

STUDI PERHITUNGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *DOUBLE PIPE* SEBELUM REAKTOR PADA PRA-RANCANGAN PABRIK KIMIA *CUCUMBER SOAP* KAPASITAS PRODUKSI 6.300 TON/TAHUN

Intan Mahrissa Ainursyiam, Nanik Hendrawati

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
mahrissaintan@gmail.com ; [nanik.hendrawati@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Pada situasi dan kondisi pandemi seperti ini, memicu orang-orang untuk selalu menjaga kesehatan dan kebersihan dengan melakukan cuci tangan menggunakan sabun. Sabun merupakan surfaktan yang berguna sebagai zat pembersih dan berasal dari reaksi saponifikasi trigliserida. Keberhasilan produk sabun, didapatkan dari reaksi antara trigliserida (minyak) dan larutan alkali secara sempurna. Proses saponifikasi terjadi didalam reaktor dengan kondisi operasi 90°C. Untuk mengurangi penggunaan *steam* dan beban dari reaktor maka, diperlukan pemanasan awal sebelum memasuki reaktor terhadap larutan minyak dari suhu 30°C mencapai 70°C dengan menggunakan alat penukar panas yaitu *heat exchanger*. Agar tercapai efisiensi yang lebih baik, maka diperlukan perancangan sesuai dengan kebutuhan pemanasan. Upaya terhadap perancangan ini, dilakukan dengan cara memilih jenis *heat exchanger*, dan melakukan perhitungan terhadap dimensi dari *heat exchanger*. Dari perhitungan menggunakan aplikasi *microsoft excel*, didapatkan data berupa panjang pipa 12 ft, luas perpindahan panas 50,754 ft², dan juga menghasilkan *fouling factor* sebesar 0,003 Btu/jam.ft².F yang mana hasil tersebut sudah sama dengan nilai *fouling factor* ketentuan. Hal ini menunjukkan bahwa *heat exchanger* dalam keadaan aman dan layak beroperasi tanpa adanya hambatan.

Kata kunci: double pipe, heat exchanger, perancangan, sabun padat

ABSTRACT

In a pandemic situation and condition like this, it triggers people to always maintain health and hygiene by washing their hands with soap. Soap is a surfactant that is useful as a cleaning agent and comes from the saponification reaction of triglycerides. The success of soap products, obtained from the reaction between triglycerides (oil) and an alkaline solution completely. The saponification process occurs in the reactor with operating conditions of 90°C. To reduce the use of steam and the load from the reactor, it is necessary to preheat before entering the reactor to the oil solution from a temperature of 30°C to 70°C using a heat exchanger. In order to achieve better efficiency, it is necessary to design according to heating needs. Efforts on this design, carried out by selecting the type of heat exchanger, calculating the dimensions of the heat exchanger. From calculations using the Microsoft Excel application, data obtained in the form of a pipe length of 12 ft, heat transfer area of 50,754 ft², and also resulted in a fouling factor of 0.003 Btu/hour.ft².F which is the same as the specified fouling factor value. This shows that the heat exchanger is in a safe condition and is feasible to operate without any obstacles.

Keywords: double pipe, heat exchanger, design, solid soap

1. PENDAHULUAN

Pada situasi dan kondisi pandemi seperti ini, memicu orang-orang untuk selalu menjaga kesehatan dan kebersihan dengan melakukan cuci tangan menggunakan sabun. Sabun merupakan surfaktan yang berguna sebagai zat pembersih dan berasal dari reaksi saponifikasi trigliserida[1]. Keberhasilan produk sabun, didapatkan dari reaksi antara trigliserida (minyak) dan larutan alkali secara sempurna. Untuk mendapatkan keberhasilan tersebut, diperlukan pemanasan awal terhadap larutan minyak menggunakan alat penukar panas yaitu *heat exchanger*.

Salah satu penunjang keberhasilan dalam mencapai jumlah unit maksimal / kapasitas produksi dalam jangka waktu tertentu yaitu dengan meningkatkan efisiensi dari alat atau mesin produksinya[2]. Upaya untuk meningkatkan efisiensi sesuai dengan fungsi kerja dari alat atau mesin yang digunakan, salah satunya dengan pemilihan design penukar kalor sehingga meminimalisir terjadinya beberapa kendala seperti: laju perpindahan kalor, faktor gesekan, pola aliran fluida kerja, jenis material *heat exchanger*, efektifitas perpindahan kalor, dan juga jenis *heat exchanger*[3]. Dengan pemilihan design yang tepat pula, biaya operasional harian dan perawatan akan bisa diminimalisir.

