

Analisis Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Shell dan Tube dengan Fluida Kerja Air dan Hidrokarbon Menggunakan Metode Efektivitas-NTU

Anggi Lutfiansyah¹ dan Andi Firdaus Sudarma¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: anggilutfiansyah28@gmail.com

Abstrak-- Perkembangan teknologi pada bidang proses sangat dibutuhkan dengan adanya alat penukar kalor menjadi salah satu teknologi yang paling banyak digunakan untuk proses perpindahan panas. Alat penukar kalor shell dan tube (HE-101) memiliki peranan yang sangat penting terhadap keberhasilan rangkaian proses produksi pada unit penghasil kondensat. Alat penukar kalor shell dan tube (HE-101) sudah beroperasi sepanjang waktu, sehingga terdapat faktor pengotoran yang mengakibatkan penurunan perpindahan panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter perpindahan panas yang optimum dari alat penukar kalor shell dan tube secara aktual, membandingkan efektivitas aktual alat penukar kalor shell dan tube dengan hasil perhitungan dan menganalisis kemungkinan terjadinya penurunan kinerja. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode observasi, studi pustaka dan wawancara. Fluida panas yang berada pada shell yaitu hidrokarbon sedangkan fluida dingin yang mengalir pada tube yaitu air. Dari analisis pada alat penukar kalor shell dan tube diperoleh hasil perhitungan untuk nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh ketika pengotoran (U) $113,75 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ dengan terdapatnya faktor pengotoran sebesar $0,0059 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, perpindahan panas di dalam shell (h_o) $304,76 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, perpindahan panas di dalam tube (h_i) $354,80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, penurunan tekanan pada sisi shell (ΔP_s) $1638,62 \text{ Pa}$, penurunan tekanan pada sisi tube (ΔP_t) $21539,06 \text{ Pa}$, dan nilai efektivitas (ϵ) dengan menggunakan metode Number of Transfer Units (NTU) sebesar $36,96\%$. Dapat disimpulkan bahwa alat penukar kalor shell dan tube (HE-101) telah mengalami penurunan kinerja, karena adanya faktor pengotoran yang cukup besar, sehingga efektivitas yang didapatkan lebih rendah.

Kata kunci: Alat penukar kalor, koefisien perpindahan panas menyeluruh, penurunan tekanan, efektivitas, NTU

Abstract-- Technological developments in the process sector are needed with the heat exchanger being one of the most widely used technologies for the heat transfer process. The shell and tube heat exchanger (HE-101) has a very important role in the success of a series of production processes in the condensate producing unit. The shell and tube heat exchanger (HE-101) has been operating all the time, so there is an impurity factor that causes a decrease in heat transfer. This study aims to determine the actual optimum heat transfer parameters of the shell and tube heat exchanger, compare the actual effectiveness of the shell and tube heat exchanger with the calculation results and analyze the possibility of a decrease in performance. The method used in this research is the method of observation, literature study and interviews. The hot fluid in the shell is hydrocarbon while the cold fluid flowing in the tube is water. From the analysis of the shell and tube heat exchanger, the calculation results for the overall heat transfer coefficient value when impurity (U) $113,75 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ with an impurity factor of $0,0059 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, heat transfer inside the shell (h_o) $304,76 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, heat transfer inside the tube (h_i) $354,80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, pressure drop on the shell side (ΔP_s) $1638,62 \text{ Pa}$, pressure drop on the tube side (ΔP_t) $21539,06 \text{ Pa}$, and the value of effectiveness (ϵ) using the Number of Transfer Units (NTU) method is $36,96\%$. It can be concluded that the shell and tube heat exchanger (HE-101) has experienced a decrease in performance, due to the presence of a large enough impurities factor, so that the effectiveness obtained is lower.

Keywords: Heat exchanger, overall heat transfer coefficient, pressure drop, effectiveness, NTU

1. PENDAHULUAN

Sektor industri begitu sangat penting karena menjadi tulang punggung dalam pembangunan ekonomi dan kemajuan dari suatu negara, seperti industri minyak dan gas bumi yang

berada di Indonesia [1]. Dalam hal proses pengolahan minyak bumi, alat penukar kalor dapat digunakan sebagai alat pemanas dan pendingin fluida proses maupun produk yang akan disimpan di dalam tangki timbun [2].

