Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi
Vol 11 No. 1, April 2025
P-ISSN : 2477-5029
E-ISSN : 2502-0498

Evaluasi Kinerja *Cooler* #1533 Pada Unit Distilasi #1500 PT. X

Dinda Laras Ayu[1], Aulia Wahyuningtyas[2]
[1,2] Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361

Abstrak

PT. X merupakan perusahaan yang memproduksi Hidrogen Peroksida (H_2O_2). Bahan baku yang digunakan dalam memproduksi hidrogen peroksida (H_2O_2) di PT. X yaitu hidrogen (H_2), oksigen (O_2), air (H_2O) dan bahan baku penunjang yaitu WS (working solution), katalis, stabilizer dan etilen. Dalam proses pembuatan hydrogen peroksida terdapat banyak tahapan agar mendapatkan hasil yang sesuai permintaan. Hal tersebut tentu memerlukan alat-alat penunjang pada proses seperti cooler. Tugas khusus yang dilakukan adalah "Evaluasi Kinerja Cooler #1533 Pada Unit Distilasi #1500 PT. X. Berdasarkan perhitungan, nilai Rd dan %efisiensi panas selama 5 hari cenderung fluktuatif. Nilai Rd berkisar antara 0,00094832 btu/hr.ft^2.^{o}F hingga 0,002121257 btu/hr.ft^2 .^{o}F, sedangkan nilai efisiensi panas berkisar 48% hingga 51%. Hasil evaluasi HE pada tanggal 31 memiliki nilai Rd tertinggi 0,00212157 btu/hr.ft^2 .^{o}F) sehingga nilai efisiensi panas yang dihasilkan yaitu 50%. Sementara hasil evaluasi HE pada tanggal 28 memiliki nilai Rd yang paling rendah yaitu 0,00094832 (btu/hr.ft^2.^{o}F) sehingga memiliki efisiensi yang paling tinggi sebesar 51%. Nilai Overall head coefficient (Uc) lebih besar dari Design overall coefficient (Ud) yang menunjukkan bahwa perpindahan panas pada keadaan bersih lebih tinggi jika dibanding dalam keadaan kotor, sehingga dapat diakatan bahwa cooler #1533 masih dalam keadaan layak pakai. Adapun nilai ΔP untuk shell memiliki nilai 0,086605283 Psi dan nilai ΔP pada tube yaitu rentang 0,007 Psi. Nilai tersebut masih dibawah nilai standart yang diperbolehkan yaitu sebesar 10 Psi..

***Kata kunci**: Cooler, Efisiensi, Fouling Factor*

Abstract

PT. X is a company that produces Hydrogen Peroxide (H_2O_2) in Indonesia. The raw materials used in producing hydrogen peroxide (H_2O_2) at PT X are hydrogen (H2), oxygen (O2), water (H_2O) and supporting raw materials, namely WS (working solution), catalyst, stabilizer and ethylene. In the process of making hydrogen peroxide there are many stages in order to get the results on demand. This certainly requires supporting tools in the process such as coolers. The special task carried out is "Evaluation of Cooler #1533 Performance at Distillation Unit #1500 PT. X. Based on the calculation, the Rd value and %heat efficiency for 5 days tend to fluctuate. The Rd value ranges from 0.00094832 btu/hr.ft2.^{o}F to 0.002121257 btu/hr.ft^2.^{o}F, while the heat efficiency value ranges from 48% to 51%. The HE evaluation results on the 31st have the highest Rd value of 0.00212157 btu/hr.ft^2 ^{o}F so that the resulting heat efficiency value is 50%. While the HE evaluation results on the 28th have the lowest Rd value of 0.00094832 (btu/hr.ft2.^{o}F) so that it has the highest efficiency of 51%. The Overall head coefficient (Uc) value is greater than the Design overall coefficient (Ud) which indicates that the heat transfer in a clean state is higher than in a dirty state, so it can be said that cooler #1533 is still in a state worth using. The ΔP value for the shell has a value of 0.086605283 Psi and the ΔP value on the tube is 0.007 Psi range. This value is still below the standard value allowed, which is 10 Psi.

