang kosmetik sering kali proses utama pada pembuatan produk melibatkan *Jacketed Vessel* untuk proses pemanasan [7]. Hal ini juga dikarenakan *Jacketed Vessel* merupakan alat yang cocok untuk pemanasan pada industri tersebut. *Jacketed Vessel* juga sering disamakan dengan *vessel* ber coil padahal memiliki perbedaan yaitu *Jacketed Vessel* itu menggunakan mantel berjaket sedangkan *vessel coil* menggunakan *coil* seperti kumparan yang mengelilingi dinding *vessel*. Pada sistem tersebut, terdapat *heat pipe* yang melingkari *chamber* yang nantinya dapat membuang kalor/panas ke lingkungan, *heat pipe* tersebut melingkari sepertiga dari permukaan tangki pendingin [8].

Media yang digunakan untuk pemanasan dalam jaket maupun *coil* adalah *steam*. Air panas atau *steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses [9]. Sedangkan untuk media pendinginan menggunakan air pendingin dari unit utilitas. Utilitas adalah unit yang beroperasi untuk mendukung unit lain dalam suatu industri, dan banyak industri sekarang menggunakan sistem pendingin air dalam prosesnya [10].

Kinerja suatu alat pada industri pasti memiliki efisiensi kinerja untuk menunjang proses produksi, seperti hal nya alat *Jacketed Vessel* dalam pembuatan pasta gigi ini pasti memiliki efisiensi kinerja saat produksi. Dengan meningkatnya kebutuhan energi maka diperlukan suatu usaha untuk melakukan efisiensi pada energi tersebut [11]. Penurunan nilai efisiensi dapat mempengaruhi produk dan kinerja dari alat yang lain [12]. Efisiensi kinerja alat pemanas dapat ditentukan dengan cara mencari nilai koefisien perpindahan panas *overall*. Penentuan nilai tersebut bertujuan untuk mengetahui seberapa efisien alat saat digunakan dan jika kurang efisien maka harus dilakukan perbaikan dan *maintenance*.

Jacketed Vessel yang akan dibahas kali ini adalah (E-380), alat ini telah digunakan selama kurang lebih 10 tahun dengan pemakaian 8 jam dalam sehari untuk pembuatan pasta gigi, akan tetapi pada kinerja setiap hari *Jacketed Vessel* ini tidak bekerja pada kondisi optimal nya. Berdasarkan data desain pada suhu optimal untuk operasi adalah 80°C,

sedangkan pada kondisi nyata alat bekerja pada suhu 70°C. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan mengevaluasi efisiensi alat dari *Jacketed Vessel* (E-380) sehingga dapat diketahui nilai efisiensi alat pemanas *Jacketed Vessel* yang digunakan pada proses produksi pasta gigi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun tahapan metodologi penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

2.1. Pengumpulan Data

Data yang didapatkan adalah data spesifikasi desain alat dan suhu saat operasi yang dijelaskan pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut ini:

Tabel 1. Data spesifikasi alat *Jacketed Vessel* (E-380) pada Unit *Making*

Diketahui			
Kapasitas	1296,749	kg	2858,843 lb
T _{feed}	35	°C	95 °F
T _{produk}	80	°C	176 °F
T _{steam}	200	°C	392 °F
D _{vessel}	1,256	m	4,122 ft
H _{vessel}	1,9	m	6,234 ft
N	50	rpm	
D _{impeller}	0,9	m	2,953 ft
Tebal blade	0,001	m	0,003 ft
Tinggi blade	1,1	m	3,609 ft
Tebal baffle	0,125	inch	0,010 ft
Wall tick	0,125	inch	0,010 ft
k of vessel	9,4	Btu/jam.(ft ²). (°F/ft)	

Tabel 2. Data fluida panas masuk *Jacketed Vessel* (E-380) pada Unit *Making*

data ke -	Suhu (°C)
Desain	80
1	70,00
2	72,21
3	70,87
4	71,34
5	69,96
6	70,55
7	70,22
8	71,49
9	71,12
10	72,02
11	71,78
12	71,26

