



EFISIENSI PERPINDAHAN PANAS PADA ALAT PENUKAR KALOR TIPE CANGKANG DAN PIPA PT PETROKIMIA GRESIK

Salma Putri Sekarningrum^{a*}, Rizka Amalia Kusuma Putri^b, Sani^a

^aProgram Studi Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur, 60293, Indonesia

^bPT Petrokimia Gresik, Jl. Jenderal Ahmad Yani, Ngipik, Karangpoh, Gresik, Jawa Timur, 61119, Indonesia

E-mail: salmasekarningrum22@gmail.com Tel.: +62815-6370-6449

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 21 Desember 2022

Direvisi pada 26 Januari 2023

Disetujui pada 11 Februari 2023

Tersedia daring pada 25 Februari 2023

Kata kunci:

Ketel uap, kapasitas, nilai kalor, unjuk kerja, gas

Keywords: Boiler, capacity, heating value, efficiency, gas

ABSTRAK

Alat penukar kalor adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas yang dipakai adalah air yang dipanaskan sebagai fluida panas dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Petrokimia Gresik memiliki alat penukar kalor tipe cangkang dan pipa (*shell and tube*) yang berfungsi sebagai pendingin pada proses absorpsi. Alat penukar kalor berfungsi untuk mengatur temperatur H_2SO_4 yang akan masuk ke absorber. Oleh karena itu, alat penukar kalor E-1303 dituntut untuk memiliki kinerja yang baik agar produk berupa H_2SO_4 diperoleh secara maksimal. Data yang digunakan berupa data desain dan data aktual dimana diperoleh tekanan turun pada cangkang (ΔPS) sebesar 9,5403 psi dan tekanan rendah pada pipa (ΔPT) sebesar 9,3537 psi untuk data desain serta nilai tekanan rendah data aktual pada shell (ΔPS) sebesar 9,4606 psi dan tekanan rendah pada pipa (ΔPT) sebesar 7,5972 psi. Hasil tersebut menunjukkan tekanan rendah yang didapat dibawah nilai penurunan tekanan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kinerja alat penukar kalor E-1303 berdasarkan data desain dapat dikatakan dalam kinerja yang baik dinilai dari aspek faktor pengotor (R_d) dan tekanan rendah.

ABSTRACT

Heat exchanger can operate as a heater or a coolant and is used to transfer heat from one system to another without the use of mass transfer. The purpose of this study is to learn more about the sulfuric acid unit's operation and to evaluate the E-1303 Heat Exchanger's shell and tube HE type design, which serves as a coolant throughout the absorption process. The H_2SO_4 can absorber and the temperature controlled by this heat exchanger. The production of the product in the form of H_2SO_4 , Heat Exchanger E-1303 must perform effectively and this information used is in the form of design data and actual data, with the pressure drop on the shell (PS) at 9.5403 psi and the pressure drop on the tube (PT) at 9.3537 psi for the design data and a value of 9.4606 psi and 7.5972 psi, accordingly, for the actual data. These results indicate that the pressure drop attained was less than the allowed pressure drop. Therefore, it can be concluded that, if considering at the impurity factor (R_d) and pressure drop, the performance of the E-1303 Heat Exchanger based on design data maybe onsidered to be in good performance.