Keywords: Coolers, Efficiency, Fouling Factor

1. PENDAHULUAN

Bahan baku yang digunakan dalam memproduksi hidrogen peroksida (H_2O_2) di PT. X yaitu hidrogen (H_2), oksigen (O_2), air (H_2O) dan bahan baku penunjang yaitu WS (*working solution*), katalis, *stabilizer* dan etilen. Dalam proses pembuatan hydrogen peroksida terdapat banyak tahapan agar mendapatkan hasil yang sesuai permintaan. Hal tersebut tentu memerlukan alat-alat penunjang pada proses[1]. Alat yang diperlukan dalam proses industri pembuatan hydrogen peroksida salah satunya yaitu *cooler*, karena *cooler* memiliki fungsi dalam proses perpindahan panas yang cukup baik. *Cooler* adalah alat yang berguna untuk mencegah panas berlebih (overheating) dengan cara mendinginkan fraksi panas menggunakan cairan pendingin [2]. Dalam kerjanya, di dalam *cooler* akan terjadi perpindahan panas dari udara yang panas ke air. Adapun perpindahan panas pada *cooler* akan terjadi secara konveksi dan konduksi[3]. *Cooler* memiliki permasalahan yang sering muncul biasanya disebabkan oleh sumber bahan baku yaitu air. Apabila pengontrolan sumber air sebagai bahan baku tidak dilakukan dengan efektif maka akan menimbulkan efek negatif pada proses seperti kerusakan alat, meningkatnya biaya perawatan alat dan dapat mengurangi transfer panas. Berikut masalah yang disebabkan oleh air yang berada pada *cooler*. Masalah yang sering muncul pada *cooler* yaitu korosi[4]. Korosi adalah suatu proses kerusakan bahanbahan logam yang pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion di permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen [5]. Korosi sering terjadi pada sistem pendingin pada pabrik seperti industri kimia disebabkan karena sistem pendingin sering teroksidasi dengan H_2O dan udara, sehingga mudah sekali terjadi perkaratan. Pada sistem pendingin logam bersinggungan langsung dengan cairan yang bersifat korosif, sehingga logam akan mudah terserang korosi. Apalagi jika mesin tersebut berhubungan terus dengan air secara terus menerus. Seperti halnya pada sistem pendingin yang fungsinya menyuplai air dingin ke mesin-mesin industri seperti *compressor*, kondensor, *cooler* dan *chiller*. Dimana air bersirkulasi dalam sistem pendingin dan terjadi kontak langsung dengan semua komponennya. Akibatnya komponen tersebut akan mudah terserang korosi[6]. Selain terjadinya korosi, *Fouling* dapat terjadi pada *heat exchanger* salah satunya *cooler*. Adapun *fouling* dapat didefinisikan sebagai akumulasi endapan yang tidak diiinginkan pada permukaan perpindahan panas. Dikarenakan terdapat endapan atau deposit pada permukaan perpindahan panas, maka dibutuhkan luas perpindahan panas yang lebih agar perpindahan panas yang diinginkan dapat tercapai (dengan beban atau duty yang diberikan)[7]. Penelitian ini menggunakan *heat exchanger* tipe *shell* & *tube,* penukar panas jenis ini dipasangkan di dalam *shell* berbentuk silinder di mana dua jenis fluida yang saling bertukar kalor mengalir secara terpisah, masing–masing melalui sisi *tube* dan sisi *shell* [8]. Pada *shell* & *tube heat exchanger*, *fouling* dapat terjadi baik pada bagian dalam (*inner tube*) maupun (*outside tube*) dan dapat terjadi pula pada bagian dalam *shell* [9]. Nilai *fouling factor* merupakan salah satu faktor baik tidaknya suatu *heat exchanger* [10]. *Fouling* juga dapat menyebabkan pengurangan *cross sectional area* (luas penampang melintang), dan meningkatkan *pressure drop*, sehingga dibutuhkan energi ekstra untuk pemompaan. Beberapa permasalahan yang di timbulkan akibat dari adanya *fouling* pada *cooler* dapat mengurangi transfer panas[11]. Oleh sebab itu, penulis mengambil *cooler* sebagai bahan yang dibahas dalam laporan penelitian.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di PT. X. Penelitian dilaksanakan selama ±1 bulan dari 8 Januari – 12 Februari 2024. Adapun rincian kegiatan selama Peneltian dapat dilihat pada tabel 1**.**

