

ANALISIS KINERJA *HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL AND TUBE* DENGAN MODIFIKASI *BAFFLE*

Mochammad Rizky Dwi H.¹⁾, Harto Tanujaya²⁾, Steven Darmawan³⁾

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara, Jakarta
e-mail: ¹⁾moch.515180045@stu.untar.ac.id, ²⁾hartotan@ft.untar.ac.id, ³⁾stevend@ft.untar.ac.id

Abstract: *Shell and tube type heat exchangers have the main components in the structure such as, pipes, shells, front-end heads, rear-end heads, baffles, and tube sheets. The installation of baffles on the heat exchanger shell and tube are used for a pipe support and flowing the fluid flow across the pipes to obtain a good value of the heat transfer coefficient. However, the installation of baffles can make the fluid undistributed in the zone or point of the back side of the baffles that is not hit by the fluid flow directly from the shell inlet so that there is no heat exchange between the fluid flowing in the pipe and the shell. Therefore, experimental research was conducted with heat exchanger shell and tube - laboratory type by modifying the baffles part with adding a plate or fin on the side of the baffles for hoping that the fluid can flow into the part or the zone where there was no heat exchanged between the flow before. Heat exchanger shell and tube type one pass shell, the flow type is counterflow, and baffles type are single segmental cut 20% were used in this study. Experiments were performed by varying the flow rate. The data results from experimental consist of temperature, flow rate, and dimensions of the equipment were collected and used to calculate the overall heat transfer coefficient, Reynolds number, Nusselt number, pressure drop and heat exchanger effectiveness using ϵ -NTU method. the results showed that the variation flow rate where 1.8 l/min on the tube side and 7 l/min on the shell side got the higghest effectiveness value that is 87.28%.*

Keywords: *heat exchanger shell and tube, baffles, ϵ -NTU method*

Nomenklatur

Ds : Diameter shell (m)	\dot{m} : Laju alir (l/min)
Np : <i>Tube pass</i>	ρ : Massa Jenis (kg/m ³)
do : Diameter luar <i>tube</i> (m)	μ : Viskositas (kg/m.s)
di : Diameter dalam <i>tube</i> (m)	k : Konduktivitas thermal (W/m.°C)
L : Panjang <i>tube</i> (m)	Cp : Kalor jenis (kJ/kg.°C)
Nt : Jumlah <i>tube</i>	Cc : Heat capacity cold
Pt : Pitch <i>tube</i> (m)	Ch : Heat capacity hot
C : Clearance <i>tube</i> (m)	Cr : Capacity ratio
B : Jarak <i>baffle</i> (m)	um : Kecepatan rata-rata dalam pipa (m/s)
De : Equivalent diameter (m)	Gs : Kecepatan laju masa shell (kg/m ² .s)
As : Luas permukaan shell (m ²)	f : Friction factor
Atp : Luas permukaan tube (m ²)	Re : Bilangan Reynolds
A : Luas permukaan perpindahan panas (m ²)	Nu : Bilangan Nusselt
T : Temperatur (°C)	Pr : Bilangan Prandtl
h : Koefisien perpindahan panas (W/m ² .°C)	NTU: Number transfer unit
U : Overall heat transfer coefficient (W/m ² .°C)	ϵ : Efektivitas