Dalam kilang minyak dan gas bumi di PT. XYZ sangat mengandalkan alat

penukar kalor shell dan tube sebagai proses pertukaran panas dan efisiensi energi untuk kebutuhan proses produksi.

Menurut Handoyo [3] alat penukar kalor shell dan tube dengan udara sebagai fluida kerja menunjukkan bahwa efektivitas akan semakin besar jika udara panas dapat mengalir dengan kecepatan yang tinggi pada inlet tube dan udara dingin mengalir dengan kecepatan yang rendah pada inlet shell. Menurut Jamaludin [4] berpendapat ketika adanya perbedaan suhu masuk dan suhu keluar yang besar pada alat penukar kalor, maka semakin besar terjadinya perpindahan panas. NTU-efektivitas akan semakin besar jika semakin kecil terjadinya perbedaan dari qaktual dan qmaks. Besarnya temperatur rata-rata aliran fluida dingin ketika meninggalkan alat penukar kalor (T_{co}) dan temperatur rata-rata aliran fluida panas saat meninggalkan alat penukar kalor (T_{ho}) tidak bergantung kepada koefisien perpindahan panas menyeluruh, namun akan berubah dengan berubahnya dari nilai efektivitas perpindahan panas yang terjadi [5].

Lapisan deposit yang terbentuk pada bagian permukaan perpindahan panas dikarenakan mempunyai harga konduktivitas termal yang rendah sehingga akan berpengaruh terhadap harga koefisien perpindahan panas menyeluruh [6]. Penurunan efektivitas pada alat penukar kalor dapat dikarenakan oleh inflasi pada peralatan yang kurang baik, sehingga berdampak pada kehilangan panas selama proses pertukaran panas terjadi [7]. Pada kinerja alat penukar kalor dalam penurunan efektivitas dikarenakan adanya penurunan koefisien perpindahan panas menyeluruh dan nilai faktor pengotoran yang sudah melebihi batas yang diizinkan [8]. Faktor yang mempengaruhi penurunan kinerja adalah peningkatan penurunan tekanan, penurunan aliran keluaran, kebocoran, obstruksi aliran, dan pencampuran cairan [9]. Dengan kenaikan suhu fluida panas masuk akan membuat nilai NTU dan nilai efektivitas menjadi menurun dan sebaliknya [10].

Penelitian yang dilakukan pada alat penukar

kalor shell dan tube (HE-101) dengan bertujuan untuk mengetahui parameter perpindahan panas yang optimum dan menganalisis dengan kondisi secara aktual di lapangan dan membandingkan efektivitas aktual dengan hasil perhitungan dengan

menggunakan metode NTU- ϵ dan menganalisis kemungkinan terjadinya penurunan kinerja. Pada alat penukar kalor shell dan tube HE-101 dituntut untuk memiliki kinerja yang baik agar dapat menunjang terhadap proses suatu operasional pada unit penghasil kondensat di PT. XYZ.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Penelitian

A. Studi literatur

Pada tahap ini sebelum melaksanakan penelitian diperlukan mempelajari berbagai ilmu disiplin yang berkaitan dengan topik penelitian yang akan dibahas. Dalam hal ini, berbagai sumber pengetahuan harus dapat dimanfaatkan untuk dapat dijadikan berbagai macam pertimbangan dalam penulisan nantinya. Sumber-sumber tersebut seperti jurnal, text book, berdiskusi dengan dosen pembimbing, dan sumber internet yang dapat bisa dipercaya.