Tabel 1. Jadwal Penelitian

Keterangan	Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4	Minggu ke-5
Materi					
Pengajuan judul					
Pengambilan data					
Penyusunan laporan					

2.1 Pengambilan Data

Cooler #1533 pada unit distilasi #1500 memerlukan dua jenis data untuk melakukan evaluasi, yaitu data primer dan data sekunder

2. 1.1 Data Primer

Data primer meliputi data desain *Cooler* #1533 yang diperoleh dari data sheet desain alat yang bisa didapatkan di *Central Control Room* PT X yang terletak di *Main Building*, data yang didapatkan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Desain *Cooler*#1533

Data Desain *Cooler* 1533		
Parameter	***Tube***	***Shell***
D in	24,28 mm	350 cm
D out	25,4 mm	366 cm
Panjang	4,986 m	5,837 m
Jarak dinding antar pipa		6,6 mm
Tube pitch		32 mm
Baffle space		250 mm
(Nt) jumlah *tube*	77	
n, jumlah lintasan *tube*	1	
A	30,32 m^2	

2. 1.2 Data Sekunder

Data yang dikumpulkan berupa data lapangan *Cooler* #1533 yang berada di Unit Distilasi PT X. Data lapangan diperoleh dari pengamatan *Cooler* #1533 dan data yang didapatkan dari *Control System Room* pada bulan Januari 2024 selama lima hari berturut-turut. Data lapangan meliputi flow rate fluida, suhu inlet dan outlet fluida proses pada *Cooler* #1533, densitas fluida dari *Cooler* #1533. Hasil pengamatan mengenai kondisi operasi *Cooler* #1533 selama 5 hari akan dirata-rata untuk digunakan sebagai dasar perhitungan.

Tabel 3. Data Aktual *Cooler* #1533

Waktu Pengamatan	***Tube***			***Shell***		
	Flow Rate (m^3/h)	**Tin (^oC)**	**Tout (^oC)**	**Flow Rate (m^3/h)**	**Tin (^oC)**	**Tout (^oC)**

27/01/2024	3,525	47,7	24,7583	25	20,5083	25,3083
28/01/2024	3,483	48,45	24,791	25	20,5667	25,3417
29/01/2024	3,583	46,5583	24,6417	25	20,4833	25,25
30/01/2024	3,5	47,4417	25,0917	25	20,8917	25,675
31/01/2024	3,4583	47,5167	24,5083	25	20,075	24,825

2. 2 Metode Perhitungan

Untuk mengevaluasi kinerja *Cooler* #1533 diperlukan perhitungan dengan mengolah data lapangan menggunakan metode perhitungan yaitu metode Kern yang ada di buku *Process Heat exchanger Transfer International Edition* oleh Donlad Q. Kern publikasi *McGraw Hill* (1950)

a. Menghitung Heat Balance

Heat balance dari *shell* dan *tube* masing-masing dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Q = m. c. ΔT

Keterangan :

Q = Jumlah panas, btu/hr

m = Laju alir massa, lb/hr

c = Spesific heat, btu/lb.^{o}F

ΔT = Perbedaan temperatur yang masuk dan keluar (^{o}F)

b. Menghitung Long Mean Temperature Difference (LMTD)

$$LMTD = \frac{(T_{hi} - t_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} - t_{co})}{T_{ho} - T_{ci}}}$$

T = Temperatur fluida panas, (^{o}F)

t = Temperatur fluida dingin, (^{o}F)

c. LMTD terkoreksi (Ft)

Dalam menentukan LMTD terkoreksi, Sebelumnya harus diketahui terlebih dahulu nilai parameter penukar panas (R) dan temperatur efisiensi penukar panas (S). Ft dapat dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