Sebelumnya, telah dilakukan studi perhitungan pada *heat exchanger* pipa ganda dengan sirip berbentuk *delta wing* dengan tujuan untuk meminimalisir permasalahan di lapangan seperti panas yang ditransfer oleh *heat exchanger* belum maksimal, terjadinya penurunan tekanan sehingga kerja pompa menjadi berat dan menimbulkan indikasi pada tingginya biaya untuk listrik dan perawatan[4]. Telah dilakukan studi perhitungan juga pada *heat exchanger* pada proses pembuatan sabun mandi cair dengan tujuan untuk menentukan spesifikasi *heat exchanger* yang terletak sebelum reaktor agar mempermudah proses saponifikasi, sehingga dapat mencegah kegagalan operasi alat ini baik akibat kegagalan mekanikal maupun operasional dan dapat menunjang penuh terhadap operasional unit[5]. Selain itu, penentuan spesifikasi ini ditujukan untuk meminimalisir peningkatan suhu, yang mana kenaikan suhu operasi akan meningkatkan konversi reaksi dari reaktan menjadi produk yang terbentuk [6]. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, desain *heat exchanger* yang terletak sebelum reaktor sangat diperlukan karena selain untuk pemaksimalan kinerja alat, juga menunjang dari keberhasilan proses saponifikasi dalam artian kenaikan suhu dapat menaikkan hasil produksi dalam waktu yang lebih cepat, sehingga pada perancangan pabrik *cucumber soap* kapasitas 6.300 ton/tahun ini juga diperlukan perhitungan desain *heat exchanger*.

Pada studi perhitungan ini, digunakan untuk mengetahui dimensi agar memiliki kinerja yang baik sehingga diperoleh hasil yang maksimal dari alat penukar kalor yang direncanakan dengan cara menghitung dimensi, koefisien perpindahan kalor, luas perpindahan panas dan faktor pengotor pada alat penukar kalor tipe *double pipe* dengan fluida panas berupa *steam* dan fluida dingin berupa campuran antara minyak kelapa, minyak sawit, dan minyak zaitun. Desain *heat exchanger* ini sangat dibutuhkan, karena untuk memaksimalkan kinerja dalam proses perubahan suhu campuran minyak keluaran dari *mixer trigliserida* sehingga pada saat proses saponifikasi terjadi, tidak membutuhkan waktu yang lama untuk mencampurkan secara sempurna campuran minyak dengan larutan alkali. Selain itu, dapat meminimalisir beban kerja dari reaktor yang mana jika campuran minyak sebelumnya tidak dipanaskan menyebabkan proses saponifikasi sampai membentuk *trace* (cairan kental) yang ada di dalam

reaktor berjalan lebih lama. Dan, jika proses saponifikasi dalam reaktor berjalan lama maka, berdampak pada jumlah kebutuhan *steam* saat proses saponifikasi berlangsung.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Teknik Pengumpulan Data

Dalam melakukan studi perencanaan *heat exchanger*, diperlukan data spesifikasi untuk mempermudah perhitungan dari perpindahan panas yang dibutuhkan *heat exchanger* agar dapat bekerja secara efektif. Semua data yang dibutuhkan diambil dari data pada perhitungan neraca panas sebelumnya.

a. Data Primer & Sekunder

Untuk mencapai tujuan akhir dalam studi perhitungan kali ini, diperlukan pengumpulan data primer dan data sekunder untuk dilanjutkan dengan pengolahan data. Data primer yang dibutuhkan antara lain fluida panas dan fluida dingin berupa laju alir (*flow rate*), temperatur masuk, temperatur keluar, perbedaan temperatur rata-rata (ΔT_{LMTD}) dan tekanan operasi kedua fluida yang mana diperoleh dari hasil perhitungan neraca panas pada alat *mixing tank* (M-150). Namun, data tekanan operasi tidak begitu diperlukan bagi fluida berwujud cair, karena apabila tekanan berubah, sifatnya tidak banyak berubah pula [7]. Sedangkan data sekunder, yaitu tabel ukuran design *heat exchanger* yang diperoleh dari referensi buku, jurnal ataupun *mechanical data sheet* dan *mechanical drawing unit* [8].

b. Aplikasi Microsoft Excel

Digunakan aplikasi bantu untuk memudahkan penginputan dan juga pengolahan data pada persamaan-persamaan yang dibutuhkan dalam *sheet Microsoft Excel*.

c. Studi Literatur

Digunakan acuan data literatur baik melalui internet, jurnal, *textbook* yang berhubungan dengan *heat exchanger* tipe *double pipe* ataupun alat yang ditinjau.