2.2. Perhitungan

Guna menghitung koefisien perpindahan panas *overall* dari alat pemanas *Jacketed Vessel* (E-380) dapat dilakukan dengan beberapa tahapan penyelesaian sebagai berikut:

1. Mencari properti dari fluida (dengan asumsi fluida dalam *vessel* massa jenis nya sama dengan *glycerin*). Nilai $C_p = 0,65 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$, nilai $k = 0,164 \text{ Btu/jam.}(\text{ft}^2).(\text{}^\circ\text{F}/\text{ft})$, nilai $M = 100000$, nilai $P = 78,65 \text{ lb/ft}^3$, nilai $h_s = 1000 \text{ Btu/(jam).}(\text{ft}^2).(\text{}^\circ\text{F})$. Nilai tersebut diambil pada buku *kern* [13].
2. Menghitung nilai luas permukaan *vessel* (A)

$$A = \pi \times D_V \times H \quad (1)$$

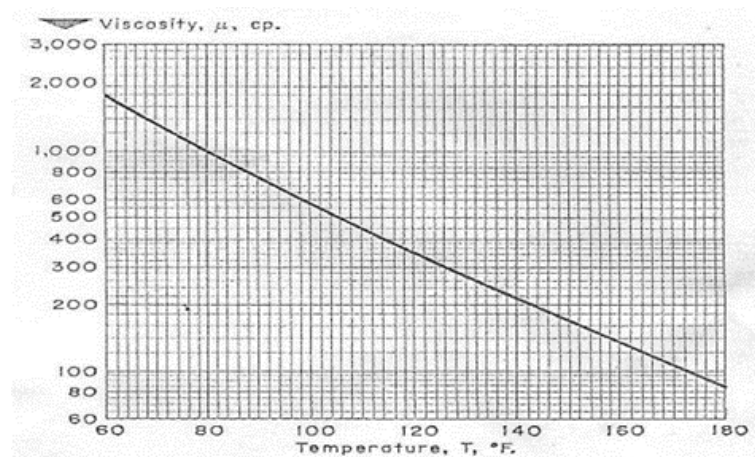
Dimana:

A = Luas penampang permukaan *vessel* (ft^2)

D_V = Diameter *vessel* (ft)

H = Tinggi *vessel* (ft)

3. Menghitung nilai viskositas fluida dalam *vessel* disimbolkan dengan μ_b pada suhu produk dengan Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Grafik penentuan nilai viskositas fluida [14]

4. Menghitung bilangan reynold (N_{re})

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

Dimana:

N_{RE} = Bilangan reynold

ρ = Densitas fluida dalam *vessel* (lb/ft^3)

N = Kecepatan pengadukan (rpm)

D_{imp} = Diameter impeller (ft)

μ_b = Viskositas fluida dalam *vessel* (cP)

5. Menghitung bilangan prandtl (N_{pr})

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

Dimana:

N_{pr} = Bilangan prandtl

C_p = *heat capacity* dalam *vessel* (Btu/ lb.°F)

μ_b = Viskositas fluida dalam *vessel* (cP)

k = Konduktivitas fluida dalam *vessel* (Btu/(jam).(ft²).(°F/ft))

6. Menghitung entalpi mula-mula (hi_0)

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

Dimana:

hi_0 = entalpi dalam *vessel* mula-mula (Btu/(jam).(ft²).(°F))

D_V = Diameter *vessel* (ft)

k = Konduktivitas fluida dalam *vessel* (Btu/(jam).(ft²).(°F/ft))

N_{RE} = Bilangan reynold

N_{PR} = Bilangan Prandtl

7. Menghitung temperatur dinding *vessel* (T_w)

$$T_w = T_s - \left(\frac{(T_s - T_{produk})}{1 + \left(\frac{h_s}{h_i} \right)} \right) \quad (5)$$

Dimana:

T_w = Temperatur dinding *vessel* (°F)

T_s = Temperatur *steam* (°F)

T_{produk} = Temperatur produk dalam *vessel* (°F)

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

hi_0 = Entalpi dalam *vessel* mula-mula (Btu/(jam).(ft²).(°F))

8. Menghitung nilai viskositas fluida disimbolkan dengan μ_w pada suhu dinding *vessel* dengan menggunakan cara seperti grafik pada Gambar 1.

