

DESAIN COOLER PADA PRARANCANGAN PABRIK DISPROPORTIONATED ROSIN DARI GONDORUKEM GRADE WG DENGAN KAPASITAS 3000 TON/TAHUN

Anne Rahma Salsabila, Achmad Chumaidi, Eko Naryono

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

ABSTRAK

Tahapan proses pada pembuatan *disproportionated rosin* dari gondorukem yaitu tahap persiapan, pencampuran, reaksi kimia, pengendapan, pemisahan, dan pemurnian. Pada tahap pemurnian, *disproportionated rosin* produk dari *evaporator* didinginkan sebelum disimpan dalam tangki penyimpanan menggunakan *cooler*. Tujuan pendinginan untuk menurunkan suhu *disproportionated rosin* produk *evaporator* agar sesuai dengan kondisi operasi tangki penyimpanan. Oleh karena itu diperlukan desain *cooler* yang sesuai untuk menurunkan suhu *disproportionated rosin*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan desain *cooler* pada prarancangan pabrik *disproportionated rosin* dengan kapasitas 3000 ton/tahun. Acuan yang digunakan pada perhitungan desain *cooler* adalah buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern menggunakan bantuan *microsoft excel*. Dari hasil perhitungan didapatkan tipe *cooler* yaitu *Double Pipe Heat Exchanger* (DPHE) dengan dimensi ukuran 2x1¼, NPS 1¼, *schedule* 40, diameter dalam pipa 0,115 ft, diameter luar pipa 0,138 ft, panjang pipa 20 ft, dan jumlah *hairpin* sebanyak 3 buah. Desain *cooler* ini diharapkan dapat menjadi acuan desain kebutuhan alat pada proses industri.

Kata kunci: *cooler, disproportionated rosin, double pipe, gondorukem*

ABSTRACT

The process steps for making *disproportionated rosin* from *Gondorukem* are preparation, mixing, chemical reaction, precipitation, separation, and purification. In the purification stage, the *disproportionated rosin* product from the *evaporator* is cooled before being stored in a storage tank using a *cooler*. The purpose of cooling is to lower the *disproportionated rosin* temperature of the *evaporator* product to match the operating conditions of the storage tank. Therefore, it is necessary to design a suitable *cooler* to reduce the temperature of *disproportionated rosin*. This study aims to determine the *cooler* design of the *disproportionated rosin* plant with a capacity of 3000 tons/year. The reference used on the *cooler* design calculations is the book *Process Heat Transfer* by Donald Q. Kern using *Microsoft Excel*. From the calculation results, the *cooler* type is *Double Pipe Heat Exchanger* (DPHE) with dimensions of 2 x 1¼, NPS 1¼, *schedule* 40, pipe inner diameter is 0.115 ft, pipe outer diameter is 0.138 ft, pipe length is 20 ft, and the number of *hairpins* is 3 pieces. This *cooler* design is expected to be a reference for the design of tool requirements in an industrial process.

Keywords: *cooler, disproportionated rosin, double pipe, gondorukem*

1. PENDAHULUAN

Pohon pinus merupakan jenis pohon di hutan Indonesia yang menghasilkan produk gondorukem. Produk gondorukem merupakan hasil pengolahan getah batang pohon pinus yang bermanfaat untuk bahan baku industri kertas, keramik, plastik, cat, batik, kosmetik, dan sebagainya [1]. Gondorukem memiliki kelemahan yaitu cenderung mengkrystal, mudah

teroksidasi, dan mudah bereaksi dengan garam logam berat sehingga perlu diproses lebih lanjut untuk menstabilkan [2]. *Disproportionated Rosin* (DPR) merupakan salah satu hasil pengolahan lebih lanjut gondorukem yang diperoleh dari proses menghilangkan efek asam tipe abietik dengan cara ekstraksi dan substitusi asam abietik menjadi sodium abietik [3].

Tahapan proses pembuatan DPR dari gondorukem terdiri dari persiapan, pencampuran, reaksi kimia, pengendapan, pemisahan, dan pemurnian. Pada tahap pemurnian, DPR produk dari *evaporator* perlu didinginkan pada suhu yang sesuai dengan kondisi operasi penyimpanan pada tangki produk. Suhu penyimpanan yang tidak sesuai, dapat menurunkan kinerja alat yang digunakan dan menyebabkan kerusakan sifat fisika maupun kimia produk DPR selama penyimpanan.