2.2. Perancangan Alat

Pemilihan tipe pada alat penukar panas didasarkan pada besarnya luas perpindahan panas yang dibutuhkan. Terdapat 3 faktor yang dapat memengaruhi kemampuan *heat exchanger* untuk menerima panas, yaitu koefisien perpindahan panas secara keseluruhan (*Overall heat exchanger coefficient*), luas Perpindahan panas (A), dan perbedaan Temperatur rata-rata (ΔT_{LMTD}). Untuk menghitung jumlah perpindahan panas, menggunakan persamaan:

$$Q = U \times A \times \Delta T_{lmtd} \quad (1)$$

Dimana : Q = Kalor yang dilepaskan/diterima (W)
 U = Koefisien perpindahan panas (W/m².°C)
 A = Luas permukaan perpindahan panas (m²)
 ΔT_{LMTD} = Selisih temperatur rata-rata (°C)

Penentuan luas permukaan panas dipengaruhi oleh selisih temperatur dari fluida yang masuk dan keluar dari kalor. Persamaan sebagai berikut:

$$\Delta T_{lm} = LMTD = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\frac{\ln \Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (2)$$

Dimana : ΔT_{max} = $T_1 - t_2$ (°C)

ΔT_{min}	= $T_2 - t_1$ (°C)
T_1	= Suhu fluida panas masuk (°C)
T_2	= Suhu fluida panas keluar (°C)
t_1	= Suhu fluida dingin masuk (°C)
t_2	= Suhu fluida dingin keluar (°C)

Untuk menghitung luas permukaan perpindahan panas, menggunakan persamaan:

$$A = \frac{Q}{U_d \times \Delta T_{lmtD}} \quad (3)$$

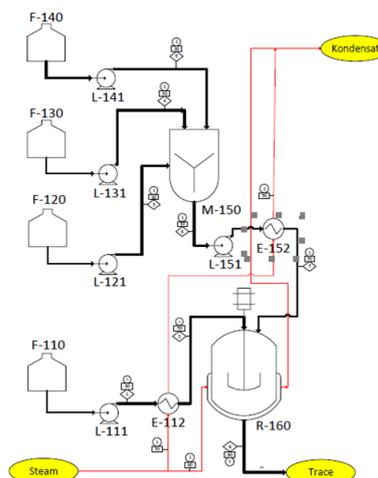
Dimana : A = Luas permukaan perpindahan panas (m²)
 Q = Kalor yang dilepaskan/diterima (W)
 U_d = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh desain (W/m².°C)
 ΔT_{LMTD} = Selisih temperatur rata-rata (°C)

Selain itu, terdapat koefisien perpindahan panas dari fluida, yang mana dipengaruhi oleh faktor pengotoran. Semakin kecil koefisien perpindahan panas akibat tingginya faktor pengotoran karena terjadi endapan dari fluida yang mengalir atau korosi pada komponen dari alat. Koefisien perpindahan panas dapat dicari dengan persamaan:

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_d \quad (4)$$

Dimana : U_d = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh desain (W/m².°C)
 U_c = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh bersih (W/m².°C)
 R_d = Faktor pengotoran / *fouling factor*

2.3. Perhitungan Desain Heat Exchanger



Dimana : F-110 = Tangki penampung NaOH
 F-120 = Tangki penampung minyak sawit
 F-130 = Tangki penampung minyak kelapa
 F-140 = Tangki penampung minyak zaitun
 E-112 = *Pre-heater* NaOH

E-152 = *Pre-heater* campuran minyak
 M-150 = *Mixer* trigliserida
 R-160 = *Continuous Stirred Tank Reactor*

Berikut merupakan data primer dalam perhitungan desain *heat exchanger* (E-152) yang diperoleh dari perhitungan neraca panas pada *mixing tank* (M-150) di *microsoft excel*. Data tersebut antara lain:

$T_1 = 145$ (°C)	$t_1 = 30$ (°C)	$m_{\text{hot fluid}} = 38,166$ kg/jam
$T_2 = 145$ (°C)	$t_2 = 70$ (°C)	$m_{\text{cold fluid}} = 829,863$ kg/jam

Dari data diatas, didapatkan perhitungan:

- Log mean temperature difference (LMTD)

$$LMTD = \frac{(T_2 - t_1) - (T_1 - t_2)}{\ln\left(\frac{(T_2 - t_1)/(T_1 - t_2)}{\Delta T_1 / \Delta T_2}\right)} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (5)$$

- Panas yang dipertukarkan dalam penukar panas (Q)

$$Q_{\text{Hot}} = Q_{\text{Cold}} \quad (6)$$

$$m_{\text{Hot}} \times \lambda = m_{\text{Cold}} \times C_p \times \Delta T$$

- Trial Koefisien perpindahan panas overall (U_D)

Trial U_D berdasarkan pengalaman, atau menggunakan nilai-nilai yang diberikan seperti pada (Tabel 8, Kern)[9], desain yang kuat tergantung pada kedekatan nilai yang diperhitungkan[10]. Pada Tabel 8 buku Kern nilai *overall* U_D sebesar 6-60 Btu/jam.ft². °F, sebagai *trial* U_D diambil nilai 6 Btu/jam.ft². °F.

- Luas area perpindahan panas (A)

$$A = \frac{Q}{U_D \times LMTD} \quad (7)$$

Dari hasil perhitungan luas permukaan perpindahan panas, dapat dipilih pemakaian jenis *heat exchanger* menggunakan **Double Pipe Heat Exchanger**. Hal ini sesuai ketentuan, jika luas permukaan perpindahan panas (A) < 120 ft².

Selanjutnya, *trial* panjang pipa dengan nilai sesuai ketentuan diantaranya sebesar 12ft; 15ft ;20ft dan ukuran DPHE yang mana dapat dilihat pada (tabel 6.2, Kern) dan (tabel 11, Kern)[9]. Data *trial* akan digunakan untuk menghitung *Reynolds Number* (Nre), faktor panas, dan koefisien perpindahan panas. Data *trial* yang dipilih sebagai berikut:

Panjang pipa	= 12 ft	Dimensi pipa	= 1 ¼ in
Ukuran pipa	= 2 x 1 ¼ in	d_{op}	= 1,66 in
Anulus	= 1,19 in ²	d_{ip}	= 1,38 in
d_e	= 0,915 in	a''	= 0,435 ft ²
d_e'	= 0,4 in	a_p	= 1,5 in ²

Dari data *trial* diatas, didapatkan perhitungan:

- Perhitungan Evaluasi perpindahan panas

✓ Fluida Panas : *steam*

$$G_{an} = \frac{m}{aan} \quad (8)$$

$$Nre = \frac{Gan \times de}{\mu \times 2,42} \quad (9)$$

Koefisien perpindahan panas = 1500 Btu/lb. ft² .F

✓ Fluida Dingin : Campuran minyak

$$Gap = \frac{m}{ap} \quad (10)$$

$$Nre = \frac{Gap \times dip}{\mu \times 2,42} \quad (11)$$

Koefisien perpindahan panas = 2,857 (Figure 24, Kern)

- Perhitungan *Clean Overall Coefficient* (U_C)

$$U_C = \frac{h_o \times h_{io}}{h_o + h_{io}} \quad (12)$$

- Perhitungan *Design Overall Coefficient* (U_D)

$$U_D = \frac{1 + (R_d \times U_C)}{U_C} \quad (13)$$

- Perhitungan luas area actual (A_{Act})

$$A = \frac{Q}{U_D \times LMTD} \quad (14)$$

- Perhitungan panjang pipa yang dibutuhkan

$$L = \frac{A}{a''} \quad (15)$$

- Perhitungan jumlah *hairpin* yang dibutuhkan

$$\sum \text{hairpin} = \frac{\text{Panjang} \cdot \text{pipa} \cdot \text{yang} \cdot \text{dibutuhkan} \cdot (\text{Lhitung})}{\text{Panjang} \cdot \text{pipa} \cdot \text{tersedia} \cdot (\text{TrialL})} \quad (16)$$