9. Menghitung rasio viskositas

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

Dimana:

μ_w = Viskositas fluida pada suhu dinding *vessel* (cp)

μ_b = Viskositas fluida pada suhu produk (cp)

10. Menghitung entalpi akhir (hi)

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

Dimana:

hi = Entalpi akhir (Btu/(jam).(ft²).(°F))

D_V = Diameter *vessel* (ft)

k = Konduktivitas fluida dalam vessel (Btu/(jam).(ft²). (°F/ft))

N_{RE} = Bilangan reynold

N_{PR} = Bilangan Prandtl

(μ_w/μ_b) = Rasio viskositas

11. Menghitung koefisien perpindahan panas *overall* [14].

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

Dimana:

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

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

x = Tebal dinding jaket (ft)

k = Konduktivitas vessel (Btu/(jam).(ft²). (°F/ft))

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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perhitungan evaluasi kinerja *Jacketed Vessel* (E-380) dapat diketahui hasilnya pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. Data hasil perhitungan evaluasi kinerja *Jacketed Vessel* (E-380)

data ke -	Suhu (°C)	Suhu (°F)	μ_b (cp)	N_{RE}	N_{PR}
desain	80,00	176,000	100	342,866	396,342
1	70,00	158,000	140	244,904	554,878
2	72,21	161,978	125	274,292	495,427
3	70,87	159,566	127	269,973	503,354
4	71,34	160,412	129	265,787	511,280
5	69,96	157,928	146	234,839	578,659
6	70,55	158,990	141	243,167	558,842
7	70,22	158,396	145	236,459	574,695
8	71,49	160,682	127	269,973	503,354
9	71,12	160,016	129	265,787	511,280
10	72,02	161,636	122	281,037	483,537
11	71,78	161,204	120	285,721	475,610
12	71,26	160,268	130	263,743	515,244

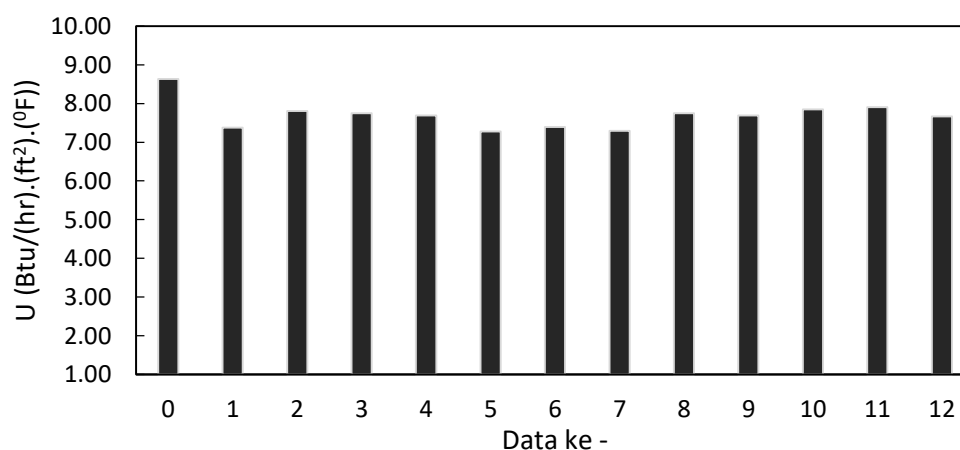
Tabel 4. Data hasil perhitungan evaluasi kinerja *Jacketed Vessel* (E-380)