PENDAHULUAN

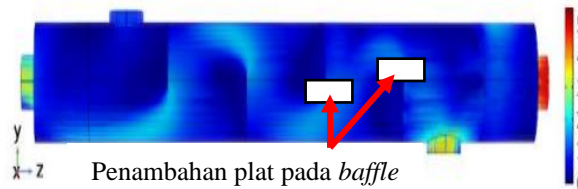
Shell and tube heat exchanger merupakan salah satu jenis *heat exchanger* tipe *indirect*. Jika dibutuhkan aliran yang besar, maka digunakan *shell and tube heat exchanger*. *Shell and tube heat exchanger* memiliki aliran yang kontinyu, memiliki *tube-tube* yang dipasang secara paralel, dimana fluida mengalir di dalam *tube-tube*. *Tube-tube* disusun secara paralel berdekatan satu sama lain di dalam sebuah *shell* dan fluida yang lain mengalir di luar *tube-tube* pada arah aliran yang sama, berlawanan, atau bersilangan, tetapi masih dalam *shell* [1]. Untuk meningkatkan efisiensi pertukaran panas, umumnya *shell and tube heat exchanger* dipasang sekat (*baffle*). Pemasangan sekat berfungsi sebagai penyangga pipa, membuat turbulensi aliran fluida, dan mengalirkan aliran fluida melintasi antar pipa-pipa untuk

mendapatkan nilai koefisien perpindahan panas yang baik [2]. Tetapi, pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* dengan sekat (*baffle*) dapat ditemukan *spot* atau zona dimana fluida yang mengalir di dalam *shell* tidak merata, sehingga pertukaran panas yang terjadi tidak optimal [3].



Gambar 1. Pola aliran fluida dalam *shell*

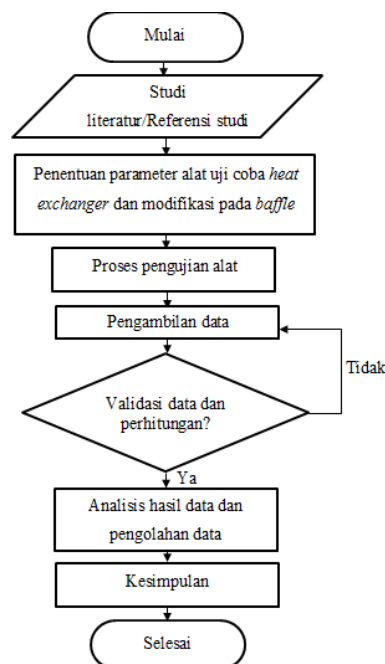
Oleh karena itu, dilakukan penelitian eksperimental dengan memodifikasi bagian sekat yaitu menambahkan sebuah plat atau sirip di sisi sekat yang bertujuan mengubah pola aliran fluida dalam *shell* dan diharapkan fluida dapat mengalir ke bagian *spot* atau zona yang sebelumnya tidak terjadi pertukaran panas antara kedua fluida. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh modifikasi sekat (*baffle*) terhadap efektivitas alat penukar kalor dengan variasi laju aliran.



Gambar 2. Pola distribusi aliran fluida di dalam *shell*

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dilakukan adalah melakukan penelitian secara eksperimental pada sebuah *heat exchanger shell and tube* – tipe laboratorium. Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui kinerja *heat exchanger* yang dilakukan modifikasi pada bagian *baffle* dengan menambahkan plat atau sirip pada salah satu sisi *baffle* dan melakukan variasi perubahan massa laju aliran pada sisi pipa dan sisi *shell*.