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

Setelah mendapat nilai R dan S, maka nilai Ft dapat dicari menggunakan figure18. LMTD correction *factor* for 1-2 exchanger (kern 1950). Menentukan selisih suhu rata-rata sebenarnya atau LMTD terkoreksi dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

$$\Delta T\ LMTD = Ft \times LMTD$$

d. Perhitungan flow area

- Pada *shell*

$$as = \frac{IDs \times C' \times B}{144 \times Pt}$$

IDs = diameter *shell* (in)

Pt = *tube* pitch (in)

C' = jarak dinding antar pipa (in) B

= baffle space (in)

As = cross flow area *shell* (ft^2)

- Pada *tube*

$$at = \frac{Nt \times a't}{144 \times n}$$

Keterangan

Nt = jumlah *tube*

a' = flow area per *tube* (in^2) [tabel

10 kern] n = *tube* pass (jumlah lintasan *tube*)

At = flow area *tube* (ft^2)

e. Menghitung laju alir fluida (mass velocity)

- Pada *shell*

$$Gs = \frac{ws}{as}$$

keterangan ;

ws = laju alir fluida pada *shell*, (lb/hr)

as = flow area *shell* (ft^2)

Gs = mass velocity per cross section area *shell* ($lb/hr.ft^2$)

- Pada *tube*

$$Gt = \frac{wt}{at}$$

keterangan ;

wt = laju alir fluida pada *tube*, (lb/hr)

at = flow area *tube* (ft^2)

Gt = mass velocity area *tube* ($lb/hr.ft^2$)

f. Diameter ekivalen

$$De = \frac{4[\frac{1}{2}Pt \times 0{,}86Pt - \frac{1}{2}(\frac{1}{2}\pi\, do^2]}{\frac{1}{2}\pi\, do}$$

Keterangan :

Pt = *tube* pitch (in)

Do = diameter *outside tube* (in)

De = diameter ekivalen (ft)

g. Reynold number

- Pada *shell*

$$Re = \frac{De \times Gs}{\mu}$$

Keterangan

De = diameter ekivalen (ft)

Gs = mass velocity per cross section area *shell* (lb/hr.ft^2)

μ = viskositas (lb/hr.ft)

- Pada *tube*

$$Re = \frac{Di \times Gt}{\mu}$$

Keterangan

Di = diameter in *tube* (ft)

Gs = mass velocity area *tube* (lb/hr.ft^2)

μ = viskositas (lb/hr.ft)

h. Mencari heat transfer coeffisien

- Pada *shell*

$$ho = jH \times \frac{k}{De} \times \left(\frac{Cp\mu}{k}\right)^{1/3} \theta s$$

keterangan

jH = *factor* perpindahan panas [fig 28 kern]

k = konduktivitas pada temperature kalorik, btu/hr.ft2 . .^{o}F

De = diameter ekivalen, ft

Cp = Spesific heat, btu/lb.^{o}F

μ = viskositas (lb/hr.ft)

θs = viscocity ratio jika < 1 maka nilainya 1

- Pada *tube*

$$hio = jH \times \frac{k}{De} \times \left(\frac{Cp\mu}{k}\right)^{1/3} \theta s \text{ , atau } \quad hio = ho \times \frac{ID}{OD}$$

keterangan

jH = *factor* perpindahan panas [fig 28 kern]

k = konduktivitas pada temperature kalorik, btu/hr.ft2 . .^{o}F

De = diameter ekivalen, ft

Cp = Spesific heat, btu/lb.^{o}F

μ = viskositas (lb/hr.ft)

θs = viscocity ratio jika < 1 maka nilainya 1

i. Uc (Clean Overal Koefisien)

$$Uc = \frac{hio \times ho}{hio + ho}$$

j. Ud (Design Overall Koefisien)

$$Ud = \frac{Q}{A \times \Delta T}$$

k. Rd (Dirt *Factor*)

$$Rd = \frac{Uc + Ud}{Uc \times Ud}$$

Keterangan
Rd = *fouling factor*, (btu/hr.ft^2 .^{o}F)

l. *Pressure drop*

- Pada *shell*

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times IDs \times (N+1)}{5{,}22 \times 10^{10} \times De \times s \times \emptyset}$$