1. PENGANTAR

PT Petrokimia Gresik merupakan pabrik pupuk terlengkap di Indonesia yang mampu menghasilkan produk pupuk dan prosuk non pupuk serta bahan kimia lainnya. Secara umum, PT Petrokimia Gresik dibagi menjadi 3 (tiga) unit produksi, yaitu unit produksi IA dan IB, unit produksi IIA dan IIB serta unit produksi IIIA dan IIIB. Departemen produksi IIIA merupakan unit produksi yang memproduksi bahan baku hampir di seluruh unit produksi PT Petrokimia Gresik. Unit produksi IIIA menghasilkan produk berupa asam sulfat, asam fosfat, fosfopgypsum, dan asam fluosilikat untuk menghasilkan produk lain seperti pupuk Phonska, pupuk ZA, dan AlF_3 . Pabrik asam sulfat di PT Petrokimia Gresik beroperasi satu stream dengan kapasitas 1800 ton/hari melalui proses Hitachi Zosen/ T.J. Browder *double contact and double absorbtion* (DC/DA). Proses pembuatan asam sulfat (H_2SO_4) dibagi menjadi 5 macam yaitu sulphur handling, unit SO_2 generation, SO_2 conversion, Drying air and SO_3 absorbtion, H_2SO_4 storage and distribution. Pada unit asam sulfat ini terdapat alat alat penukar kalor (E-1303) yang berfungsi sebagai pendingin pada proses absorpsi. Alat penukar kalor ini berfungsi untuk mengatur temperatur H_2SO_4 yang akan masuk ke absorber. Oleh karena itu, alat penukar kalor E.1303 ditun tut untuk memiliki kinerja yang baik agar produk berupa H_2SO_4 diperoleh secara maksimal melalui evaluasi kinerja alat. Salah satu proses evaluasi yang dapat dilakukan yaitu dengan meninjau nilai *fouling factor* (Rd) aktual berdasarkan data aktual dari *logsheet* yang ada kemudian dibandingkan dengan nilai *fouling factor* desain maksimal yang diperbolehkan (Jalu, dkk., 2021).

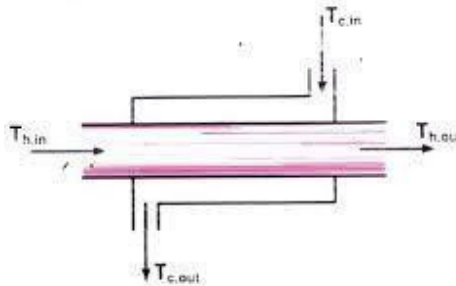
Alat penukar panas dikenal sebagai peralatan yang dirancang untuk perpindahan panas yang efisien dari satu media ke media lainnya. Penukar panas juga merupakan perangkat yang digunakan untuk mentransfer energi panas antara dua atau lebih cairan tanpa interaksi panas dan kerja eksternal (Hameed, 2020). Alat penukar panas adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas yang dipakai adalah air yang dipanaskan sebagai fluida panas dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas diancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terhadap dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*). Kemampuan untuk menukar panas sangat ditentukan oleh jenis aliran fluida dan fluida yang melewati penukar panas. Alat penukar panas memainkan peran penting dalam pengoperasioan banyak sistem seperti pembangkit listrik, reaktor, nuklir, industri proses dan unit pemulihan panas (Suswanto, 2015). Jenis perpindahan panas dapat berlangsung melalui beberapa cara, diantaranya kontak langsung dan kontak tak langsung. Alat penukar panas ini memanfaatkan proses perpindahan panas tak langsung, yaitu dimana fluida panas tidak berhubungan langsung dengan fluida dingin, melainkan melalui media perantara seperti plat, pipa, membran, atau medium lain. Proses perpindahan panas yang menggunakan medium ini terjadi secara konduksidan konveksi. Konduksi saat panas merambat melalui dinding media (pipa, plat, atau sejenisnya) dan konveksi saat perpindahan energi panas dari fluida panas ke fluida yang lebih dingin karena gerakan fluida panas yang cenderung menjadi ringan dan bergerak kearah fluida yang lebih rendah temperaturnya (Geankoplis, 2005).

1.1. Jenis Alat Penukar Kalor

Dalam industri proses perpindahan panas antara dua fluida umumnya dilakukan di *heat exchanger*. Jenis yang paling umum adalah cairan dimana fluida panas dan dingin tidak bersentuhan langsung satu sama lain tetapi dipisahkan oleh dinding tabung atau permukaan datar tau melengkung. Ada beberapa macam jenis *heat exchanger* yang pertama *double pipe heat exchanger*, *shell and tube exchanger*, *cross flow exchanger*.