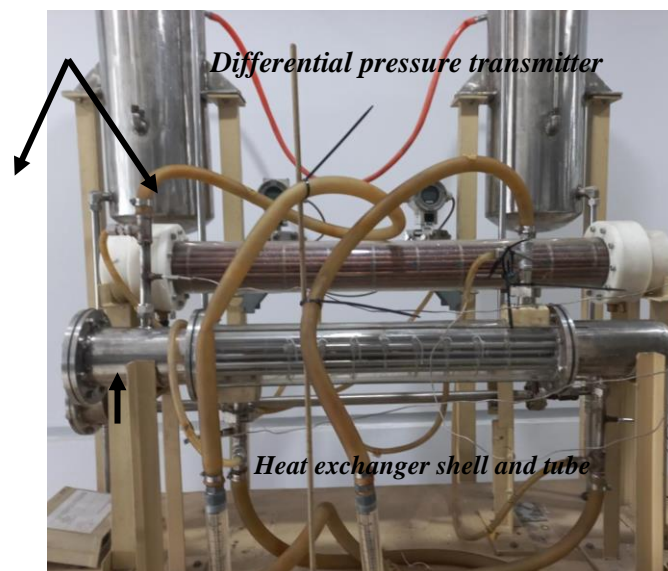


Gambar 3. *Flowchart* Penelitian

Persiapan Eksperimen

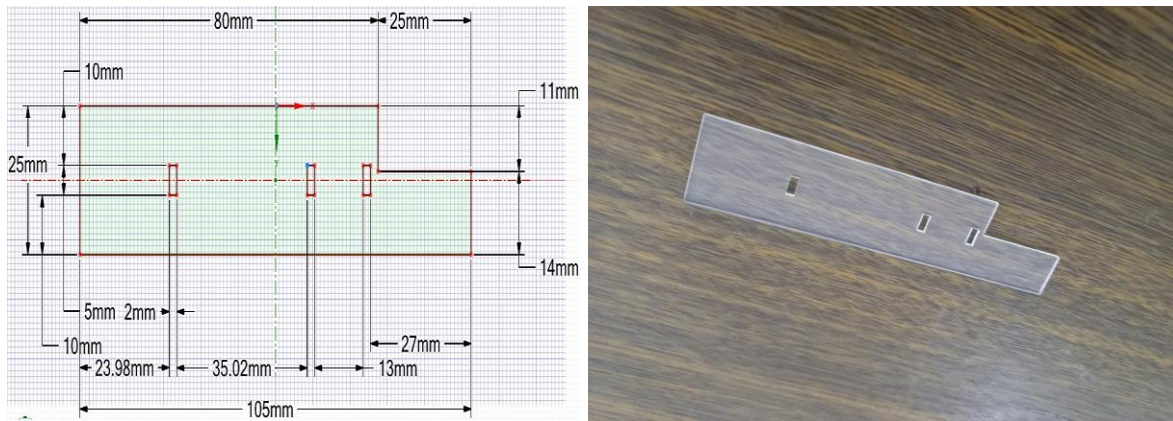
Eksperimen dilakukan dengan menggunakan *heat exchanger shell and tube* tipe *shell one pass shell* dan aliran *counterflow*. *Shell* yang digunakan berdiameter dalam sebesar 110 mm, dengan ketebalan 10 mm. Jumlah pipa yang berada di dalam *shell* sebanyak 20 pipa dengan diameter luar sebesar 12.7 mm, ketebalan 0.9 mm, tube pitch 1.78 mm, dan panjang 700 mm. Material yang digunakan pada *shell* adalah flexiglass dan pada pipa adalah *stainless steel*. *Baffle* yang digunakan pada eksperimen adalah *baffle* tipe *single segmental triangular pitch 30°* berjumlah 8, dengan besar cut 20% dan masing-masing berjarak 60 mm. Fluida kerja berupa air dengan temperatur lebih panas dan lebih dingin disimpan pada dua tangki berbeda.

Laju alir pada *shell* dan pipa ditransfer dan diatur oleh masing-masing pompa air dan katup lalu, mengalir masuk pada *inlet shell* dan pipa. Laju alir massa akan dibaca oleh *rotameter flowmeter* Lzs-25D. Tekanan pada pipa dan *shell* diukur menggunakan *differential pressure transmitter* ST3000 model STD910 dan dipasang pada masing-masing *inlet* dan *outlet* pipa dan *shell*. Temperatur fluida diukur menggunakan termokopel tipe-K, yang dipasang pada masing-masing *inlet* dan *outlet* pipa dan *shell*, dimana dua termokopel dipasang untuk mengukur temperatur dingin pada *shell*, dan dua termokopel dipasang untuk mengukur temperatur panas pada pipa. Temperatur lalu dibaca pada *temperature control* Autonics TZN4M.