- Pada *tube*

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times IDs \times L \times n}{5{,}22 \times 10^{10} \times De \times s \times \emptyset}$$

$$Ud = \frac{4n}{s} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$\Delta Ptotal = \Delta P_s + \Delta P_n$$

m. Efisiensi Panas (ŋ)

$$ŋ = \frac{Q\ tube}{Q\ shell} \times 100\%$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

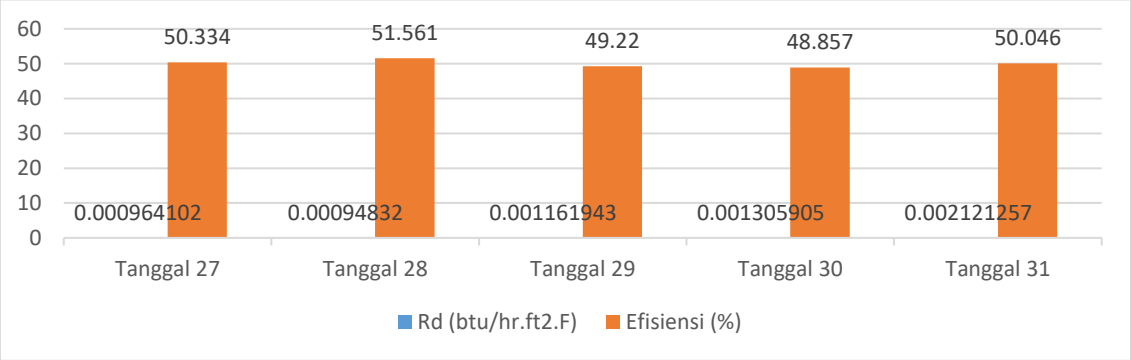
Dari data desain alat *Cooler* #1533 dan data actual yang diperoleh selama 5 hari yaitu 27-31 Januari 2024. Perhitungan dilakukan menggunakan Microsoft excel. Didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Perhitungan Uc dan Ud *Cooler* #1533

Tanggal	Uc (btu/hr.ft^2.^{o}F)	Ud (btu/hr.ft^2.^{o}F)	Rd (btu/hr.ft^2.^{o}F)
27 Januari 2024	71,81375557	67,16362799	0,0009641102
28 Januari 2024	71,81375557	67,23489757	0,00094832
29 Januari 2024	71,81375557	66,28288275	0,001161943
30 Januari 2024	71,81375557	65,6563722	0,001305905
31 Januari 2024	71,81375557	62,32018314	0,002121257

Tabel 5. Hasil Perhitungan Efisiensi Panas *Cooler* #1533

Tanggal	Efisiensi (%)
27 Januari 2024	50,33412
28 Januari 2024	51,561488
29 Januari 2024	49,222828
30 Januari 2024	48,857873
31 Januari 2024	50,046999



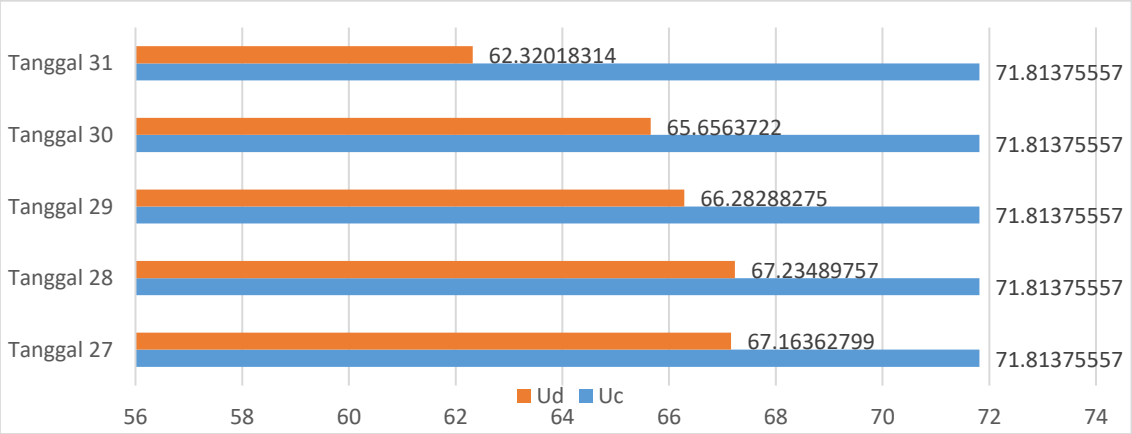
Gambar 1. Grafik perbandingan Rd dan Efisiensi *Cooler* #1533 selama 5 hari