- Perhitungan panjang pipa baru:

$$L \cdot \text{baru} = \sum \text{hairpin} \times \text{panjang} \cdot \text{pipa} \cdot \text{tersedia} \quad (17)$$

- Perhitungan *Pressure Drop*:

✓ Fluida panas di anulus

$$\Delta Fa = \frac{4 \times f \times Gan^2 \times L}{2 \times g \times \rho^2 \times de'} \quad (18)$$

$$= 1,883$$

$$Ft = n \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad (19)$$

$$= 5,5968 \times 10^{-9}$$

$$\Delta Pa = \frac{(\Delta Fa + Ft) \times \rho}{144} \quad (20)$$

✓ Fluida dingin di pipa

$$\Delta Fp = \frac{4 \times f \times Gap^2 \times L}{2 \times g \times \rho^2 \times dip} \quad (21)$$

$$\Delta P_p = \frac{\Delta F_p \times \rho}{144} \quad (22)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Hasil perhitungan spesifikasi dan dimensi alat pra-rancangan *heat exchanger* dapat ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Data hasil perhitungan spesifikasi *heat exchanger* tipe *double pipe* sebelum reaktor

Uraian	Besar	Satuan
<i>Log mean temperature difference</i> (LMTD)	168,4436	F
Q (Panas yang dipertukarkan)	77012,6	Btu/jam
A (<i>Area surface</i>)	76,2	ft ²
Σ <i>hairpin</i> (Jumlah <i>hairpin</i>)	3	buah
<i>Hot Fluid : steam</i>		
Gan	10181,78	-
Nre	22914,99	-
Koefisien perpindahan panas	0,029	Btu/lb.ft ² .F
ΔFa	1,883	-
Ft	5,5968 x 10 ⁻⁹	-
<i>Cold Fluid : Campuran minyak</i>		
Gan	175635,267	-
Nre	379,4	-
Koefisien perpindahan panas	2,857	Btu/lb.ft ² .F
ΔFp	1,008	-

Tabel 2. Data hasil perhitungan dimensi *heat exchanger* tipe *double pipe* sebelum reaktor

Dimensi	Anulus	Pipa
IPS (<i>Nominal Pipe Size</i>)	2 in	1 ¼ in
No. Sch (<i>Nomor Schedule</i>)	40	40
OD (<i>Outside Diameter</i>)	0,076 ft	0,138 ft
ID (<i>Inside Diameter</i>)	0,033 ft	0,115 ft
a' (<i>Flow Area</i>)	0,008 ft ²	0,435 ft ²
ΔPa (<i>Pressure Drop</i>)	0,029 psi	0,394 psi
L (<i>Length Hairpin</i>)	12 ft	
A (<i>Area Surface</i>)	0,754 ft ²	
Uc (<i>Clean Overall Coef.</i>)	15,560	
Ud (<i>Design Overall Coef.</i>)	14,857	
Rd (<i>Fouling Factor</i>)	0,003	

3.2. Pembahasan

Keberadaan *heat exchanger* pada pra-perancangan kali ini yang diletakkan sebelum reaktor sangat dibutuhkan, karena dapat membantu dalam proses perubahan suhu campuran minyak keluaran dari *mixer trigliserida* yaitu dari suhu 30°C hingga mencapai 70°C, sehingga pada saat proses saponifikasi terjadi, tidak membutuhkan waktu yang lama untuk mencampurkan secara sempurna campuran minyak dengan larutan alkali. Dengan keadaan suhu campuran minyak mendekati suhu operasi reaktor yaitu 90°C maka, dapat meminimalisir beban kerja dari reaktor yang mana jika campuran minyak sebelumnya tidak

dipanaskan menyebabkan proses saponifikasi sampai membentuk *trace* (cairan kental) yang ada di dalam reaktor berjalan lebih lama. Jika proses saponifikasi dalam reaktor berjalan lama maka, berdampak pada jumlah kebutuhan *steam* saat proses saponifikasi berlangsung, yang mengalir dalam *jacket vessel* tidak dapat diminimalisir.