1.1.1 Alat Penukar Kalor Pipa Ganda

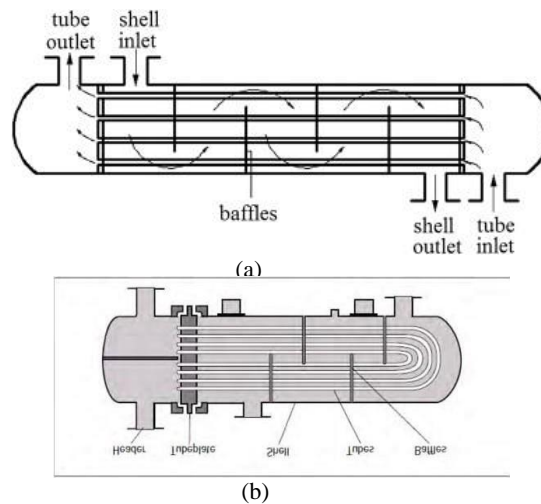
Penukar paling tipis adalah penukar pipa ganda atau pipa konsentris ditunjukkan pada gambar 1, dimana satu fluida mengalir didaam satu pipa dan fluida lainnya dalam ruang melingkar diantara dua pipa. Cairan bisa dalam aliran *cocurrent* atau *countercurrent*. Alat penukar dapat dibuat dari sepasang pipa dengan panjang tunggal dengan alat kelengkapan di ujung atau dari beberapa pasang yang saling berhubungan secara sama. Jenis penukar ini berguna terutama untuk laju aliran kecil.



Gambar 1: Aliran Fluida pada Alat Penukar Kalor Pipa Ganda

1.1.2 Alat Penukar Kalor Cangkang dan Pipa

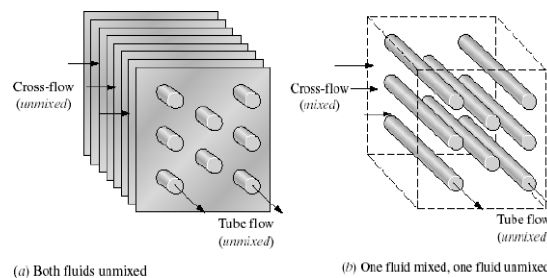
Jika arus yang lebih besar terlibat maka alat penukar kalor tipe *cangkang dan pipa* digunakan dalam industri. Dalam penukar ini alirannya kontinu. Banyak tabung secara paralel digunakan di manasatu fluida mengalir di dalam tabung ini. Tabung disusun dalam *bundle*, ditutup dalam satu cangkang. Penukar *shell tube* yang paling sederhana ditunjukkan pada gambar 2 (a) untuk 1 *shell pass* dan 1 *tube pass*, atau penukar *counterflow* 1-1. Cairan dingin masuk dan mengalir ke dalam melalui semua tabung masuk secara paralel.



Gambar 2: (a) untuk 1 shell pass dan 1 tube pass, (b) untuk 1 shell pass dan 2 tube pass

1.1.3 Cross flow exchanger

Ketika gas seperti udara dipanaskan atau didinginkan, perangkat yang umum digunakan adalah penukar panas aliran silang yang ditunjukkan pada gambar 3. Salah satu fluida, yaitu cairan, mengalir ke dalam melalui tabung dan gas luar mengalir melintasi bundel tabung dengan konveksi paksa atau kadang-kadang alami. Cairan di dalam tabung dianggap tidak tercampur karena dibatasi dan tidak dapat bercampur dengan aliran lain. Aliran gas di luar tabung tercampur karena dapat bergerak bebas di antara tabung dan akan ada kecenderungan temperatur gas untuk menyamakan arah normal dengan aliran. Untuk fluida yang tidak tercampur di dalam tabung akan terjadi gradien temperatur baik sejajar maupun normal terhadap arah aliran. Jenis kedua dari penukar panas aliran silang yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3: Flow patterns of cross-flow Heat Exchanger: (a) both fluid unmixed (b) one fluid mixed, one fluid unmixed

1.2. Penggunaan Alat Penukar Kalor

Penggunaan alat penukar kalor secara terus menerus akan menimbulkan penurunan unjuk kerja alat tersebut sehingga perlu dilakukan perawatan sebagai berikut:

1. Penurunan unjuk kerja karena pengotoran (*fouling*) sehingga target temperatur yang diinginkan tidak tercapai.
2. Perubahan distribusi aliran dalam proses sehingga dapat menyebabkan terjadinya penyimpangan aliran pada cangkang dan pipa.
3. Perubahan sifat-sifat fluida yang mengalir pada cangkang dan pipa memberikan perubahan komposisi fluida terutama yang langsung mempengaruhi koefisien perpindahan panasnya seperti viskositas dan konduktivitas panas.
4. Kerusakan pada bagian peralatan alat penukar kalor.
5. Korosif
6. Gasket bocor
7. Berkurangnya luas area pipa karena ada sebagian pipa yang ditutup atau diplug

1.3. Fouling Factor

Fouling yaitu pembentukan deposit pada permukaan alat penukar panas yang dapat menghambat perpindahan panas dan meningkatkan hambatan aliran fluida pada alat penukar panas. *Fouling factor* dapat mempengaruhi proses perpindahan panas karena dapat menghambat pergerakan panas didalamnya yang diakibatkan karena deposit tersebut. Apabila nilai *fouling factor* hasil perhitungan lebih besar dari nilai *fouling factor* desain maka perpindahan panas yang terjadi didalam alat tidak memenuhi kebutuhan prosesnya dan harus segera dibersihkan. Evaluasi *fouling factor* dilakukan supaya dapat mengetahui keberadaan kotoran di dalam alat dan waktu pembersihan harus dilakukan. Nilai *fouling factor* yang semakin besar akan mengakibatkan efisiensi perpindahan panas yang semakin menurun dan nilai penurunan tekanan semakin tinggi. Hal tersebut dapat menyebabkan penurunan kinerja dari alat penukar kalor. *Fouling factor* dapat ditentukan berdasarkan harga koefisien perpindahan panas overall untuk kondisi clean dan dirty pada alat penukar panas yang digunakan. *Clean Overall Coefficient* adalah koefisien perpindahan panas menyeluruh pada awal alat penukar kalor dipakai (masih bersih), besarnya ditentukan oleh besarnya tahanan konveksi h_o dan $h_{i,o}$, sedangkan tahanan konduksi diabaikan karena sangat kecil bila

dibandingkan dengan tahanan konveksi. Koefisien perpindahan panas *overall* pada saat pengotor (UD) ini 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 dan nilai UD lebih kecil daripada nilai UC (Rahayu, 2021).

2. METODE

2.1 Spesifikasi Alat Penukar Kalor

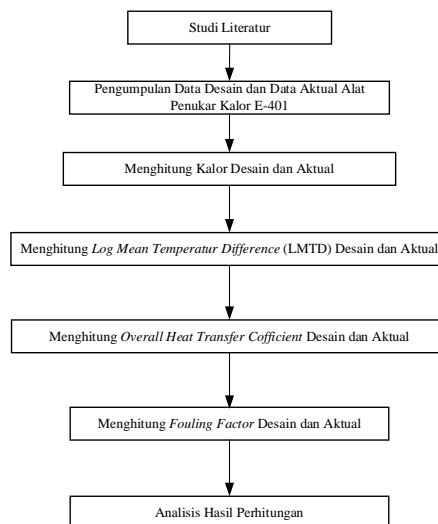
Tabel 1 merupakan spesifikasi dari alat penukar kalor (E-1303) pada unit Asam sulfat Pabrik IIIA PT Petrokimia Gresik.

