

PENGARUH VARIASI *BAFFLE SPACING* DAN *FLOW RATE* TERHADAP EFEKTIVITAS *HEAT EXCHANGER SHELL AND TUBE* MENGGUNAKAN METODE NTU (*NUMBER OF TRANSFER UNIT*) DAN HTRI

Aji Abdillah Kharisma ^(1*) dan Wisnu Malik Pangestu ⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma
Depok, Jawa Barat, Indonesia

^(*)E-mail *Corresponding Author* : ajiabdillah@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

Penelitian dilakukan dengan mendesain ulang *heat exchanger* berjenis *shell-and-tube* unit MOES C yang digunakan PT. Krakatau Steel untuk mendinginkan *Rolling Mill* 5-6, menggunakan aplikasi HTRI bertujuan mencari nilai efektivitas tertinggi dari standar yang ditetapkan ($\epsilon > 0,5$). Tipe alirannya adalah *counterflow*, *baffle* bertipe *double segmental*, *tubepasses* berjumlah dua pass dengan fluida air dari *cooling tower* pada *tube-side* dan fluida oli Turalik 52 pada *shell-side*, serta ditetapkan variasi *baffle spacing* 60 mm, 90 mm, dan 100 mm, lalu variasi *flow rate* 5,716 kg/s, 5,781 kg/s, dan 5,808 kg/s. Dari hasil perhitungan HTRI, Kenaikan *flow rate* pada *Heat Exchanger* mengakibatkan penurunan efektivitas, sebaliknya pada *flow rate* minimum pada *Heat Exchanger* terjadi kenaikan efektivitas. Semakin banyak jumlah *baffle* pada *Heat Exchanger* akan memperbesar nilai *pressure drop* yang terjadi penurunan *heat transfer* pada *Heat Exchanger*. Semakin tinggi *flowrate* maka semakin besar juga nilai *heat transfer*, tetapi juga semakin besar massanya dan nilai *pressure drop* yang terjadi pada *Heat Exchanger* juga semakin besar. Banyaknya jumlah *baffle* dan *flowrate* juga memengaruhi nilai *pressure drop* dan *heat transfer*.

Kata Kunci: *Heat Exchanger*, HTRI, *Number of Transfer Unit* (NTU), Efektivitas.

Abstract

The research was conducted by redesigning the *shell-and-tube* MOES C *heat exchanger* by PT. Krakatau Steel, using the HTRI application to find the effectiveness value $\epsilon > 0.5$. The flow type is *counterflow*, *double segmental* type baffles, two tube passes with water, oil fluid, and *baffle spacing* are 60 mm, 90 mm, and 100 mm, flow rate 5,716 kg/s, 5,781 kg/s, and 5,808 kg/s. The increase in flow rate on the *Heat Exchanger* results in a decrease in effectiveness, on the contrary, at the minimum flow rate in the *Heat Exchanger* there is an increase in effectiveness. The greater the number of baffles in the *Heat Exchanger*, the greater the value of the pressure drop, which results in a decrease in heat transfer at the *Heat Exchanger*. The higher the flowrate, the greater the heat transfer value, but also the greater the mass and the greater the value of pressure drop that occurs in the *Heat Exchanger*. The large number of baffles and flowrate also affects the pressure drop and heat transfer values.

Keywords: *Heat Exchanger*, HTRI, *Number of Transfer Unit* (NTU), effectiveness.

1 PENDAHULUAN

Heat exchanger adalah suatu alat yang dimana terjadi aliran perpindahan panas diantara dua fluida atau lebih pada temperatur yang berbeda, dimana fluida tersebut keduanya mengalir di dalam sistem. Di dalam *heat exchanger* tersebut, kedua fluida yang mengalir terpisah satu sama lain, biasanya oleh pipa silindris. Fluida dengan temperatur yang lebih tinggi akan mengalirkan panas ke fluida yang bertemperatur lebih rendah.

Jenis *heat Exchanger* atau biasa disebut *Cooler* yang digunakan di PT. Krakatau Steel adalah *shell-and-*

tube. Alat tersebut digunakan untuk menghindari *overheat* pada mesin produksi baja, mengingat bahwa setiap hari mesin produksi baja bekerja pada suhu yang cukup tinggi selama 24 jam.