Fouling Factor (Rd) menunjukkan besarnya faktor pengotor, dikarenakan adanya endapan sehingga memberikan tahanan tambahan terhadap aliran panas. Semakin lama *heat exchanger* digunakan akan menyebabkan pengotoran (*fouling*) pada bagian dalam *heat exchanger* tersebut. Lapisan pengotoran ini menyebabkan penambahan tahanan termal dan menyebabkan laju perpindahan panas pada *heat exchanger* berkurang yang pada akhirnya akan berpengaruh

pada kinerja dari *heat exchanger* [12]. Pada Gambar 1, nilai Rd kelima hari berkisar diantara 0,00094832 sampai 0,0021257. Pada tanggal 29-31 Januari 2024 terdapat peningkatan nilai Rd. Nilai Rd pada tanggal 29-31 Januari masing-masing yaitu 0,001161943; 0,001305905; 0,0021257. Hal tersebut tergolong melibihi nilai toleransi yang diijinkan (*fouling* resistance) pada specification sheet yaitu 0,001 btu/hr.ft^2.^{o}F untuk product *cooler* (Kern,1995). Hal tersebut tidak menutup adannya penumpungan kotoran (*fouling*) pada *cooler*.

Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat bahwa nilai Rd (*fouling factor*) berbanding terbalik dengan efisiensi panas yang dihasilkan. Menurut [13], semakin besar nilai *fouling* maka semakin menurun efisiensi *Cooler*. Efisiensi panas yang dihitung berkisar antara 48% hingga 51%. Sample yang memiiki Rd yang cukup tinggi dibandingkan dengan sample yang lain berada pada tanggal 31 Januari 2024 yaitu sebesar 0,001729092 dan yang terkecil terdapat pada tanggal 29 Januari 2024 dengan nilai Rd yaitu 1,00106. Sedangkan untuk efisiensi, terkecil terapat pada tanggal 30 Januari 2024 dengan nilai efisiensi panas yaitu 48% dan yang terbesar efisiensinya terdapat pada tanggal 28 Januari 2024 yaitu dengan nilai 51% Rendahnya efsiensi panas yang dihasilkan mengakibatkan banyaknya panas yang keluar dibanding panas masuk dan panas yang keluar akan meningkat bersamaan dengan meningkatnya nilai *fouling factor* pada *Cooler* #1533

Selain *fouling factor* dan efisiensi panas, koefisien perpindahan panas juga digunakan sebagai parameter yang menunjukkan jumlah panas atau kalor yang ditransfer oleh fluida panas ke fluida dingin. *Design overall coefficient* (Ud) dan *Overall head coefficient* (Uc) adalah koefisien perpindahan panas menyeluruh setelah terjadi pengotoran pada *heat exchanger* (Ud) dan koefisien keseluruhan bersih pada *heat exchanger* (Uc). Berikut merupakan grafik perbandingan nilai Ud dan Uc selama 5 hari.