Cooler merupakan alat yang dapat digunakan untuk proses pendinginan bahan seperti DPR. Jenis *cooler* yang biasa digunakan adalah *Double Pipe Heat Exchanger* (DPHE). DPHE banyak digunakan untuk berbagai proses industri, seperti pada proses pendingin fluida, sistem konversi seperti mengubah fase uap menjadi cair, untuk proses kimiawi seperti reaksi eksoterm dan endoterm [4]. DPHE memiliki kelebihan yaitu pengaturan pemasangan fleksibel, mudah dibersihkan, memiliki resiko fluida tercampur sangat kecil, konstruksi sederhana karena terdiri dari pipa diameter kecil yang dilapisi oleh pipa diameter besar sehingga terdapat ruang kosong (*annulus*) diantara kedua pipa, pipa dapat diatur pemasangan sesuai jenis aliran fluida, dan perhitungan desain mudah dibuat dengan tingkat akurasi tinggi [5].

Pada penelitian terdahulu belum ada yang melakukan perhitungan prarancangan *cooler* yang digunakan untuk mendinginkan DPR murni dari gondorukem grade WG. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perhitungan desain *cooler* pada prarancangan pabrik DPR dengan kapasitas 3000 ton/tahun. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan desain *cooler* pada prarancangan pabrik *disproportionated rosin* dengan kapasitas 3000 ton/tahun. Kondisi operasi yang digunakan pada desain *cooler* yaitu suhu fluida panas DPR masuk *cooler* 150°C, suhu fluida panas keluar *cooler* 40°C, dan media pendingin adalah air dengan suhu masuk 28°C.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Pengumpulan Data

Perhitungan prarancangan *cooler* menggunakan acuan dari buku *Process Heat Transfer* yang ditulis Donald Q. Kern [6]. Data prarancangan yang diperlukan yaitu : *flowrate* dan jenis komponen fluida panas, *flowrate* dan jenis komponen fluida dingin, total kalor (Q), suhu masuk dan keluar fluida dingin, suhu masuk dan keluar fluida panas, *fouling factor* yang diharapkan (R_d), dan *pressure drop* maksimal (Dp_{max}).

2.2. Perhitungan Jenis Pendingin

- Menghitung *log mean temperature difference* (ΔT_{LMTD})

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \quad (1)$$

- Menghitung luas perpindahan panas
Perhitungan luas perpindahan panas diperlukan untuk menentukan tipe *heat exchanger* (HE) yang dibutuhkan. Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi HE

dalam menerima panas, yaitu U_d , A_s , dan ΔT_{LMTD} . Hubungan antara faktor tersebut yaitu [7]:

$$Q = U_d \times \Delta T_{LMTD} \times A_s \quad (2)$$

Persamaan 2 dapat digunakan untuk mengetahui luas perpindahan panas jika Q , U_d , dan ΔT_{LMTD} diketahui dengan cara melakukan perpindahan ruas, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$A_s = \frac{Q}{U_d \times \Delta T_{LMTD}} \quad (3)$$

Dimana:

ΔT_{LMTD} = *log mean temperature difference*

T_1 = suhu masuk fluida panas (°F)

T_2 = suhu keluar fluida panas (°F)

t_1 = suhu masuk fluida dingin (°F)

t_2 = suhu keluar fluida dingin (°F)

Q = *heat transfer* (kJ)

U_d = *overall heat exchanger coefficient* (Btu/hr.ft².°F)

A_s = luas perpindahan panas (ft²)

U_d atau *overall coefficient* dapat dilihat pada tabel 12.1 *Typical Overall Coefficients* pada buku *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design* oleh Gavin Towler [8]

- Menentukan jenis HE

Jenis atau tipe HE yang digunakan dapat ditentukan dengan melihat luas perpindahan panas yang diketahui dengan ketentuan sebagai berikut:

Jika $A_s < 120-200$ ft² maka jenis HE adalah DPHE

Jika $A_s > 120$ ft² maka jenis HE adalah STHE

Jika $A_s > 350$ ft² maka jenis HE adalah PHE

2.3. Perhitungan Desain Cooler

- Menghitung *caloric temperature*

Nilai *caloric temperature* dapat dihitung dengan persamaan (4) dan persamaan (5) berikut:

$$T_c(\text{hot fluid}) = T_2 + F_c(T_1 - T_2) \quad (4)$$

$$t_c(\text{cold fluid}) = t_1 + F_c(t_2 - t_1) \quad (5)$$

Dimana F_c (*Caloric Temperature Factor*) dapat diperoleh dari *figure 17 The Caloric Temperature Factor* buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern halaman 827 [6].

- Melakukan trial ukuran DPHE dan dimensi pipa

Trial ukuran DPHE dapat dilakukan dengan menggunakan Tabel 1. *Flow Areas and Equivalent Diameter in Double Pipe Exchanger* buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern. Sedangkan untuk menentukan dimensi pipa dapat

diketahui pada Tabel 2. *Dimensions of Steel Pipe* buku *Process Heat Transfer* oleh Donald Q. Kern [6]. Penentuan dimensi pipa harus sesuai dengan nilai ukuran DPHE yang dipilih dan tidak dilakukan secara acak.

Tabel 1. *Flow Areas and Equivalent Diameter in Double Pipe Exchanger* [6]

Ukuran DPHE (in ²)	Flow area (in ²)		Diameter ekuivalen anulus (in)	
	Anulus	Pipe	De	De'
2 x 1 ¼	1,19	1,5	0,915	0,4
2 ½ x 1 ¼	2,63	1,5	2,02	0,81
3 x 2	2,93	3,25	1,57	0,68
4 x 3	3,14	7,38	1,14	0,53

Tabel 2. *Dimensions of Steel Pipe* [6]

IPS (in)	Dop (in)	Sch	Dip (in)	ap (in ²)	a" (ft ² /ft)	
					in	out
1 ¼	1,66	40	1,38	1,5	0,345	0,362
		80	1,278	1,28		0,335
2	2,38	40	2,067	3,35	0,662	0,542
		80	1,93	2,95		0,508
2 ½	2,88	40	2,469	4,79	0,753	0,647
		80	2,323	4,23		0,609
3	3,5	40	3,068	7,38	0,917	0,804
		80	2,9	6,61		0,76
4	4,5	40	4,026	12,7	1,178	1,055
		80	3,826	11,5		1,002

- Evaluasi perpindahan panas

Evaluasi perpindahan panas perlu dihitung pada bagian *anulus* dan bagian pipa. Dengan ketentuan fluida yang memiliki laju alir lebih besar dialirkan pada pipa, sedangkan fluida yang memiliki laju alir lebih kecil dialirkan pada bagian *anulus* untuk memaksimalkan proses pemindahan panas yang terjadi.

Untuk melakukan evaluasi perpindahan panas, mula-mula perlu dihitung *Re* (*Reynolds Number*) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Re = \frac{D \times G}{\mu} \quad (6)$$

Dimana diameter (*D*) untuk *anulus* digunakan diameter ekuivalen *anulus*, sedangkan diameter pipa digunakan diameter dalam pada pipa.

Untuk mencari *G* (*mass velocity*) pada *anulus* dapat menggunakan persamaan berikut:

$$G_{an} = \frac{\text{mass flow}}{a_{an}} \quad (7)$$

Sedangkan untuk mencari *G* (*mass velocity*) pada pipa dapat menggunakan persamaan (8) berikut:

$$G_p = \frac{\text{mass flow}}{a_p} \quad (8)$$

Dimana:

D = diameter (ft)

G = mass velocity (lb/ft².hr)

μ = viscosity at the caloric temperature (lb/ft.hr)

a_{an} = flow area annulus (ft²)

a_p = flow area pipe (ft²)

Selanjutnya dapat dihitung harga koefisien perpindahan panas untuk *annulus* menggunakan persamaan (9) berikut:

$$h_o = j_H \left(\frac{k}{D_e} \right) \left(\frac{c\mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (9)$$