Analisis kinerja di sini terdiri dari nilai koefisien perpindahan kalor, penurunan tekanan, dan efektivitas. Hasil analisis menunjukkan bahwa bertambahnya jumlah *baffle* pada penukar kalor terjadi peningkatan nilai koefisien perpindahan panas sisi shell, terjadi penurunan tekanan sisi shell, dan peningkatan efektivitas pada alat penukar kalor itu sendiri [1].

Perancangan ini berupa perhitungan dimensi alat penukar kalor tipe *shell and tube* menggunakan metode analisa komputerasi *Heat Transfer Research Inc. (HTRI)* dan metode analisa perhitungan manual. Perhitungan dimensi alat penukar kalor ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dari alat penukar kalor berdasarkan koefisien perpindahan kalor keseluruhan, faktor pengotoran, dan penurunan tekanan yang akan terjadi [2].

Penukar kalor *shell and tube* terdiri dari *shell* yang didalamnya terdapat banyak tube dengan *baffle* yang tersusun sepanjang sisi shell. Mengkaji pengaruh jarak *baffle* terhadap kinerja penukar kalor *shell and tube* yang geometri nya telah ditentukan terlebih dahulu serta metode simulasi yang dikembangkan oleh *Heat Transfer Research Inc. (HTRI)* untuk mengetahui performansi *heat exchanger* [3].

Penggunaan *heat exchanger* pada sistem COG *booster* bertujuan untuk mendinginkan temperatur oli yang akan digunakan sebagai pelumasan dan pendinginan bearing. Semakin lama *heat exchanger* digunakan akan menyebabkan terjadinya *fouling* (pengotoran) di bagian dalam *heat exchanger*. Semakin besar *fouling* yang terjadi akan menyebabkan terjadi penurunan kinerja *heat exchanger* seperti besarnya laju perpindahan panas aktual dan efektivitas [4].

Sejumlah pendekatan telah digunakan untuk desain dan analisis penukar panas dua fluida. Pendekatan ini mencakup metode efektivitas (ϵ atau P) jumlah unit transfer (NTU), metode perbedaan suhu rata-rata, dan metode yang menggunakan diagram *Mueller* dan *Roetzel*. Tinjauan komprehensif disajikan tentang metode solusi untuk mendapatkan hubungan efektivitas-NTU untuk unit penukar panas dan penukar panas yang sederhana dan kompleks [5].

Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas tentang kinerja penggunaan *heat exchanger* untuk proses penukaran panas pada mesin produksi pada divisi *Hot Strip Mill*.

2 METODOLOGI

Berdasarkan literatur yang berkaitan dengan efektivitas pada *heat exchanger*, perhitungan yang berkaitan adalah sebagai berikut :

Perhitungan Laju Perpindahan Panas Aktual

Laju perpindahan panas aktual merupakan panas yang dilepaskan oleh fluida panas atau yang diserap oleh fluida dingin, yang diperlihatkan pada persamaan (1) dan (2).

$$Q_{act} = C_h (T_{h1} - T_{h2}) \quad (1)$$

Atau

$$Q_{act} = C_c (T_{c2} - T_{c1}) \quad (2)$$

Perhitungan Laju Kapasitas Panas

Untuk mempermudah menghitung laju perpindahan panas dibutuhkan laju kapasitas panas yang diperlihatkan pada persamaan (3) dan (4).

$$C_c = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \quad (3)$$

Atau

$$C_h = \dot{m}_h \cdot C_{p_h} \quad (4)$$

Perhitungan Laju Perpindahan Panas Maksimal

Laju perpindahan panas maksimal merupakan nilai perpindahan panas terbesar yang mungkin terjadi pada *heat exchanger* yang diperlihatkan pada persamaan (5).