Gambar 2. Perbandingan Uc dan Ud *Cooler* #1533 selama 5 hari

Berdasarkan gambar di atas, diperoleh nilai untuk koefisien keseluruhan bersih (Uc) lebih besar daripada perpindahan kalor keseluruhan (Ud) Hal ini menunjukkan bahwa pada *heat exchanger*, perpindahan panas pada keadaan bersih lebih tinggi jika dibanding hantaran perpindahan panas jika sudah beroperasi, atau sudah terdapat endapan. Hasil yang diperoleh dari perhitungan Uc dan Ud ini sesuai dengan teori Kern. Selain nilai Uc dan Ud, evaluasi kinerja *cooler* juga berpengaruh pada nilai *pressure drop*. Berikut merupakan nilai *pressure drop* dari *shell* dan *tube*:

Tabel 6. Nilai *Pressure drop Shell* dan *Tube*

Pressure drop Shell	*Pressure drop Tube*
0,086605283	0,007206
0,086605283	0,007111

0,086605283	0,007209
0,086605283	0,007204
0,086605283	0,007202

Tingginya nilai *fouling factor* juga berpengaruh pada *pressure drop* yang dihasilkan. *Pressure drop* yang terjadi pada *Cooler* #1533 disebabkan oleh adanya akumulasi pengotor yang terdapat pada permukaan *tube* dan *shell*, yang menyebabkan adanya friksi antara aliran fluida dengan permukaan *tube* dan *shell* yang berdampak pada penurunan tekanan pada *cooler*. Semakin besarnya *pressure drop* yang dihasilkan maka akan semakin besar pula *heat transfer* yang terjadi [14]. Dari hasil perhitungan tabel 6, dapat diketahui bahwa nilai *pressure drop* untuk *shell* memiliki nilai 0,086605283 Psi dan nilai *pressure drop* pada *tube* yaitu di rentang 0,007 Psi. Nilai *pressure drop* tersebut masih dibawah nilai standar yang diperbolehkan yaitu sebesar 10 Psi [15]. Hal tersebut menyatakan bahwa batas yang *Cooler* #1533 tidak melebihi standar batas yang diperbolehkan atau bisa dikatakan layak.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi terhadap kinerja *Cooler* #1533 selama 5 hari, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Factor* pengotor (Rd) yang berpengaruh pada %efisiensi. Berdasarkan perhitungan, nilai Rd dan %efisiensi panas selama 5 hari cenderung fluktuatif. Nilai Rd berkisar antara 0,00094832 btu/hr.ft^2.^{o}F hingga 0,002121257 btu/hr.ft^2 .^{o}F, sedangkan nilai efisiensi panas berkisar 48% hingga 51%. Hasil evaluasi HE pada tanggal 31 memiliki nilai Rd tertinggi 0,00212157 btu/hr.ft^2 .^{o}F) sehingga nilai efisiensi panas yang dihasilkan yaitu 50%. Sementara hasil evaluasi HE pada tanggal 28 memiliki nilai Rd yang paling rendah yaitu 0,00094832 (btu/hr.ft^2.^{o}F) sehingga memiliki efisiensi yang paling tinggi sebesar 51%.
2. Berdasarkah hasil perhitungan yang dilakukan, *Cooler* #1533 masih beroperasi secara optimal dan terbilang layak pakai. Dilihat dari nilai *Overall head coefficient* (Uc) yang lebih besar dari *Design overall coefficient* (Ud) yang menunjukkan bahwa perpindahan panas pada keadaan bersih lebih tinggi jika dibanding dalam keadaan kotor. Adapun nilai ΔP untuk *shell* memiliki nilai 0,086605283 Psi dan nilai ΔP pada *tube* yaitu rentang 0,007 Psi. Nilai tersebut masih dibawah nilai standart yang diperbolehkan yaitu sebesar 10 Psi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] C. E. (1963). Perry, *Chemical Engineers" Handbook," third edition*, vol. 11, no. 1. 2019. [Online]. Available: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

[2] Virsa Faliolla Tasyakuranti, Rosita Dwi Chrisnandari, Arief Rahmatulloh, Setiyono, and Nurul Kamaliya, "Evaluasi Kinerja Cooler-05 Pada Crude Distillation Unit Di Ppsdm Migas Cepu," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 9, no. 2, pp. 177–189, 2023, doi: 10.33795/distilat.v9i2.2695.