Tabel 1: Spesifikasi Alat Penukar Kalor

Typ	Deskripsi
<i>Project Name</i>	Hitachi Zosen Corporation
<i>Installation Location</i>	Gresik, Indonesia
<i>Number</i>	E-1303
<i>Shell Pressure</i>	5,5 kg/cm ² g
<i>Tube Pressure</i>	5,4 kg/cm ² g

2.2 Metode Evaluasi

Metode perhitungan efisiensi alat penukar kalor menggunakan metode Kern dengan menggunakan penilaian terhadap koefisien perpindahan panas *clean overall* (U_c), koefisien perpindahan panas *dirty overall*, *fouling factor* (R_d) (Zain dan Mustain, 2020). Evaluasi metode Kern dapat ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4: Diagram Alir Evaluasi Alat Penukar Kalor

2.3 Metode Persamaan

Metode persamaan menggunakan koefisien perpindahan panas dapat ditentukan dengan cara berikut ini (Suswanto, 2015):

Koefisien perpindahan panas dapat ditentukan dengan persamaan 1 dan persamaan 2 sebagai berikut ini:

- Menentukan neraca panas
Neraca panas pada *shell*

$$Q = W \cdot C_p \cdot (T_1 - T_2) \quad (1)$$

Neraca panas pada *tube*

$$Q = W \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) \quad (2)$$

W : Laju aliran massa (lb/jam)

C_p : Panas jenis (Btu/lb°F)

T₁, T₂ : Temperatur fluida panas

t₁, t₂ : Temperatur fluida dingin

2. Menentukan LMTD dan *True Temperature Different* (Δt) pada persamaan 3 dan 4 sebagai berikut:

$$LMTD = \Delta t_{lm} = \frac{\Delta T_{maks} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{maks}}{\Delta T_{min}}} \quad (3)$$

$$\Delta T = LMTD \times F_t \quad (4)$$

Keterangan:

T_{max} : selisih temperatur fluida tinggi antara cangkang dan pipa ($^{\circ}F$)

T_{min} : selisih temperatur fluida rendah antara cangkang dan pipa ($^{\circ}F$)

3. Menentukan temperature kalorik terdapat pada persamaan 5 dan 6 sebagai berikut:

Temperatur kalorik untuk sisi cangkang

$$T_C = T_2 + FC (T_1 - T_2) \quad (5)$$

Temperatur kalorik untuk sisi pipa

$$tC = t_2 + FC (t_1 - t_2) \quad (6)$$

4. Menentukan bilangan Reynold pada persamaan 7 dan 8 sebagai berikut:

Bilangan Reynold pada cangkang

$$Re_s = \frac{D_e G_s}{\mu} \quad (7)$$

Bilangan Reynold pada pipa

$$Re_t = \frac{ID_t G_t}{\mu} \quad (8)$$

D_e : Diameter ekuivalen (ft)

μ : Viskositas fluida (lb/ft.jam)

G_s : Kecepatan aliran massa pada cangkang

ID_t : Diameter dalam tube (ft)

G_t : Kecepatan aliran massa pada pipa

5. Menentukan bilangan Prandtl

Harga bilangan Prandtl pada shell dapat diperoleh dengan menggunakan *software steam table* atau dengan persamaan 9 sebagai berikut:

$$Pr_s = \frac{c_{ps} \times \mu}{K_s} \quad (9)$$

μ : Viskositas fluida (lb/ft.jam)

cps : Panas spesifik fluida pada cangkang/pipa

ks : Konduktivitas termal (Btu/(jam.ft. $^{\circ}F$))

6. Menentukan koefisien perpindahan panas

Koefisien perpindahan panas pada cangkang

$$\frac{h_o}{\Phi_s} = JH_s \times \frac{k_t}{D_e} \times (Pr_s)^{\frac{1}{3}} \quad (10)$$

Koefisien perpindahan panas pada pipa

$$\frac{h_i}{\Phi_t} = JH_t \times \frac{k_t}{ID_t} \times (Pr_t)^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

Keterangan:

D_e : Diameter ekuivalen (ft)

ID_t : Diameter dalam tube (ft)

ks, kt : Konduktivitas termal (Btu/(jam.ft. $^{\circ}F$))

JHs : Faktor perpindahan panas cangkang

Prs : Bilangan Prandtl pada cangkang

JHt : Faktor perpindahan panas pipa

Prt : Bilangan Prandtl pada pipa

7. Menentukan rasio viskositas dan koefisien dinding pipa pada persamaan 12 dan persamaan 13 sebagai berikut:

Rasio viskositas dari uap pada dinding cangkang

$$\Phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (12)$$

Rasio viskositas dari uap pada dinding cangkang

$$\Phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (13)$$

μ : Viskositas dari uap pada $T_{av,in}$

μ_w : Viskositas dari uap pada T_w

8. Menentukan *clean overall heat transfer coefficient* pada persamaan 14 dan persamaan 15 sebagai berikut:

Clean Overall Heat Transfer Coefficient (U_c) dapat diperoleh sebagai berikut:

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \quad (14)$$

Overall Heat Transfer Coefficient Design (U_d) dapat diperoleh sebagai berikut :

$$U_d = \frac{q_t}{A \times \Delta T_{LMTD}} \quad (15)$$

h_{io} : Koefisien perpindahan panas bagian dalam pipa

h_o : Koefisien perpindahan panas bagian luar pipa

A : Luas permukaan pipa

9. Menentukan faktor pengotor

Faktor Pengotoran (R_d) adalah hambatan perpindahan panas akibat adanya endapan atau kotoran pada dinding perpindahan panas dan dapat diperoleh dari persamaan 16 sebagai berikut:

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \quad (16)$$

U_c : faktor pengotor bersih

U_d : faktor pengotor kotor

10. Menghitung pressure drop dengan menggunakan persamaan 17 dan 18

Pressure drop pada cangkang

$$\Delta D_s = \frac{f \times (G_s)^2 \times ID_s \times (N+1)}{(5,22 \times 10^{10}) \times D_e \times SG_s \times \Phi_s} \quad (17)$$

Pressure drop pada pipa

$$\Delta D_t = \frac{f \times (G_s)^2 \times L \times n}{(5,22 \times 10^{10}) \times ID_t \times SG_s \times \Phi_t} \quad (18)$$

D_e : Diameter ekuivalen (ft)

SG_s : Kecepatan aliran massa pada *shell*

ID_t : Diameter dalam tube (ft)

SG_t : Kecepatan aliran massa pada tube

Φ_s/t : Rasio viskositas

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Desain

Data desain alat penukar kalor untuk menganalisis unjuk kerja alat penukar kalor dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2: Data Desain Alat Penukar Kalor

Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Diameter dalam	ID_s	in	29,528
Jarak antar baffle	B	in	16,929
Jumlah passes	N	buah	1
Laju alir massa	mh	kg/h	1.460.000
Tekanan design	Ph des	kg/cm ² .g	5,5
Tekanan operasi	Ph op	kg/cm ² .g	3,9
Temperatur masuk	T1	°C	90
Temperatur keluar	T2	°C	75
Kapasitas panas	Cph	Btu/lb.F	0,37
Diameter luar	ODt	in	0.748
Panjang tube	L	ft	354,331
Jumlah tube	B	buah	306
Pitch	Pt	in	1.122
Ketebalan	d	in	0.047
Jumlah passes	N	buah	1
Laju alir massa	mc	kg/h	625.000
Tekanan design	Pc des	kg/cm ² .g	5,4
Tekanan operasi	Pc op	kg/cm ² .g	3
Temperatur masuk	t1	°C	31
Temperatur keluar	t2	°C	40,2
Kapasitas panas	Cpc	Btu/lb.F	1

3.2. Data Aktual

Data aktual alat penukar kalor terdapat pada tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3: Data Aktual Alat Penukar Kalor

Tanggal	Cangkang (Asam Sulfat)		Pipa (Cooling Water)	
	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)
01-Nov-22	86	83	30	38
02-Nov-22	86	82	31	39
03-Nov-22	85	82	31	38
04-Nov-22	88	84	30	38
05-Nov-22	86	83	32	41
06-Nov-22	87	82	33	41
07-Nov-22	82	81	35	41
08-Nov-22	84	83	35	40
09-Nov-22	88	84	35	41
10-Nov-22	86	83	32	40
Rata-Rata	85.8	82.7	32.4	39.7