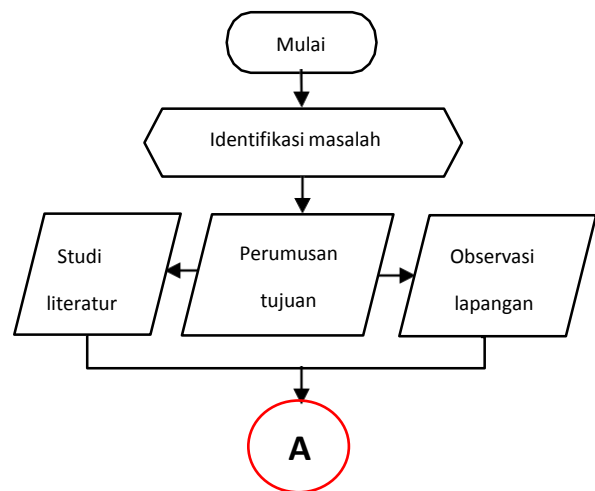
B. Observasi lapangan

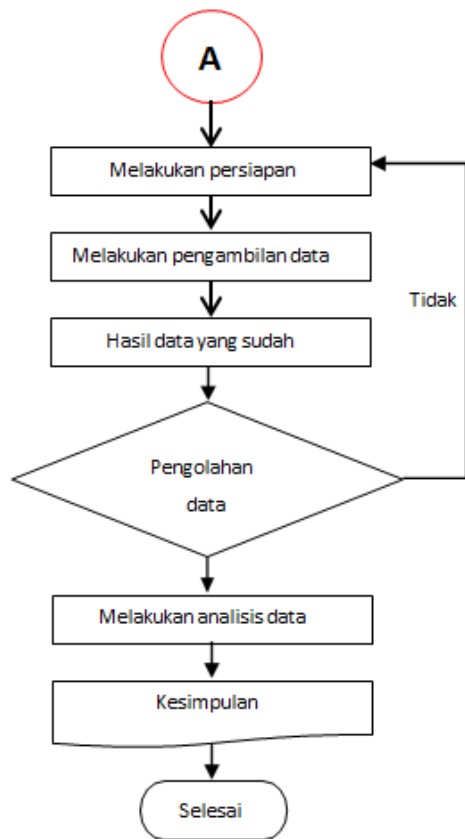
Dalam hal ini merupakan proses pertama dalam melakukan penelitian, karena penelitian ini termasuk penelitian empiris yang di mana terdapat studi kasus dan studi lapangan. Dengan objek observasi sistem kerja alat penukar kalor shell dan tube (HE-101) yang berada pada unit penghasil kondensat di PT. XYZ.

C. Wawancara

Melakukan penggalian informasi dengan menanyakan secara langsung kepada plant operator yang berkaitan dengan objek penelitian.

2.2 Diagram Alir





Gambar 1. Diagram Alir

2.3 Alat dan Bahan

A. Alat

Alat penukar kalor shell dan tube (HE-101) merupakan suatu peralatan yang memanfaatkan energi panas dari fluida yang bersuhu tinggi(hidrokarbon) untuk memanaskan fluida yang bersuhu lebih rendah (air). Alat penukar kalor shell dan tube yang digunakan berjenis U-tube. Alat penukar kalor ini memungkinkan terjadinya penukaran panas dengan efektif karena fluida kerja yang berada di posisi tube dapat melewati shell berkali-kali. Alat ini menjadi objek utama dalam melakukan penelitian ini seperti pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Alat Penukar Kalor Shell dan Tube HE-101

Material alat penukar kalor yang digunakan adalah stainless stell yang lebih bersifat ekonomis dan tahan korosi. Berikut ini adalah spesifikasi dari alat penukar kalor shell dan tube (HE-101) seperti pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Alat Penukar Kalor Shell dan Tube

Data Desain				
Parameter	Shell		Tube	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Fluida	Hidrokarbon		Air Dingin	
Jumlah fluida total [kg/h]	19997		149700	
Temperatur [°C]	60	18,46	12	16,66
Tekanan [kgf/cm ²]	27,53 2	27,43	4,079	3,78
Kecepatan [m/s]	5,11		1,64	
Temperatur desain [°C]	85		45	
Tekanan desain [kgf/cm ²]	35,1		3,8	
Jumlah laluan	1		2	
Batas penurunan Tekanan [kgf/cm ²]	0,102	0,214	0,408	0,299
Jumlah tube	0		129	
OD/ID tube [mm]	0		19,05/15,75	
Panjang [mm]	6924		5600	
OD/ID shell [mm]	609,6/585,6		0	
Material	SS 304L		SS 304L	