$$Q_{maks} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (5)$$

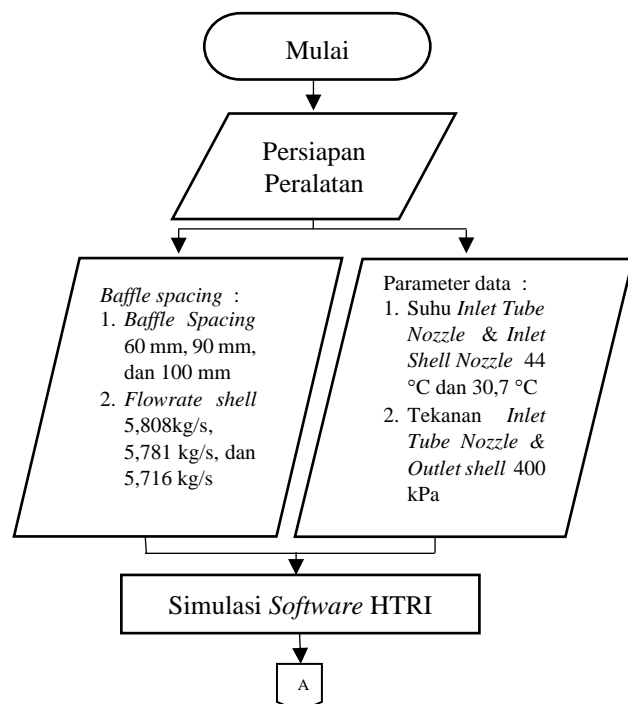
Perhitungan Efektivitas

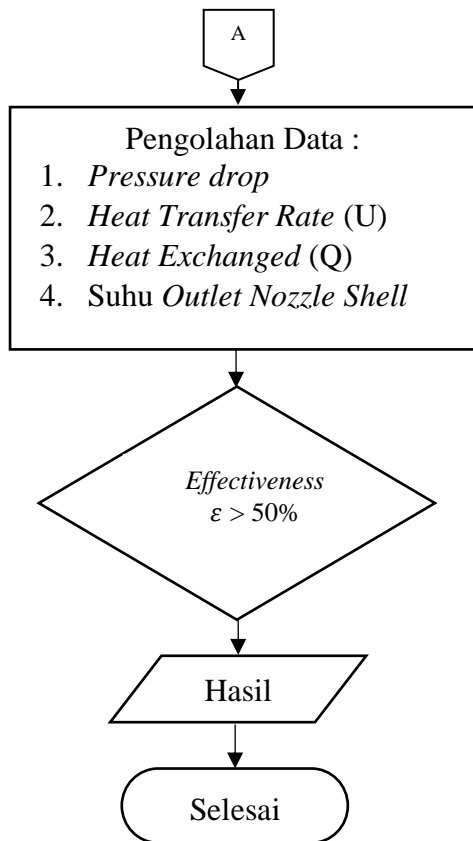
Efektivitas *shell-and-tube* dapat dihitung dengan persamaan (6).

$$\epsilon = \frac{Q_{aktual}}{Q_{maksimum}} \times 100\% \quad (6)$$

Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini memfokuskan pada pengaruh variasi jarak antar *baffle* yang memiliki dimensi *Heat Exchanger* yang sama terhadap *transfer rate* dan efektivitas menggunakan *software Heat Transfer Research Inc. (HTRI)*. Perhitungan digunakan untuk mendapatkan efektivitas dari *Heat Exchanger Shell-and-Tube* menggunakan metode ϵ -NTU untuk mendapatkan perbandingan efektivitas dari *baffle spacing* dan variasi *flow rate*.





Gambar 1 Diagram Alir Penelitian Efektivitas *Heat Exchanger Shell-and-Tube*

Spesifikasi *Heat Exchanger Shell-and-Tube*

Spesifikasi *heat exchanger* tipe *shell-and-tube* yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Table 1.

Tabel 1 Spesifikasi *Heat Exchanger* MOES C

TEMA Type	BEU
Diameter <i>Shell</i>	300 mm
Panjang	2,8 m
Diameter Luar <i>Tube</i>	9,525 mm
Material <i>Tube</i>	Tembaga/Nikel
Tebal <i>Tube</i>	0,711 mm
Tipe <i>Baffle</i>	<i>Double Segmental</i>
<i>Tube passes</i>	2
<i>Tube layout angle</i>	45°
Arah Aliran	<i>Countercurrent</i>
<i>Shell Orientation</i>	<i>Horizontal</i>



Gambar 2 *Heat Exchanger Shell and Tube* unit MOES C

Karakteristik Fluida yang Digunakan

Karakteristik Oli pada sisi *Shell*

Karakteristik oli yang digunakan pada *heat exchanger* khususnya pada sisi *shell* diperlihatkan pada Table 2.