Dengan penentuan μ_w menggunakan persamaan (10) yang dijabarkan sebagai berikut:

$$t_w (\text{hot fluid}) = t_c + \frac{h_{io}}{h_{io}+h_o} (T_c - t_c) \quad (10)$$

Sedangkan harga koefisien perpindahan panas untuk pipa menggunakan persamaan (11) dan persamaan (12) berikut:

$$h_i = j_H \left(\frac{k}{D_i} \right) \left(\frac{c\mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (11)$$

$$h_{io} = h_i \left(\frac{ID_{tube}}{OD_{tube}} \right) \quad (12)$$

Dimana:

h_o = koefisien perpindahan panas untuk *annulus* (Btu/hr.ft².°F)

h_i = koefisien perpindahan panas permukaan pipa (Btu/hr.ft².°F)

J_H = heat transfer factor

k = thermal conductivity (btu/hr.ft².°F/ft)

c = specific heat (btu/lb.°F)

μ_w = viscosity at the pipe-wall temperature (lb/ft.hr)

h_{io} = koefisien perpindahan panas untuk pipa (Btu/hr.ft².°F)

ID = Diameter dalam pipa (ft)

OD = Diameter luar pipa (ft)

- Perhitungan *clean overall coefficient* (U_c)

Clean overall coefficient atau U_c adalah hantaran perpindahan panas menyeluruh pada HE saat dalam keadaan bersih [9]. U_c dapat dihitung dengan persamaan (13) sebagai berikut:

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \quad (13)$$

- Perhitungan *design overall coefficient* (U_d)

Design overall coefficient atau U_d adalah koefisien perpindahan panas *overall* pada saat ada pengotor. U_d menyatakan mudah atau tidaknya panas berpindah dari fluida panas ke fluida dingin dan juga menyatakan aliran panas menyeluruh sebagai gabungan proses konduksi dan konveksi setelah alat beroperasi [10].

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_{d \text{ min}} \quad (14)$$

- Perhitungan *required surface and required length*

Required surface pada persamaan (15) dan *required length* pada persamaan (16) perlu dihitung untuk mengetahui apakah dimensi HE telah sesuai dengan yang diinginkan.

$$A_s = \frac{Q}{U_d \times \Delta T_{LMTD}} \quad (15)$$

$$L = \frac{A_s}{a''} \quad (16)$$

- Menghitung *actual design*

$$A_{actual} = L_{baru} \times a'' \quad (17)$$

$$U_{D \text{ actual}} = \frac{Q}{A_{actual} \times \Delta T_{LMTD}} \quad (18)$$

- Evaluasi *fouling factor* (R_d)

Fouling adalah peristiwa terakumulasinya padatan yang tidak diinginkan di permukaan HE yang berkontak dengan fluida kerja, termasuk permukaan *heat transfer* [11]. *fouling factor* merupakan hambatan perpindahan panas karena adanya endapan di dalam HE. *Fouling factor* ini dipengaruhi oleh jenis fluida, *temperature*, jenis material yang diproses, kecepatan aliran dan lamanya operasi [11]. R_d dapat dihitung menggunakan persamaan (19) sebagai berikut:

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \quad (19)$$

Fouling factor atau *dirty factor* (R_d) memiliki ketentuan sebagai berikut:

Jika R_d hitung = R_d yang ditentukan maka desain sangat baik

Jika R_d hitung > 5-10% dari R_d yang ditentukan maka desain dapat diterima

Jika R_d hitung >> R_d ditentukan maka desain belum sesuai

Jika R_d hitung < R_d ditentukan maka desain belum sesuai

Apabila R_d hitung belum sesuai dengan R_d ketentuan maka perlu dilakukan trial ukuran DPHE ulang hingga ditemukan R_d yang sesuai.