B. Bahan

Alat penukar kalor shell dan tube HE-101 mengalir suatu fluida panas (hidrokarbon) yang mengalir pada shell dan fluida dingin (air) yang mengalir pada tube. Fluida panas yang berada pada shell yaitu hidrokarbon yang akan dilakukan penurunan suhu dan memberikan panas pada air di bagian tube. Pada Tabel 2 merupakan data parameter fluida kerja yang terjadi pada alat penukar kalor shell dan tube sebagai berikut.

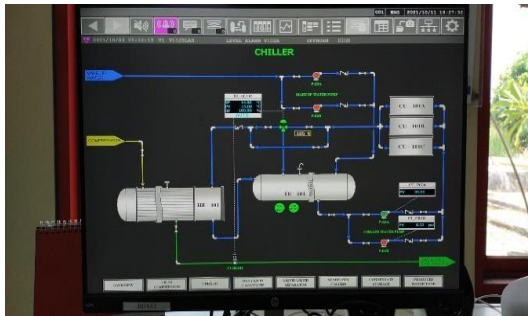
Tabel 2. Data Aktual Fluida Kerja

No	Data Parameter	Jumlah
1	Temperatur air masuk (c _i)	11,45 °C
2	Temperatur air keluar (c _o)	15,52 °C
3	Temperatur hidrokarbon masuk (h _i)	59,20 °C
4	Temperatur hidrokarbon keluar (h _o)	17,76 °C
5	Laju aliran massa air masuk ke tube	30,25 kg/s

6	Laju aliran massa hidrokarbonmasuk ke shell	5,30 kg/s
---	---	-----------

2.4 Proses pengambilan data

Untuk dalam pengumpulan data yang dilakukan adalah dengan melakukan pencatatan data suhu masuk dan suhu keluar pada shell dan tube, dan pencatatan laju aliran massa fluida panas dan dingin yang menjadi objek dalam penelitian. Pengumpulan data operasional yang diperlukan dilakukan oleh plant operator, yang di mana proses pengambilan data ini dilakukan di dalam ruang kendali dengan menggunakan monitor kontrol yang terhubung ke lapangan unit penghasil kondensat seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Monitor Kontrol

2.5 Proses pengolahan data

Dalam proses pengolahan data yang dilakukan dengan cara menganalisis, yang menggunakan data-data mentah yang diperoleh dari hasil studi pustaka dan pada pengambilan data di lapangan. Dari hasil pengolahan data ini akan dapat menghasilkan analisis data dan kesimpulan yang diharapkan dapat berguna untuk dalam hal kepentingan peneliti dan maupun perusahaan. Data-data yang akan diolah untuk mendapatkan hasil analisis data yang diharapkan adalah sebagai berikut:

Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD):

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

ΔT_{LMTD} = Selisih temperatur rata-rata [°C]
 T_{hi} = Temperatur panas masuk [°C]

T_{ho} = Temperatur panas keluar [°C]
 T_{ci} = Temperatur dingin masuk [°C]
 T_{co} = Temperatur dingin keluar [°C]

Koefisien perpindahan panas pada shell:

$$h_o = JH \frac{K_s}{D_e} (Pr_s)^{1/3} \quad (2.2)$$

Keterangan:

h_o = Koefisien perpindahan panas pada shell [W/m².°C]
 JH = Faktor perpindahan panas pada shell
 D_e = Diameter ekuivalen pada shell [m]
 K_s = Konduktivitas termal pada shell [W/m.°C]
 Pr_s = Bilangan Prandtl pada shell [kg/m³]

Koefisien perpindahan panas pada tube:

$$h_i = Nu \frac{K_t}{d_i} \quad (2.3)$$

Keterangan:

h_i = Koefisien perpindahan panas pada tube [W/m².°C]
 d_i = Diameter dalam pada tube [m]
 K_t = Konduktivitas termal pada tube [W/m.°C]
 Nu = Bilangan Nusselt [m]