Gambar 4. Persiapan eksperimental *heat exchanger*

Plat modifikasi digunakan untuk mengubah pola aliran air di dalam *shell* yang bertujuan untuk mendistribusikan aliran air ke zona atau titik dimana tidak terjadi perpindahan panas antara fluida panas yang mengalir di dalam pipa dengan fluida dingin yang mengalir di dalam *Shell*. Langkah pertama perancangan plat modifikasi yaitu dengan membuat desain awal pada aplikasi *software* CAD. Dimensi plat ditentukan berdasarkan ukuran *baffle* yang digunakan. Desain plat berbentuk balok memiliki dimensi panjang 105 mm, lebar 25 mm, dan tebal 1.5 mm dan digunakan sebanyak 7 plat dan memiliki potongan di salah satu sudutnya agar sisi panjang plat dapat menempel sepenuhnya tanpa terhalang oleh *tie rod heat exchanger* juga memiliki 3 lubang berbentuk persegi panjang yang bertujuan dapat ditempel dengan cara diikat menggunakan kabel tis (*cable ties*). Material yang digunakan pada plat modifikasi adalah flexiglass atau *acrylic*. Setelah dilakukan desain awal perancangan plat maka, dilakukan proses pemotongan lembaran *acrylic* berukuran 21x30 cm sesuai desain yang telah dibuat.



Gambar 5. Plat *baffle* yang telah dimodifikasi

Pengukuran Eksperimental

Fluida yang digunakan pada eksperimen adalah air-air. Air yang digunakan dianggap memiliki sifat-sifat konstan pada masing-masing inlet. Eksperimen dilakukan pada kondisi temperatur ruang antara 25-27°C. Eksperimen dilakukan menggunakan volume laju alir yang konstan pada tiap kondisi variasi laju alir. Massa laju alir fluida dingin yang konstan masuk pada *inlet shell* dengan variasi $\dot{m}_{Cold} = 1.8, 3, 5, 7, \text{ dan } 9 \text{ L/min}$. Untuk laju alir fluida panas yang konstan masuk pada inlet pipa dengan variasi $\dot{m}_{Hot} = 1.8, 3, 5, 7, \text{ dan } 9 \text{ L/min}$.

Pengambilan data eksperimen dilakukan sebanyak 11 kali dimana, data pertama diambil pada variasi laju alir yang masuk menuju shell dengan laju alir 1.8 L/min sedangkan laju alir yang masuk menuju pipa sebesar 1.8 L/min. Data kedua dilakukan perubahan laju alir yang masuk menuju pipa dan *shell* sebesar 3 L/min. Dan pada data ketiga variasi laju alir yang masuk menuju pipa dan *shell* sebesar 5 L/min, hingga pengambilan data terakhir perubahan variasi laju alir dilakukan sesuai urutan dan dilakukan kombinasi perubahan laju aliran yaitu $\dot{m}_{Hot} - \dot{m}_{Cold} = 1.8-7, 3-7, 5-7, 7-1.8, 7-3, \text{ dan } 7-5$. Temperatur fluida dingin yang masuk menuju shell dijaga konstan pada suhu 30-33°C dengan bantuan tambahan pendinginan radiator dan *air cooler*. Beban kalor *electric heater* dijaga pada 1.7 kW.

Pengolahan Data

Langkah pertama dalam penyajian penelitian analisis kinerja *heat exchanger* adalah dengan memeriksa ketepatan prosedur pengujian, dimana harus mengetahui konversi energi keseluruhan antara sisi panas dan sisi dingin perpindahan panas. Beban panas dari *heat exchanger* bisa diperkirakan melalui *heat balance* maka, data temperatur digunakan untuk memeriksa *heat balance* antara fluida panas dengan fluida dingin:

$$Q_{Shell} = Q_{Tube} \quad (1)$$

$$Q_{Tube} = [m.C_h (T_{h_{in}} - T_{h_{out}})]_{Tube} \quad (2)$$

$$Q_{Shell} = [m.C_c (T_{h_{out}} - T_{h_{in}})]_{Shell} \quad (3)$$

Data hasil eksperimen berupa temperatur, massa laju alir, dan dimensi dari peralatan dikumpulkan dan digunakan untuk menghitung *heat transfer coefficient* (h), *overall heat transfer coefficient* (U), bilangan Reynolds (Re), bilangan Nusselt (Nu), *pressure drop* (ΔP), dan efektivitas *heat exchanger* (ϵ).