h_i (awal) (Btu/(jam).(ft ²). (°F))	T_w (°F)	μ_w (cp)	μ_w/μ_b	h_i (akhir) (Btu/(jam).(ft ²). (°F))	$1/U$ (jam).(ft ²). (°F)/Btu)
9,296	390,011	26	0,260	7,698	0,132
8,347	390,063	25	0,179	6,558	0,155
8,655	390,026	26	0,208	6,947	0,146
8,611	390,016	26	0,205	6,896	0,147

hi (awal) (Btu/(jam).(ft ²). (°F))	Tw (°F)	μ_w (cp)	μ_w/μ_b	hi (akhir) (Btu/(jam).(ft ²). (°F))	1/U ((jam).(ft ²). (°F)/Btu)
8,568	390,033	26	0,202	6,847	0,148
8,235	390,088	26	0,178	6,468	0,157
8,328	390,076	26	0,184	6,573	0,154
8,254	390,088	26	0,179	6,489	0,156
8,611	390,025	26	0,205	6,896	0,147
8,568	390,029	26	0,202	6,847	0,148
8,723	390,008	25	0,205	6,987	0,145
8,769	389,994	25	0,208	7,040	0,144
8,547	390,036	26	0,200	6,823	0,149

Tabel 5. Data Hasil perhitungan evaluasi kinerja *Jacketed Vessel* (E-380)

Data hari ke -	U (Btu/(jam). (ft ²). (°F))	Efisiensi (%)
desain	7,575	100,00%
1	6,469	85,39%
2	6,847	90,39%
3	6,798	89,74%
4	6,750	89,10%
5	6,381	84,24%
6	6,483	85,58%
7	6,401	84,50%
8	6,798	89,74%
9	6,750	89,10%
10	6,885	90,89%
11	6,937	91,58%
12	6,726	88,79%
Rata-rata	6,685	88,25%

Gambar 2. Grafik nilai koefisien perpindahan panas *overall* dari *Jacketed Vessel* (E-380)

Dari hasil perhitungan efisiensi kinerja dari *Jacketed Vessel* (E-380) menggunakan metode koefisien perpindahan panas *overall* dapat diketahui rata-rata efisiensi pemanasan adalah 88,25% dengan nilai koefisien perpindahan panas *overall* sebesar 6,685 Btu/(jam).(ft²).(°F). Perubahan temperatur yang terjadi pada *Heat Exchanger* mempengaruhi naik atau turunnya nilai koefisien konveksi [15]. Sehingga dapat dinyatakan bahwa *Jacketed Vessel* (E-380) masih memiliki kinerja yang baik karena efisiensi tidak kurang dari <70%.

Perhitungan juga menunjukkan adanya perbedaan nilai performa dibandingkan data desain asli, yaitu 100%. Nilai perhitungan ini dapat digunakan sebagai indikator apakah suatu *Jacketed Vessel* yang dikuliti mempunyai interval perawatan yang pendek atau panjang. Jika nilai kinerjanya tinggi maka masa pemeliharannya akan lama. Sedangkan jika nilai kinerjanya rendah, maka masa pemeliharannya akan singkat. Penurunan nilai efektif ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain yaitu sengaja diturunkan efisiensi nya untuk memperpanjang waktu *maintenance*, terdapat pengotor, kebocoran, kecepatan alir fluida, waktu dan lamanya operasi dan *maintenance* terakhir. Pengaruh dari faktor-faktor penurunan kinerja alat adalah kinerja alat menjadi berkurang dan suatu saat ketika efisiensi alat sudah <70% maka pastinya membuat alat rusak dan membutuhkan biaya yang sangat besar untuk proses perbaikan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini didapat pada kinerja *Jacketed Vessel* untuk nilai U data desain sebesar 8,807 Btu/(jam).(ft²).(°F), sedangkan nilai U rata-rata dari hasil penelitian didapatkan 7,261 Btu/(jam).(ft²).(°F) dengan efisiensi 88,28%. Hal ini menunjukkan bahwa alat masih efisien karena nilai efisiensi tidak kurang dari <70%. Akan tetapi nilai tersebut mengalami penurunan dari data desain, Dimana nilai efisiensi pada data desain adalah 100%. Penurunan tersebut bisa menjadi indikator untuk jadwal dilakukan *maintenance*.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah mengumpulkan data produksi lebih banyak dari penelitian ini untuk mengetahui lebih detail tentang efisiensi alat perpindahan panas *Jacketed Vessel* atau jaket berkoil.