Mengetahui laju perpindahan panas aktual:

$$Q_{act} = C_h(T_{hi} - T_{ho}) \quad (2.4)$$

Keterangan:

Q_{act} = Panas yang dilepaskan oleh fluida panas [kW]
 C_h = Kapasitas panas fluida panas [W/°C]
 T_{ho} = Temperatur gas keluar [°C]
 T_{hi} = Temperatur gas masuk [°C]

Mengetahui laju perpindahan panas maksimal:

$$Q_{max} = C_{min}(T_{hi} - T_{ci}) \quad (2.5)$$

Keterangan:

Q_{max} = Laju perpindahan panas maksimal [kW]
 C_{min} = Nilai terkecil antara C_h dan C_c [W/°C]
 T_{co} = Temperatur air keluar [°C]
 T_{ci} = Temperatur air masuk [°C]

Penurunan tekanan pada shell:

$$\Delta P_s = \frac{f_s \cdot (G_s)^2 \cdot (d_i) \cdot (N + 1)}{2000 \cdot D_e \cdot SG_s \cdot \Phi} \quad (2.6)$$

Keterangan:

ΔP_s = Penurunan tekanan [Pa]

- f_s = Faktor gesekan pada bagian sisi *shell*
- G_s = Kecepatan aliran massa yang melalui *shell* [kg/s.m²]
- d_i = Diameter pada bagian *shell* [m]
- N = Jumlah *baffle*
- D_e = Diameter ekuivalen dari *shell* [m]
- SG_s = *Specific gravity* gas
- Φ = Rasio viskositas gas [μ/μ_w]^{0.14}

Penurunan tekanan pada *tube*:

$$\Delta P_t = \frac{f_t \cdot N_p \cdot L \cdot G^2}{2000 \cdot D_i \cdot SG_t \cdot \Phi} \quad (2.7)$$

Keterangan:

- ΔP_t = Penurunan tekanan [Pa]
- f_t = Faktor gesekan pada bagian *tube*
- G = Kecepatan aliran massa melalui *tube* [kg/s.m²]
- L = Panjang *tube* [m]
- N_p = Jumlah *pass*
- SG_t = *Specific gravity* air
- Φ = Rasio viskositas air [μ/μ_w]^{0.14}

Koefisien perpindahan panas menyeluruh:

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{Rf_i}{A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{Rf_o}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (2.8)$$

Keterangan:

- U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh [W/m².°C]
- h_o = Koefisien perpindahan panas luar *tube* [W/m².°C]
- h_i = Koefisien perpindahan panas di dalam *tube* [W/m².°C]
- A_i = Luas permukaan perpindahan panas di dalam *tube* [m²]
- A_o = Luas permukaan perpindahan panas di luar *tube* [m²]
- D_o = Diameter luar *tube* [m]
- D_i = Diameter dalam *tube* [m]
- k = Konduktivitas termal pada *tube* [W/m².°C]
- L = Panjang *tube* [m]

Mengetahui efektivitas alat penukar kalor *shell* dan *tube*:

$$\epsilon = 2 \left(1 + C + (1 + C^2)^{\frac{1}{2}} \times \frac{1 + \exp(-NTU(1 + C^2)^{\frac{1}{2}})}{1 + \exp(-NTU(1 + C^2)^{\frac{1}{2}})} \right)^{-1} \quad (2.9)$$

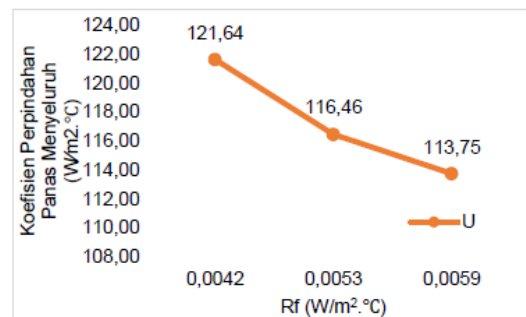
Keterangan:

- ϵ = Efektivitas (%)
- C = Kapasitas perpindahan panas
- NTU = *Number of transfer Units*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah didapatkan secara data teoritis pada alat penukar kalor *shell* dan *tube* HE-101, maka dapat dilakukan analisis terhadap hasil perhitungan yang sudah didapatkan. Dari hasil perhitungan yang sudah dilakukan mengenai karakteristik perpindahan panas mengenai data aktual, akan jauh lebih mudah diketahui berdasarkan dari nilai efektivitas yang telah terjadi pada alat penukar kalor *shell* dan *tube* tersebut.

Pada grafik koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dengan asumsi nilai faktor pengotoran (Rf) yang diketahui pada alat penukar kalor *shell* dan *tube* dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut ini.



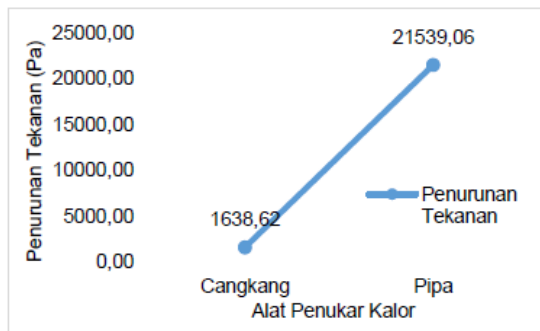
Gambar 4. Grafik Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Dalam hal ini, nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) yang diasumsikan dengan adanya faktor pengotoran (Rf) akan saling berhubungan terhadap besar ataupun kecilnya hasil dari nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh. Dapat dilihat pada Gambar 4 bahwa dengan faktor pengotoran 0,0059 W/m².°C akan menghasilkan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) sebesar 113,75 W/m².°C. Namun dengan nilai faktor pengotoran lebih kecil yaitu sebesar 0,0042 W/m².°C akan menghasilkan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh lebih besar dengan nilai sebesar 121,64 W/m².°C. Dalam fenomena ini dengan semakin besar nilai faktor pengotoran, maka nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) akan semakin kecil ataupun dengan sebaliknya. Dengan semakin kecil dari nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) akan berdampak terhadap besarnya nilai dari NTU -efektivitas pada alat penukar kalor *shell* dan *tube*.

Fenomena ini juga diutarakan menurut Handoyo [6] yang berpendapat jika lapisan

deposit yang terbentuk pada bagian permukaan alat penukar kalor dikarenakan mempunyai konduktivitas termal yang rendah sehingga akan berdampak pada menurunnya nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh. Sehingga kinerja dari alat penukar kalor dapat dikatakan ideal jika nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh ketika pengotoran memiliki nilai yang maksimal lebih baik yang akan mampu menghasilkan kinerja efektivitas yang semakin bagus pada saat alat penukar kalor *shell* dan *tube* dioperasikan.

Pada grafik penurunan tekanan (ΔP) yang terjadi pada alat penukar kalor *shell* dan *tube* dapat dilihat pada Gambar 5.