- Menghitung *pressure drop*

Tahapan evaluasi selanjutnya setelah diperoleh *fouling factor* yang sesuai adalah evaluasi *pressure drop*. Definisi *pressure drop* merupakan penurunan tekanan yang terjadi pada suatu aliran karena gesekan dinding atau saluran pada

anulus maupun pipa di dalam HE [12]. Perhitungan *pressure drop* pada *anulus* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (20) berikut:

$$\Delta P_a = \frac{(\Delta F_a + \Delta F_t)\rho}{144} \quad (20)$$

Perhitungan *pressure drop* pada pipa menggunakan persamaan (21) berikut:

$$\Delta P_p = \frac{(\Delta F_p)\rho}{144} \quad (21)$$

$$\Delta F_t = n \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (22)$$

$$v = \frac{G_{an}}{3600\rho} \quad (23)$$

$$\Delta F_a = \frac{4 \times f \times G_{an}^2 \times l}{2g \times \rho^2 \times D_e^5} \quad (24)$$

$$\Delta F_p = \frac{4 \times f \times G_p^2 \times l}{2g \times \rho^2 \times D_i^5} \quad (25)$$

Dimana:

ΔP = *pressure drop* (psi)

ΔF = *pressure drop* (ft)

ρ = densitas (lb/ft³)

n = jumlah *hairpin* (buah)

v = *velocity* (fps)

g = gravitasi (ft/s²)

f = *friction factor*

l = *length* (ft)

Pada desain HE terdapat ketentuan untuk *pressure drop* aliran fase gas, ΔP harus <2 psi. Sedangkan untuk aliran fase *liquid*, ΔP harus <10 psi [13]. Jika *pressure drop* pada perhitungan tidak sesuai dengan ketentuan maka perlu dilakukan trial ulang hingga didapatkan *pressure drop* yang sesuai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

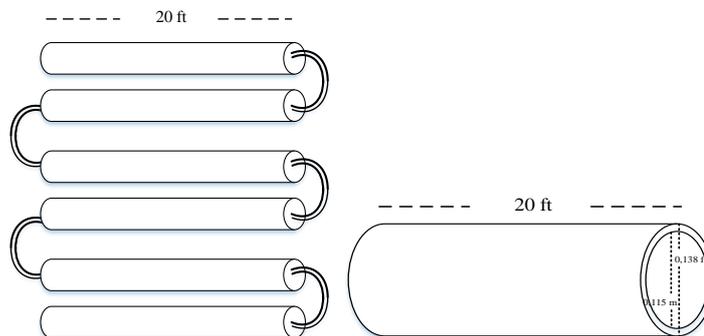
Gondorukem merupakan hasil pengolahan getah batang pohon pinus yang memiliki banyak kegunaan. Namun gondorukem memiliki beberapa kelemahan jika tidak dilakukan modifikasi sehingga perlu diproses lebih lanjut. Salah satu proses modifikasi gondorukem adalah proses disproporsionasi dimana pada tahapan pemurnian, DPR produk dari *evaporator* perlu didinginkan menggunakan *cooler*.

Cooler merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mencegah terjadinya *over heating* dengan cara mendinginkan suatu fraksi panas dengan menggunakan media pendingin. Pada penelitian ini fraksi panas yang didinginkan yaitu DPR, sedangkan media pendingin yang digunakan yaitu air pendingin. Untuk memperoleh hasil yang diinginkan maka perlu adanya perhitungan untuk menentukan desain *cooler* yang tepat dengan kapasitas dan spesifikasi yang telah ditentukan.

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan untuk menentukan desain *cooler* pada prarancangan pabrik DPR dari gondorukem grade WG dengan kapasitas 3000 ton/tahun agar diperoleh desain *cooler* yang sesuai dengan kebutuhan proses pendinginan. Dari hasil perhitungan prarancangan *cooler* untuk pendinginan DPR didapatkan dimensi *cooler* yang dapat dilihat pada Tabel 3. dan desain *cooler* yang dapat dilihat pada Gambar 1. sebagai berikut:

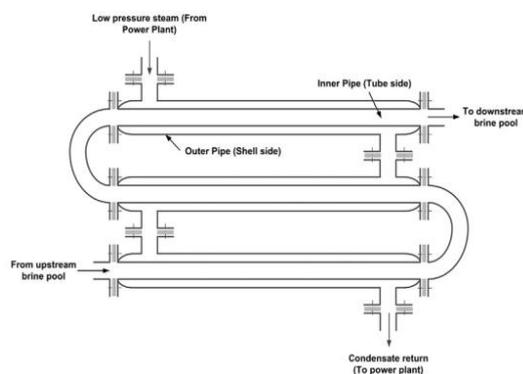
Tabel 3. Dimensi *cooler* tipe DPHE hasil perhitungan prarancangan pabrik DPR dari gondorukem *grade* WG dengan kapasitas 3000 ton/tahun