3.3 Pembahasan

Dalam perhitungan berdasarkan table diatas, didapat Rd design perancangan sebesar 0,0021 ft²-h-F/Btu dan nilai Rd design kurang dari nilai Rd ketetapan yakni 0,003 ft²-h-F/Btu. Hal ini menunjukkan bahwa beban pengotor (*scaling*) pada kondisi actual tidak melebihi batas kemampuan alat, sehingga pertukaran panas pada alat masih efisien untuk dioperasikan. Namun pada data aktual, diperoleh Rd aktual sebesar 0,0041 ft²-h-F/Btu dimana nilai Rd design lebih dari nilai Rd ketetapan yakni 0,003 ft²-h-F/Btu. Hal ini menunjukkan bahwa beban pengotor (*scaling*) pada kondisi actual melebihi batas kemampuan alat, sehingga pertukaran panas pada alat kurang efisien untuk dioperasikan. Pada perhitungan penurunan tekanan, diperoleh nilai penurunan tekanan pada cangkang (ΔPS) sebesar 9,5403 psi dan penurunan tekanan pada pipa (ΔPT) sebesar 9,3537 psi untuk data desain dan penurunan tekanan pada cangkang (ΔPS) sebesar 9,4606 psi dan *pressure drop* pada tube (ΔPT) sebesar 7,5972 psi pada data aktual. Hasil tersebut menunjukkan *pressure drop* yang didapat dibawah *pressure drop allowable*. Jika penurunan tekanan lebih besar dari yang diizinkan maka akan menyebabkan laju alir massa (lb/hr) inlet fluida di cangkang dan di pipa jauh berbeda dengan laju alir massa *outlet* masing-masing fluida. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kinerja alat penukar kalor E-1303 berdasarkan data desain dapat dikatakan dalam performa baik, dinilai dari aspek faktor pengotor (Rd) dan penurunan tekanan.

4. KESIMPULAN

Alat penukar kalor E-1303 memiliki kekotoran dengan nilai Rd rata-rata yaitu 0,0041 ft²-h-F/Btu karena telah melewati batas maksimal yang diperbolehkan yaitu maksimal 0,003 ft²-h-F/Btu. Namun untuk nilai penurunan tekanan didapatkan hasil yang sesuai yaitu sebesar 9,4606 psi pada cangkang dan 7,5972 psi pada pipa). Kinerja alat alat penukar kalor E-1303 berdasarkan data desain dapat dikatakan dalam performa baik, dinilai dari aspek faktor pengotor (Rd) dan penurunan tekanan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur karena berkat dan rahmat Yang Maha Kuasa penulis dapat menyelesaikan artikel ini, serta terima kasih yang sedalamnya kepada pihak-pihak yang sudah mendukung terselesaikannya artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiman, A., Syarief, A., & Isworo, H. (2014). Analisis Perpindahan Panas dan Efisiensi Efektif High Pressure Heater (HPH) di PLTU Asam-Asam. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam* 3, 77-79.
- Geankopolis, C. J. (2005). *Transport Processes and Unit Operations*. Prentice-Hall.
- Hameed, V.M., & Awad, S.M. (2020). Experimental Investigation of Double Pipe Heat Exchanger Temperature Distribution. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Advanced Technology* 2, 10-11
- Jalu, P. R., Rulianah, S., Sindhuwati, C., & Raharjo, R. (2021). Evaluasi Pressure Drop Heat Exchanger-03 pada Crude Distillation Unit PPSDM Migas Cepu. *Jurnal Teknologi Separasi* 7, 505-513.
- McCabe. (2005). *Unit Operations of Chemical Engineering*. McGraw Hill.
- Rahayu, I.E. (2021). Analisis Kinerja Heat Exchanger pada Preheater CDU V di Kilang RU V Balikpapan. *Jurnal Teknik Kimia Vokasional* 1, 6.
- Suswanto, M. (2015). Perpindahan Panas pada Heat Exchanger Dobel Pipa dengan Sirip Berbentuk Siku Empat. *Jurnal Teknik Industri* 10.
- Zain, M. R., & Mustain, A. (2020). Evaluasi Efisiensi Heat Exchanger (HE - 4000) dengan Metode Kern. *Jurnal Teknologi Separasi* 6, 415- 420.