REFERENSI

- [1] B. Firmansyah dan H. Supriyanto, "Reduksi Waste pada Proses Produksi Pasta Gigi dengan Pendekatan Lean Manufacturing di PT Unilever Indonesia," *Skripsi Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya, 2015.
- [2] R. Walikrom, A. Muin, dan Hermanto, "Studi Kinerja Plate Heat Exchanger pada Sistem Pendingin PLTGU," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, hal. 2621–3354, 2018.
- [3] F. Rozi dan M. Arsana, "Pengaruh Temperatur terhadap Efektivitas Perpindahan Panas menggunakan Nanofluida CuO-Air Pada Shell dan Tube Heat Exchanger," *Jtm*, vol. 09, no. 02, hal. 81–88, 2021.
- [4] M. Mahir, A. El Maakoul, I. Khay, S. Saadeddine, dan M. Bakhouya, "an Investigation of Heat Transfer Performance in an Agitated Vessel," *Processes*, vol. 9, no. 3, hal. 1–19, 2021.
- [5] L. Ling, A. Altway, dan S. Winardi, "Simulasi Pengaruh Pencampuran pada Reaksi Paralel dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk," *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, vol. 3, no. 1, hal. 47–55, 2004.

- [6] Z. A. Nasrul, Y. P. Roja, dan N. Sylvia, "Aplikasi Kontrol PID pada Reaktor Pabrik Asam Formiat dengan Kapasitas 100.000 Ton/Tahun," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 7, no. 2, hal. 135–152, 2018.
- [7] R. Dwiyantri, M. Hubies, dan G. Suprayitno, "Perumusan Strategi Operasi-Produksi Kosmetik (Studi Kasus PT ANI)," *Jurnal Institut Pertanian Bogor*, vol. 12, no. 1, hal. 35–47, 2017.
- [8] D. Angelina, T. Estiasih, A. D. Priyanto, A. W. Putranto, dan D. Widyasari, "Penyusunan Dokumen SOP Proses Produksi Susu Pasteurisasi Berbasis Teknologi PEF di CV. Milknesia Nusantara," *Tekmapro : Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 18, no. 1, hal. 109–120, 2023.
- [9] L. Santia, I. R. Utari, dan Rahmatullah, "Perhitungan Efisiensi Panas Steam Generator dengan Pemanas Thermal Oil pada Unit Energy Plant Industri Fibreboard," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 25, no. 3, hal. 75–79, 2019.
- [10] D. F. Nugraha dan I. Dhamayanthie, "Proses Pengolahan Air Pendingin pada Unit Utilitas Area Karawang," *Jurnal Migasian*, vol. 2, no. 1, hal. 15–21, 2018.
- [11] R. Shanahan dan A. Chalim, "Studi Literatur tentang Efektivitas Alat Penukar Panas Shell and Tube 1-1 Sistem Fluida Gliserin-Metanol dengan Aliran Counter Current," *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 164–170, 2020.
- [12] E. Nabilah, 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," *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 218–223, 2021.
- [13] D. Q. Kern, *Process Heat Transfer*, vol. 21. New York: Mc Graw-Hill International Book Company, 1983.
- [14] Saba, Fariha, dan Shazia, "Design of Agitated Heat Transfer Vessel," a Case Study *Chemical Engineering*, hal. 1–37, 2018.
- [15] D. A. Santoso, "Analisis Koesien Perpindahan Panas Konveksi dan Distribusi Temperatur Aliran Fluida pada Heat Exchanger Counterow menggunakan Solidworks," *Jurnal Ilmiah Komputasi*, vol. 16, no. 2, hal. 161–166, 2017.