[3] A. N. Al Ghifary, A. N. Hasya, T. Riadz, and L. Cundari, "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger E-401 Pada Unit Pe3 Pt. Lotte Chemical Titan Nusantara," *J. Sains dan Teknol. Reaksi*, vol. 20, no. 01, 2022, doi: 10.30811/jstr.v20i01.3255.

[4] Donald Q. kern, "Process_Heat_Transfer__DQ_Kern.pdf." pp. 127–171, 1950. [Online]. Available: https://www.academia.edu/30224410/Process_Heat_Transfer_DQ_Kern_pdf

[5] T. Natasya, M. E. Khairafah, M. S. Br Sembiring, and L. N. Hutabarat, "Corrosion Factors on Nail," *Indones. J. Chem. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 1, p. 47, 2022, doi: 10.24114/ijcst.v5i1.33159.

[6] V. Holman, "Introduction," *Vis. Resour.*, vol. 15, no. 3, pp. ix–x, 1999, doi: 10.1080/01973762.1999.9658510.

[7] I. Putra, "Studi Perhitungan Heat Exchanger Type Shell and Tube Dehumidifier Biogas Limbah Sawit," *J. Polimesin*, vol. 15, no. 2, pp. 42–49, 2017.

[8] A. H. Sitepu, M. R. Alwi, S. Hariyanto, M. I. Nikmatullah, and M. I. Nur, "Analisis Efektivitas Heat Exchanger Type Shell and Tube Menggunakan CFD," *J. Ris. Teknol. Terap. Kemaritiman*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2024, doi: 10.25042/jrt2k.062024.01.

[9] S. N. Anjani, N. ZA, A. Azhari, S. Bahri, and N. Sylvia, "PENGARUH KONDISI OPERASI TERHADAP PEMBENTUKAN FOULING FACTOR (Rd) PADA KONDENSOR 61-127-C DI UNIT AMMONIA REFRIGERANT PT. PUPUK ISKANDAR MUDA," *Chem. Eng. J. Storage*, vol. 3, no. 3, p. 291, 2023, doi: 10.29103/cejs.v3i3.8947.

[10] T. E. Prasasti, S. S. Udjiana, and Y. Muharram, "Evaluasi Fouling Faktor Terhadap Kinerja Heat Exchanger Pada Gas Cooler Unit Co2 Liquid Plant," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 570–578, 2023, doi: 10.33795/distilat.v7i2.278.

[11] M. R. Zain and A. Mustain, "Evaluasi Efisiensi Heat Exchanger (He - 4000) Dengan Metode Kern," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 6, no. 2, pp. 415–421, 2023, doi: 10.33795/distilat.v6i2.133.

[12] D. P. Nugroho, S. Rulianah, R. Raharjo, and C. Sindhuwati, "Evaluasi Faktor Kekotoran Pada Heat Exchanger – 03 Crude Distilation Unit Di Ppsdm Migas Cepu," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 1, pp. 64–71, 2023, doi: 10.33795/distilat.v8i1.301.

[13] S. Sekarningrum, R. Amalia Kusuma Putri, and S. Sani, "Efisiensi Perpindahan Panas Pada Alat Penukar Kalor Tipe Cangkang Dan Pipa Pt Petrokimia Gresik," *SINERGI POLMED J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 75–81, 2023, doi: 10.51510/sinergipolmed.v4i1.1037.

[14] U. Prayogi, "Analisa Perpindahan kalor Pada Heat Exchanger Tipe Shell and Tube Dengan Variasi Baffle pada kapal Ikan Jala Sutera ayu 90 GT," *Oktober*, vol. 4, no. 2, pp. 35–40, 2022.

[15] R. J. Prabaswara, S. Rulianah, C. Sindhuwati, and R. Raharjo, "Evaluasi Pressure Drop Heat Exchanger-03 Pada Crude Distillation Unit Ppsdm Migas Cepu," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 505–513, 2023, doi: 10.33795/distilat.v7i2.287.