Tabel 2. Karakteristik Fluida Oli pada sisi *shell*.

No.	Karakteristik Fluida Oli	Data
1.	ISO grade	Turalik 52
2.	Manufacturer	Pertamina
3.	Massa jenis (ρ_h)	788,37 kg/m ³
4.	Panas jenis (C_{ph})	1914,2 J/kg.°C
5.	Debit Aliran (Q_h)	442 L/min, 440 L/min, dan 435 L/min

Karakteristik Air pada sisi *Tube*

Karakteristik air yang digunakan pada *heat exchanger* khususnya pada sisi *tube* diperlihatkan pada Table 3.

Tabel 3. Karakteristik fluida air pada sisi *tube*.

No.	Karakteristik Fluida Air	Nilai
1.	Massa jenis (ρ_c)	994 kg/m ³
2.	Panas jenis (C_{pc})	4182,7 J/kg.°C
3.	Debit Aliran (Q_c)	408 L/min

Data parameter *flow rate* dengan mengubah debit aliran.

Tabel 4. Parameter *flow rate* oli dan air

No.	Karakteristik Fluida oli dan air	Data
1.	m_1 atau m_{h1} (oli)	5,808 kg/s
2.	m_2 atau m_{h2} (oli)	5,781 kg/s
3.	m_3 atau m_{h3} (oli)	5,716 kg/s
4.	m_4 atau m_{c4} (air)	6,759 kg/s

Flow rate yang digunakan pada sisi *shell* sebesar 5,808 kg/s, 5,781 kg/s, dan 5,716 kg/s. Sedangkan pada sisi *tube*, *flow rate* yang digunakan konstan sebesar 6,759 kg/s.

Data input *sheet* pada HTRI

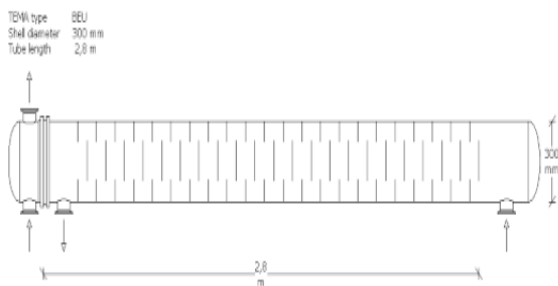
Proses *input* tersebut dihasilkan sebuah *output* berupa *datasheet*. Hasil *output* dari aplikasi HTRI diperlihatkan pada Gambar 3.

HEAT EXCHANGER SPECIFICATION SHEET		Page 1	
HTRI		SI Units	
Customer	Job No.		
Address	Reference No.		
Plant Location	Proposal No.		
Service of Unit	Date	16/09/2020	Rev
Size	Item No.		
SurfUnit (GrossEft)	Type	BEU	Horz.
	ShellUnit	1	SurfShell (GrossEft)
		23,51 / 23,34 m ²	23,51 / 23,34 m ²
PERFORMANCE OF ONE UNIT			
Fluid Allocation	Shell Side	Tube Side	
Fluid Name	TURALK 52	Water (H2O)	
Fluid Quantity, Total	kg/hr	20908,9	24332,5
Vapor (In/Out)			
Liquid	20908,9	20908,9	24332,5
Steam			
Water			24332,5
Noncondensables			
Temperature (In/Out)	C	44,00	36,71
Specific Gravity		0,7887	0,7949
Viscosity	mN-s/m ²	0,6714	0,7563
Molecular Weight, Vapor			
Molecular Weight, Noncondensables			
Specific Heat	kJ/kg-C	1,9142	1,8811
Thermal Conductivity	W/m-C	0,1167	0,1189
Latent Heat	kJ/kg		
Inlet Pressure	MPa	400,006	400,006
Velocity	m/s	0,69	1,74
Pressure Drop, Allow/Calc	MPa		10,622
Fouling Resistance (min)	m ² -K/W	0,000180	
Heat Exchanged kW		80409,1	
Transfer Rate, Service	460,23 W/m ² -K	Clean	647,66 W/m ² -K
			Actual
			459,77 W/m ² -K