Dimensi untuk desain / konstruksi dan kapasitas *heat exchanger* pada Tabel 2. diatas didapat dari hasil perhitungan spesifikasi pada Tabel 1. menggunakan *Microsoft Excel*. Dari perhitungan tersebut, dipilih *heat exchanger* dengan tipe *double pipe*. Hal ini didasarkan pada besar luas penampang perpindahan panas yaitu 30,754 ft² sesuai ketentuan, jika luas permukaan perpindahan panas (A) < 120 ft² [11]. Dalam perancangan ini, fluida yang akan dialirkan melalui anulus adalah *steam* dan melalui pipa adalah campuran minyak. Pemilihan ini didasarkan pada ketentuan bahwa fluida dengan laju massa paling besar akan dialirkan dalam pipa, sebaliknya fluida dengan laju massa paling kecil akan dialirkan dalam anulus[2].

Penentuan *trial* ukuran *double pipe heat exchanger* pada pra-perancangan kali ini sudah benar. Hal ini dibuktikan dengan hasil *pressure drop* (ΔP) di dalam anulus maupun pipa. Didapatkan hasil *pressure drop* di anulus sebesar 0,029 psi dan di pipa sebesar 0,393 psi yang mana sudah memenuhi syarat semua karena dibawah nilai dari ΔP ketentuan. Nilai ketentuan *pressure drop anulus* (ΔP_a) jika gas/uap harus kurang 2 psi sedangkan *pressure drop pipa* (ΔP_p) jika liquida harus kurang dari 10 psi[9].

Nilai *Clean Overall Coefisien* (U_c) menunjukkan ketika *heat exchanger* dalam keadaan bersih dan belum terbentuk kerak yang menyebabkan hambatan koefisien perpindahan panasnya[12], sebesar 15,560 Btu/jam.ft².F. Sedangkan, nilai *Design Overall Coefisien* (U_d) menunjukkan ketika *heat exchanger* setelah dioperasikan dan sudah terbentuk kerak yang menyebabkan hambatan koefisien perpindahan panasnya[12], sebesar 14,857 Btu/jam ft².F. Nilai dari kedua koefisien menurun dikarenakan sudah terbentuknya endapan atau kotoran berupa kerak setelah alat penukar kalor ini dioperasikan.

Nilai *fouling factor* / faktor pengotor digunakan untuk mengetahui batas nilai hambatan perpindahan panas sebuah *heat exchanger* untuk bisa dioperasikan dengan normal sebelum adanya pembersihan. Nilai *Fouling factor* terjadi karena adanya kotoran, bisa berupa lumpur yang ikut terbawa dengan fluida yang mengalir, polimer, dan deposit (kerak dari hasil korosi) [13]. Selain itu, nilai *fouling factor* dapat digunakan untuk indikator suatu *heat exchanger* apakah memiliki rentang waktu *maintenance* yang singkat atau lama [14]. Hasil perhitungan yang diperoleh, nilai *fouling factor* sama dengan nilai *fouling factor* ketentuan / diijinkan yaitu sebesar 0,003 Btu/jam.ft².F. Hal ini menunjukkan bahwa *heat exchanger* dalam keadaan aman dan layak beroperasi tanpa adanya hambatan dipermukaan penukar panas. Sehingga diharapkan dapat digunakan untuk pemanasan campuran minyak secara sempurna karena luas permukaan yang dibutuhkan dapat terpenuhi dengan baik. Selain itu, mengindikasikan bahwa *heat exchanger* memiliki rentang waktu *maintenance* yang singkat, sehingga dapat meminimalisir biaya perawatan yang harus dikeluarkan oleh pabrik [15].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil perhitungan penentuan spesifikasi *heat exchanger* tipe *double pipe* sebelum reaktor pada pra-rancangan pabrik kimia *cucumber soap* secara keseluruhan sudah memenuhi syarat dan layak untuk dioperasikan, hal ini dapat dibuktikan dari segi penurunan tekanan/ *pressure drop* (ΔP) di dalam anulus maupun pipa, hasil perhitungan sudah memenuhi syarat dengan nilai secara berurutan sebesar 0,029 psi (< 2 psi) dan 0,393 psi (<10 psi). Selain itu, dapat dilihat dari segi faktor pengotoran/ nilai *fouling factor* yang mana hasil perhitungan sama dengan nilai ketentuan

yaitu sebesar 0,003 Btu/jam.ft².F menunjukkan bahwa *heat exchanger* keadaan aman dan layak beroperasi tanpa adanya hambatan. Selain itu, mengindikasikan bahwa *heat exchanger* memiliki rentang waktu *maintenance* yang singkat sehingga dapat meminimalisir biaya perawatan yang harus dikeluarkan oleh pabrik.