Dimensi	Nilai
Ukuran DPHE	2 x ¼ in ²
Nominal Pipe Size	1½ in
Schedule	40
Diameter Luar Pipa	0,13833 ft
Diameter Dalam Pipa	0,115 ft
Luas DPHE	41,4 ft ²
Panjang Pipa	20 ft
Jumlah <i>Hairpin</i>	3 buah
ΔP annulus	0,35 psi
ΔP pipe	0,22 psi



Gambar 1. Desain *cooler* tipe DPHE hasil perhitungan prarancangan pabrik DPR dari gondorukem *grade* WG dengan kapasitas 3000 ton/tahun

Adapun rangkaian aliran fluida dan bagian *cooler* dengan tipe DPHE yang dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Rangkaian aliran fluida dan bagian *cooler* tipe DPHE [14]

Prarancangan *cooler* ini menggunakan tipe DPHE dengan bahan pipa berupa *carbon steel*. *Cooler* DPHE ini terdiri dari 3 buah *hairpin* dengan *pressure drop* kurang dari 10 psi. Kelebihan *cooler* hasil prarancangan ini yaitu konstruksi sederhana, kalkulasi desain lebih akurat, resiko fluida tercampur sangat kecil, pipa dapat diatur pemasangan sesuai jenis aliran fluida, dan perhitungan desain mudah dibuat dengan tingkat akurasi yang tinggi.

HE tipe *double pipe* memiliki dua jenis pengaturan aliran yaitu aliran fluida searah atau *co-current* dan aliran fluida berlawanan arah atau *counter current* [15]. Pada prarancangan alat *cooler* ini digunakan aliran *counter current* karena aliran *counter current* merupakan jenis aliran yang umum digunakan pada industri.

Pada prarancangan *cooler* dipilih tipe DPHE dengan pertimbangan didasarkan pada nilai luas perpindahan panas (A_s) dengan ketentuan yaitu, jika nilai $A_s < 120-200 \text{ ft}^2$ maka artinya tipe HE yang digunakan adalah jenis DPHE. A_s yang didapatkan dari perhitungan menggunakan *microsoft excel* yaitu $7,84 \text{ ft}^2$ yang artinya kurang dari 120 ft^2 . Dalam pemilihan komponen yang masuk ke dalam *anulus* dan pipa didasarkan pada ketentuan dimana fluida yang memiliki laju alir yang besar dialirkan pada pipa untuk memaksimalkan proses perpindahan panas yang terjadi, sedangkan fluida yang memiliki laju alir kecil dialirkan pada *anulus*. Tipe DPHE merupakan tipe penukar panas yang paling banyak digunakan dalam industri.

Dalam trial ukuran DPHE perlu diperhatikan nilai *clean overall coefficient* (U_c), *design overall coefficient* (U_d), *fouling factor* (R_d), dan juga *pressure drop* (ΔP) agar didapatkan desain *cooler* yang layak. Pada desain *cooler* ini didapatkan U_c sebesar $15,35 \text{ Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$, U_d sebesar $15,01 \text{ Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$, dan R_d sebesar 0,001 dimana R_d ini telah sama dengan R_d yang ditentukan untuk komponen DPR sehingga desain sangat baik dan dapat diterima, sedangkan untuk *pressure drop* pada *anulus* sebesar 0,35 psi dan pada pipa sebesar 0,22 psi dimana ketentuan *pressure drop* untuk fase liquid yaitu $<10 \text{ psi}$, jadi *pressure drop* pada desain *cooler* ini telah sesuai dan dapat diterima.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian desain *cooler* pada prarancangan pabrik *disproportionated rosin* dengan kapasitas 3000 ton/tahun untuk menurunkan suhu DPR keluaran *evaporator* sebelum disimpan pada tangki penyimpanan produk didapatkan hasil tipe *cooler* yang dapat digunakan yaitu *double pipe heat exchanger* dengan dimensi $2\frac{1}{4}$, NPS $1\frac{1}{4}$ Schedule 40, jumlah *hairpin* sebanyak 3 buah, dan *fouling factor* sebesar 0,001.