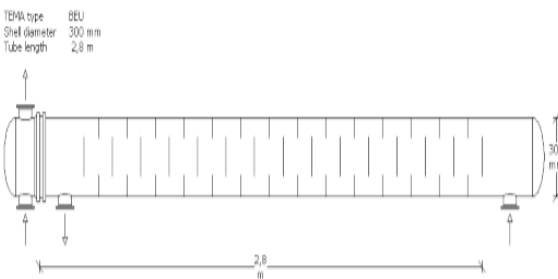
Gambar 3 Heat Exchanger Specification Sheet

Perancangan *heat exchanger shell-and tube* dengan variasi *baffle spacing*.

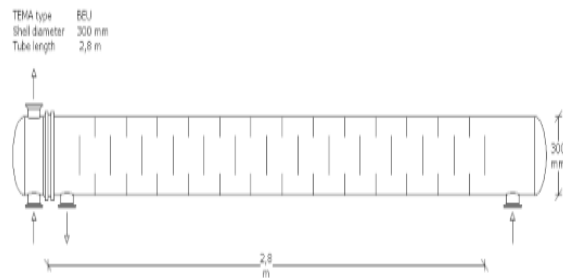
Gambar hasil perancangan *heat exchanger shell-and-tube* dengan *baffle spacing* 60 mm, 90 mm, dan 100 mm akan diperlihatkan pada Gambar 4, 5, dan 6.



Gambar 4 Desain Heat Exchanger Shell-and-Tube dengan Ukuran Baffle Spacing 60 mm



Gambar 5 Desain Heat Exchanger Shell and Tube dengan Ukuran Baffle Spacing 90 mm



Gambar 6 Desain Heat Exchanger Shell and Tube dengan Ukuran Baffle Spacing 100 mm

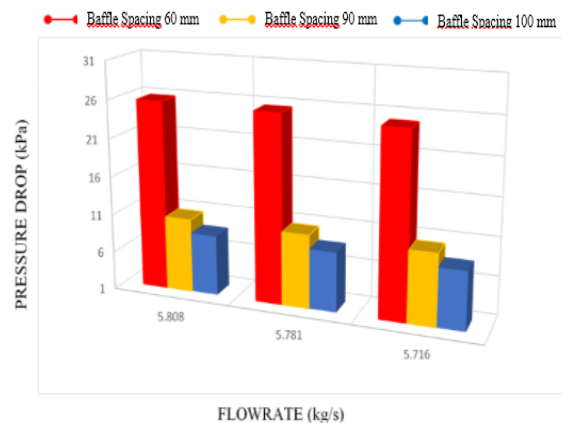
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan *pressure drop* dan *heat transfer rate shell*

Hasil perhitungan *Pressure Drop* dan *Heat Transfer Rate Shell* dari *Heat Exchanger* terhadap pengaruh *Flow Rate* dengan *Pressure Drop* pada masing-masing *baffle spacing*. Dari grafik tersebut, akan terlihat gambaran pengaruh *baffle spacing* terhadap *Pressure Drop*-nya.

Tabel 5. Data Hasil Perhitungan *Pressure Drop* dan *Transfer Rate Shell* dari Software HTRI

Variasi Baffle (mm)	Shell		ΔP (kPa)	Flow Rate (kg/s)	U (W/m ² K)
	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)			
60	44	36,88	25,755	5,808	675,61
	44	36,86	25,524	5,781	673,76
	44	36,82	24,970	5,716	669,31
90	44	36,71	10,622	5,808	721,22
	44	36,69	10,527	5,781	719,24
	44	36,65	10,299	5,716	714,46
100	44	36,65	8,853	5,808	735,19
	44	36,64	8,773	5,781	733,17
	44	36,60	8,584	5,716	728,30



Gambar 7 Grafik Flowrate terhadap Pressure Drop

10 Pengaruh Variasi Baffle Spacing dan Flow Rate Terhadap Efektifitas Heat Exchanger Shell and Tube Menggunakan Metode NTU (Number Of Transfer Unit) dan HTRI

Hasil perhitungan efektifitas dengan metode *Number of Transfer Unit* (NTU).