REFERENSI

- [1] A. Santoso, R. Fantusi, S. Marfu'ah, dan S. Sumari, "Pengaruh Gelombang Ultrasonik pada Pembuatan Sabun Transparan dari Minyak Kelapa (*Cocos nucifera*) dan Minyak Ayam (*Gallus domesticus*)," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 5, no. 1, hal. 12, 2021, doi: 10.33795/jtkl.v5i1.175.
- [2] M. Safitri, "Rancang Bangun Heat Exchanger Jenis Shell and Concentric Tube Posisi Vertikal pada Produksi Teh Kemasan," Surabaya, 2018.
- [3] M. Mufid, A. R. Hakim, dan B. Widiono, "Pengaruh Pitch Turbulator Terhadap Ntu Pada Double Pipe Heat Exchanger," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 3, no. 1, hal. 27, 2019, doi: 10.33795/jtkl.v3i1.101.
- [4] M. Awwaluddin, "Analisis Perpindahan Kalor pada Heat Exchanger Pipa Ganda dengan Sirip Berbentuk Delta Wing," Universitas Negeri Semarang, 2007.
- [5] L. Surya dan A. Sonya, "Studi Perhitungan Heat Exchanger Sebelum CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) Pada Proses Pembuatan Sabun Mandi Cair," *J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 133–138, 2021, doi: 10.33795/distilat.v7i2.195.
- [6] N. W. T. Kartika Sari, G. P. Ganda Putra, dan L. P. Wrasiasi, "Pengaruh Suhu Pemanasan Dan Konsentrasi Carbopol Terhadap Karakteristik Sabun Cair Cuci Tangan," *J. Rekayasa Dan Manaj. Agroindustri*, vol. 7, no. 3, hal. 429, 2019, doi: 10.24843/jrma.2019.v07.i03.p10.
- [7] I. Putra, "Studi perhitungan heat exchanger type shell and tube dehumidifier biogas limbah sawit untuk pembangkit listrik tenaga biogas," *J. POLIMESIN*, vol. 15, no. 2, hal. 42, 2017, doi: 10.30811/jpl.v15i2.373.
- [8] L. Cornelia Fransisca, "Evaluasi Performance heat Exchanger 11E-24 di Unit 11 Crude Distillation Unit I pada Kilang Fuel Oil Complex I PT. Pertamina Refinery Unit IV Cilacap," Universitas Pembangunan Nasional "VETERAN" Yogyakarta, 2020.
- [9] D. K. Mehra, "Shell-and-Tube Heat Exchangers.," in *Chemical Engineering (New York)*, vol. 90, no. 15, 2015, hal. 36–40.
- [10] B. Septian, A. Aziz, dan P. D. Rey, "Desain dan Rancang Bangun Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger) Jenis Shell dan Tube," *J. Baut dan Manufaktur*, vol. 03, no. 1, hal. 53–60, 2021.
- [11] M. Ma'a, "Distribusi Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Daerah Entrance dan Fully Developed Perbandingan Empiris dan Eksperimen pada Double Pipe Heat Exchanger," *J. Elektro dan Mesin Terap.*, vol. 1, no. 2, hal. 20–28, 2015, doi: 10.35143/elementer.v1i2.30.
- [12] M. Sebayang, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Dengan Metode Fouling Faktor Di Laboratorium Satuan Operasi PTKI Medan," *Ready Star*, vol. 2, no. 1, hal. 11–15, 2019.
- [13] A. Malwindasari, "Optimisasi Fouling Resistance pada Shell and Tube Heat Exchanger Menggunakan Polley Model dan Rain Water Optimization," Institut teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [14] E. M. Ishiyama, W. R. Paterson, dan D. I. Wilson, "The Effect of Fouling on Heat Transfer, Pressure Drop, and Throughput in Refinery Preheat trains: Optimization of Cleaning Schedules," *Heat Transf. Eng.*, vol. 30, no. 10–11, hal. 805–814, 2016, doi:

- 10.1080/01457630902751486.
- [15] Y. Amani, "Predict Tube Overall Fouling in Heat," *J. Sist. Inf.*, vol. 2, no. 1, hal. 95–109, 2018.