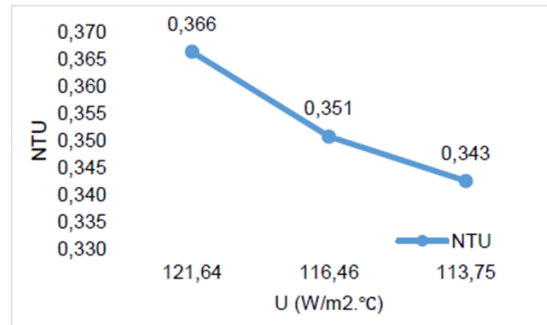


Gambar 5. Grafik Penurunan Tekanan

Berdasarkan pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa grafik penurunan tekanan yang terjadi secara aktual pada alat penukar kalor *shell* dan *tube* HE-101. Dalam hal ini, penurunan tekanan di *shell* (ΔP_s) pada alat penukar kalor untuk hasil aktual didapatkan nilai sebesar 1638,62 Pa. Sedangkan untuk penurunan tekanan di *tube* (ΔP_t) pada alat penukar kalor untuk data aktual didapatkan nilai sebesar 21539,06 Pa. Pada fenomena ini untuk hasil penurunan tekanan (ΔP) aktual ini dapat terjadi dikarenakan adanya pengaruh faktor pengotoran (*fouling*) yang terjadi pada alat penukar kalor *shell* dan *tube*. Dengan semakin besarnya penurunan tekanan (ΔP) yang terjadi pada alat penukar kalor maka akan berdampak terhadap menurunnya nilai efektivitas yang terjadi pada alat penukar kalor *shell* dan *tube*. Menurut Prabaswara, dkk [7] berpendapat bahwa penurunan tekanan akan semakin besar dikarenakan adanya faktor pengotoran yang semakin mendekati jenuh. Sehingga dengan semakin besarnya penurunan tekanan (ΔP) yang terjadi pada alat penukar kalor maka akan berdampak terhadap menurunnya nilai efektivitas yang terjadi pada alat penukar kalor *shell* dan *tube*.

Pada grafik *Number of Transfer Units* (NTU) dengan menggunakan beberapa asumsi

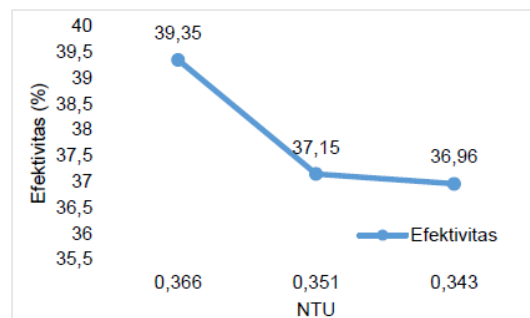
nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) yang dikarenakan adanya faktor pengotoran pada alat penukar kalor *shell* dan *tube* dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai berikut ini.



Gambar 6. Grafik NTU Berdasarkan Nilai Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Pada Gambar 6 dapat dilihat dengan nilai U sebesar 121,64 W/m².°C akan menghasilkan NTU sebesar 0,366 akan berbanding terbalik dengan nilai U yang hanya memiliki nilai sebesar 113,75 W/m².°C hanya mampu menghasilkan nilai NTU lebih kecil sebesar 0,343. Pada fenomena ini mengenai grafik NTU dapat dipengaruhi terhadap besar ataupun kecilnya dari nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U). Dengan semakin besarnya nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) maka akan dapat mempengaruhi terhadap hasil dari nilai NTU.

Berdasarkan pada Gambar 7 dapat dilihat mengenai grafik efektivitas alat penukar kalor *shell* dan *tube* dengan mengasumsikan NTU berdasarkan dari nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) yang dipengaruhi adanya faktor pengotoran.



Pada Gambar 7 menerangkan mengenai grafik efektivitas berdasarkan NTU yang dipengaruhi dari nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U). Dengan ini, dapat dilihat untuk nilai NTU yang rendah akan mempengaruhi terhadap kecilnya nilai

efektivitas pada alat penukar kalor *shell* dan *tube* ataupun dengan sebaliknya. Seperti pada nilai NTU sebesar 0,343 akan memiliki nilai efektivitas yang rendah yaitu menghasilkan efektivitas sebesar 36,96%. Penurunan efektivitas ini terjadi dikarenakan adanya faktor pengotoran (*fouling*) pada alat penukar kalor yang dikarenakan sudah digunakan sepanjang waktu, sehingga akan membentuk lapisan deposit pada permukaan alat penukar kalor. Dalam fenomena ini menurut Setyoko [8] berpendapat bahwa penurunan efektivitas kinerja pada alat penukar kalor dikarenakan adanya penurunan koefisien perpindahan panas menyeluruh dan nilai faktor pengotoran yang melebihi batas dari yang diizinkan. Sehingga untuk nilai efektivitas pada alat penukar kalor *shell* dan *tube* termasuk dalam hal penting untuk menjadi parameter dalam menilai unjuk kinerja dari alat penukar kalor.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan maka diperoleh untuk hasil yang didapatkan dari alat penukar kalor *shell* dan *tube* HE-101 dengan fluida kerja air dan fluida hidrokarbon yaitu sebagai berikut:

1. Laju perpindahan panas maksimum (Q_{max}) dari hasil perhitungan yang harus melewati 23 sekat adalah sebesar 566,42 kW. laju perpindahan panas dapat dipengaruhi berdasarkan laju aliran massa fluida. Dikarenakan dengan semakin besarnya dari laju aliran massa fluida yang mengalir maka laju perpindahan panas akan semakin besar. Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) ketika adanya pengotoran menghasilkan nilai sebesar 116,46 $W/m^2 \cdot ^\circ C$, 113,75 $W/m^2 \cdot ^\circ C$, dan 121,64 $W/m^2 \cdot ^\circ C$. Dengan terjadinya faktor pengotoran akan mempengaruhi terhadap besarnya nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dan akan berpengaruh terhadap tinggi ataupun rendahnya dari nilai efektivitas alat penukar kalor *shell* dan *tube*.
2. Efektivitas dari alat penukar kalor *shell* dan *tube* HE-101 bergantung dari nilai NTU yang dihasilkan, jika NTU mengalami penurunan maka efektivitasnya juga akan mengalami penurunan. Dari hasil analisis perhitungan metode NTU, maka diperkirakan untuk nilai efektivitas pada alat penukar kalor *shell* dan *tube* HE-101 adalah sekitar 36,96%. Dalam hal ini dikarenakan terdapatnya lapisan deposit yang menempel pada luas permukaan

perpindahan panas sehingga mengakibatkan penurunan kinerja perpindahan panas pada alat penukar kalor *shell* dan *tube* HE-101.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. W. H. N. Nur, "Dampak covid-19 terhadap industri minyak dan gas bumi: rekomendasi kebijakan untuk Indonesia," *The Indonesian Journal of Development Planning*, pp. 166-176, 2020.
- [2] I. Setiawan, "Mempertahankan kinerja alat penukar kalor dengan memodifikasi sistem kerja feeder pump," Universitas Indonesia, Depok, 2011.
- [3] E. A. Handoyo, "Pengaruh kecepatan aliran terhadap efektivitas shell-and-tube heat," *Jurnal Teknik Mesin*, pp. 86-90, 2000.
- [4] A. Jamaludin, Y. S. Gaos dan A. I. Nuraini, "Analisis kinerja alat penukar kalor tipe shell and tube arah aliran cross flow untuk pembangkit listrik tenaga organic rankine cycle kapasitas 500 kW," *Jurnal Almikanika*, pp. 39-43, 2021.
- [5] C. Soekardi, "Analisis pengaruh efektivitas perpindahan panas dan tahanan termal terhadap rancangan termal alat penukar kalor shell & tube," *SINERGI*, pp. 19-24, 2015.
- [6] Y. Handoyo dan A. , "Analisis kinerja alat penukar kalor jenis shell and tube pendingin aliran air pada PLTA Jatiluhur," *Jurnal Energi dan Manufaktur*, pp. 1-97, 2012.
- [7] R. J. Prabaswara, S. Rulianah, C. Sindhuwati dan R. , "Evaluasi pressure drop heat exchanger-03 pada crude distillation unit PPSDM migas Cepu," *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, pp. 505-513, 2021.
- [8] B. Setyoko, "Evaluasi kinerja heat exchanger dengan metode fouling faktor," *Teknik*, pp. 148-153, 2008.
- [9] D. Romahadi, F. Anggara, R. P. Youlia, H. L. Habibullah dan H. Xiong, "Bayesian networks approach on intelligent system design for the diagnosis of heat exchanger," *SINERGI*, pp. 127-136, 2022.
- [10] R. Shanahan dan A. Chalim, "Studi literatur tentang efektivitas alat penukar panas shell and tube 1-1 sistem fluida gliserin-metanol dengan aliran counter current," *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, pp. 164-170, 2020.