Perhitungan secara teoritis menggunakan metode *Number of Transfer Unit* (NTU) akan menghasilkan *output* perhitungan efektifitas dari masing-masing variasi jarak antar (*baffle spacing*), kemudian akan diketahui perbandingan nilai efektifitas mesin penukar kalor dari masing-masing variasi *baffle spacing*.

Perhitungan efektifitas pada *Baffle Spacing* berukuran 60 mm

$$C_c = \dot{m}_{c4} \cdot C_{p_c}$$

$$C_c = 6,759 \text{ kg/s} \times 4182,7 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_c = 28270,869 \text{ W/K}$$

$$C_h = \dot{m}_{h1} \cdot C_{p_h}$$

$$C_h = 5,808 \text{ kg/s} \times 1914,2 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_h = 11117,674 \text{ W/K}$$

$$Q_{\text{maks}} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i})$$

$$Q_{\text{maks}} = 11117,674 \text{ W/K} (44^\circ\text{C} - 30,7^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{maks}} = 147865,064 \text{ W}$$

$$\varepsilon = \frac{78524 \text{ W}}{147865,064 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 53,1 \%$$

Perhitungan efektifitas pada *baffle spacing* berukuran 90 mm

$$C_c = \dot{m}_{c4} \cdot C_{p_c}$$

$$C_c = 6,759 \text{ kg/s} \times 4182,7 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_c = 28270,869 \text{ W/K}$$

$$C_h = \dot{m}_{h2} \cdot C_{p_h}$$

$$C_h = 5,781 \text{ kg/s} \times 1914,2 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_h = 11065,99 \text{ W/K}$$

$$Q_{\text{maks}} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i})$$

$$Q_{\text{maks}} = 11065,99 \text{ W/K} (44^\circ\text{C} - 30,7^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{maks}} = 147177,667 \text{ W}$$

$$\varepsilon = \frac{80201,2 \text{ W}}{147177,667 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 54,5 \%$$

Perhitungan efektifitas pada *baffle spacing* berukuran 100 mm

$$C_c = \dot{m}_{c4} \cdot C_{p_c}$$

$$C_c = 6,759 \text{ kg/s} \times 4182,7 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_c = 28270,869 \text{ W/K}$$

$$C_h = \dot{m}_{h3} \cdot C_{p_h}$$

$$C_h = 5,716 \text{ kg/s} \times 1914,2 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_h = 10941,567 \text{ W/K}$$

$$Q_{\text{maks}} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i})$$

$$Q_{\text{maks}} = 10941,567 \text{ W/K} (44^\circ\text{C} - 30,7^\circ\text{C})$$

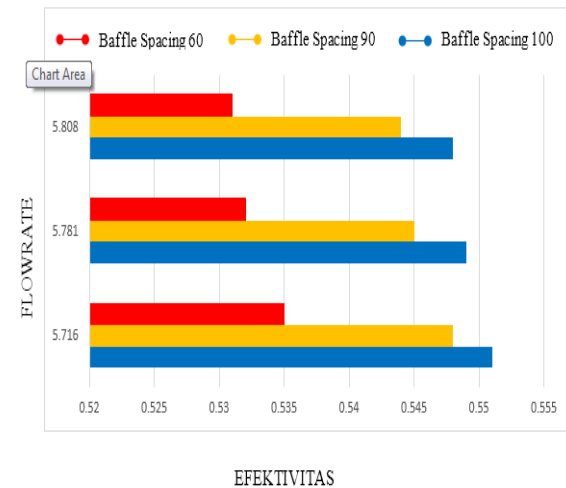
$$Q_{\text{maks}} = 145522,841 \text{ W}$$

$$\varepsilon = \frac{80231,9 \text{ W}}{145522,841 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 55,1 \%$$

Tabel 6. Nilai Q_{aktual} dan *Effectiveness*

Baffle Spacing (mm)	Flow Rate (kg/s)	Q_{aktual} (W)	Effectiveness (%)
60	5,808	78524	53,1
	5,781	78334	53,2
	5,716	77875	53,5
90	5,808	80409	54,4
	5,781	80201	54,5
	5,716	79704	54,8
100	5,808	80989	54,8
	5,781	80780	54,9
	5,716	80232	55,1