Saran untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan simulasi menggunakan aplikasi seperti *hysys* atau *chemcad* untuk mengevaluasi kinerja alat agar lebih optimal.

REFERENSI

- [1] S. Suluh dan P. Sampelawang, "Studi Eksperimen Limbah Buah Pinus Sebagai Sumber Energi Alternatif Ditinjau Dari Variasi Butiran," *Dynamic Saint*, vol. 3(1), hal. 444–459, 2017.
- [2] S. Sutanti, S. Purnavita, dan H. Y. Sriyana, "Pembuatan Vernis Berbahan Gondorukem Yang Dimodifikasi Gliserol Dan Paduan Linseed Oil Dengan Minyak Biji Karet Menggunakan Metode Esterifikasi Tanpa Katalis," *Inovasi Teknik Kimia*, vol. 2(1), hal. 54–59, 2017.

- [3] D. Q. A. Putri dan A. Chumaidi, "Sintesa DPR (Disproportionated Rosin) Dari Gum Rosin Grade X Secara Batch," *Teknologi Separi (Distilat)*, vol. 7(2), hal. 302–309, 2021.
- [4] A. El Maakoul, M. El Metoui, A. Ben Abdellah, S. Saadeddine, dan M. Meziane, "Numerical Investigation of Thermohydraulic Performance of Air to Water Double-Pipe Heat Exchanger with Helical Fins," *Appl Therm Eng*, vol. 127, hal. 127–139, 2017.
- [5] I. S. Maulani dan H. Firdaus, "Analisis Desain Rancang Bangun Alat Penukar Kalor Tipe Double Pipe Aliran Cocurrent Dan Counter Flow," *Industrial Galuh*, vol. 3(1), hal. 43–48, 2021.
- [6] D. Q. Kern, "Process Heat Transfer," 1950.
- [7] N. R. Setya, Masudah, dan S. Santosa, "Desain Evaporator Pada Prarancangan Pabrik Biodiesel Dari Minyak Sawit Dengan Kapasitas 400.000 Ton/Tahun," *Teknologi Separasi (Distilat)*, vol. 8(4), hal. 758–764, 2022.
- [8] G. Towler dan R. Sinnott, "Chemical Engineering Design," 2008.
- [9] E. Naryono, M. A. Ismail, dan Khairunnisa, "Evaluasi Efektivitas Alat Heat Exchanger 11e-25 Pada Kilang Fuel Oil Complex (FOC) I Di PT Pertamina RU-IV Cilacap," *Teknologi Separasi (Distilat)*, vol. 7(2), hal. 288–296, Agu 2021.
- [10] I. E. Rahayu, S. N. Izzah, dan M. R. Hidayat, "Analisis Kinerja Heat Exchanger Pada Preheater CDU V Di Kilang Ru V Balikpapan," *Jurnal Teknik Kimia Vokasional*, vol. 1(1), hal. 1–9, 2021.
- [11] T. E. Prasasti, S. Udjiana, dan Y. Muharram, "Evaluasi Fouling Faktor Terhadap Kinerja Heat Exchanger Pada Gas Cooler Unit Co 2 Liquid Plant," *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7(2), hal. 570–578, 2021.
- [12] H. Urbaningtyas, N. Hendrawati, dan F. Choirudin, "Evaluasi Performa Spiral Heat Exchanger HE-201 pada Unit Demonomerisasi," *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7(1), hal. 58–65, 2021.
- [13] B. Setyoko, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Dengan Metode Fouling Faktor," *Teknik*, vol. 29(2), hal. 148–153, 2008.
- [14] H. Hendratama, "Rancang Bangun dan Analisis Performa Alat Penukar Panas Double Pipe Menggunakan Metode LMTD," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 10(2), hal. 73–78, 2022.
- [15] U. A. Gani dan M. Taufiqurrahman, "Analisis Efektivitas Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Tipe Double Pipe," *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, vol. 2(2), hal. 97–104, 2021.