Gambar 8 Grafik Efektivitas terhadap *Flow Rate*

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dari *heat exchanger shell-and-tube*, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kenaikan *flow rate* pada *Heat Exchanger* mengakibatkan penurunan efektifitas, sebaliknya pada *flow rate* minimum pada *Heat Exchanger* terjadi kenaikan efektifitas. *Baffle spacing* 60 mm, nilai efektifitas pada *flowrate* 5,716 kg/s sebesar 0,535. Pada *flow rate* 5,781 kg/s, nilai efektifitasnya menjadi 0,532. Lalu ketika *Flow rate* 5,808 kg/s dan nilai efektifitas 0,531. *Baffle spacing* 90 mm, nilai efektifitas pada *flow rate* 5,716 kg/s sebesar 0,548. Pada *flow rate* 5,781 kg/s, nilai efektifitasnya menjadi 0,545. *Flow rate* kembali dinaikkan sebesar 5,808 kg/s dan nilai efektifitas n 0,544. *Baffle spacing* 100 mm, nilai efektifitas pada *flow rate* 5,716 kg/s sebesar 0,551. Saat *flow rate* 5,781 kg/s, nilai efektifitasnya menjadi 0,549. *Flow rate* sebesar 5,808 kg/s, lalu hasil nilai efektifitas adalah 0,548 kg/s.
2. Semakin banyak jumlah *baffle* pada *Heat Exchanger* akan memperbesar nilai *pressure drop* yang terjadi penurunan *heat transfer* pada *Heat Exchanger*. Semakin tinggi *flowrate* maka semakin besar juga nilai *heat transfer*, tetapi

juga semakin besar massanya dan nilai *pressure drop* yang terjadi pada *Heat Exchanger* juga semakin besar. Banyaknya jumlah *baffle* dan *flowrate* juga memengaruhi nilai *pressure drop* dan *heat transfer*. Pada *flowrate* 5,716 kg/s, nilai *pressure drop* pada *baffle spacing* 60 mm adalah 24,970 kPa dan *heat transfer* sebesar 77875 W, pada *baffle spacing* 90 mm mencapai 10,299 kPa dan *heat transfer* sebesar 79704 W, sementara pada *baffle spacing* 100 mm mencapai 8,584 kPa dan *heat transfer* sebesar 80232 W. Pada saat *flow rate* berada pada angka 5,781 kg/s, nilai *pressure drop* pada *baffle spacing* 60 mm mencapai 25,524 kPa dan *heat transfer* sebesar 78332 W, pada *baffle spacing* 90 mm mencapai 10,527 kPa dan *heat transfer* sebesar 80201 W, pada *baffle spacing* 100 mm mencapai 8,773 kPa dan *heat transfer* sebesar 80780 W. Pada saat *flowrate* berada pada angka 5,808 kg/s, nilai *pressure drop* pada *baffle spacing* 60 mm mencapai 25,755 kPa dan *heat transfer* sebesar 78524 W, pada *baffle spacing* 90 mm mencapai 10,622 kPa dan *heat transfer* sebesar 80409, pada *baffle spacing* 100 mm mencapai 8,853 kPa dan *heat transfer* sebesar 80989 W.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Elvine Handika Putra, Irwin Bizzy, Pengaruh jumlah *baffle* terhadap kinerja alat penukar kalor tipe *shell and tube*. Palembang : Universitas Sriwijaya, 2020.
- [2] Bizzy, R., dan Setiadi, R. Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe *Shell-and-Tube* dengan Program *Heat Transfer Research Inc.* (HTRI), Jurnal Rekayasa Mesin, 2013.
- [3] Triyono, Sugit., Ariwibowo, Teguh Hady., dan Permatasari, Prima Dewi. *Numerical Study of Shell-and-Tube Heat Exchanger Performance with Various Baffle Spacing*, 2016.
- [4] Sudrajat, Jajat. Analisis Kerja *Heat Exchanger Shell & Tube* pada Sistem COG Booster di Integrated Steel Mill Krakatau. 2017.
- [5] Sekulic´, D. P., R. K. Shah, and A. Pignotti. *A Review of Solution Methods for Determining Effectiveness–NTU Relationships for Heat Exchangers with Complex Flow Arrangements*. 1999.