Berikut persamaan-persamaan atur yang digunakan dalam penelitian:

Heat transfer coefficient (h):

$$h = Nu \cdot \frac{k}{d} \quad (4)$$

Overall heat transfer coefficient (U):

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{tube}} + \frac{1}{h_{shell}}} \quad (5)$$

Luas permukaan perpindahan panas (A):

$$A_o = \pi \cdot d_o \cdot N_t \cdot L \quad (6)$$

Bilangan Reynolds (Re) untuk aliran laminar:[4][5]

$$Re_{tube} = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot d_i \cdot \mu \cdot N_t} \quad (7)$$

$$Re_{shell} = \frac{G_s \cdot D_e}{\mu} \quad (8)$$

Bilangan Nusselt (Nu) untuk aliran laminar: [4][5]

$$Nu_{tube} = 3,66 \frac{0,068 (d_i/L) \cdot Re_{tube} \cdot Pr}{1 + 0,04 [(d_i/L) \cdot Re_{tube} \cdot Pr]^{2/3}} \quad (9)$$

$$Nu_{shell} = 0,9 \cdot Re_{shell}^{0,4} \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_{shell}}{Pr_{tube}} \right)^{1/4} \quad (10)$$

Capacity ratio (C_r):

$$C_r = C_{min} / C_{max} \quad (11)$$

Number Transfer Unit (NTU):

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}} \quad (12)$$

Efektivitas *heat exchanger* (ε):

$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + Cr (1 + Cr^2)^{0,5} \cdot \frac{1 + \exp[-(NTU) (1 + Cr^2)^{0,5}]}{1 - \exp[-(NTU) (1 + Cr^2)^{0,5}]} \right\}^{-1} \quad (13)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen dilakukan pada *heat exchanger shell and tube* tipe *one pass shell* dan aliran *counterflow* dengan modifikasi menambahkan plat di sisi baffle dan variasi laju alir. Eksperimen dilakukan untuk mengetahui seberapa besar efektivitas *heat exchanger*. Pengamatan eksperimen dilakukan dengan melihat temperatur keluar fluida panas dari pipa dan fluida dingin dari shell. Eksperimen juga dilakukan dengan melihat seberapa besar terjadinya penurunan tekanan atau *pressure drop* di masing-masing sisi, yang hasilnya ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Eksperimen Sisi *Tube*

Data	Laju alir (l/m)		Tube Side			ΔP (Pa)
			Temperatur (°C)			
	Tube	Shell	In Th _{in}	Out Th _{out}	Th _{rata}	
1	1.8	1.8	50	36	43	70.8
2	3	3	50	37	43.5	188.8
3	5	5	49	40	44.5	325.6
4	7	7	49	39	44	595.7
5	9	9	49	40	44.5	873
6	1.8	7	48	37	42.5	81.6
7	3	7	50	39	44.5	203.5
8	5	7	49	38	43.5	384.3
9	7	1.8	49	39	44	565.3
10	7	3	48	40	44	594.3
11	7	5	49	40	44.5	612.2

Tabel 2. Data Hasil Eksperimen Sisi *Shell*

Data	Laju alir (l/m)		Shell Side			ΔP (Pa)
	Tube	Shell	Temperatur ($^{\circ}C$)			
			In T_{in}	Out T_{out}	T_{rata}	
1	1.8	1.8	30.109	33.174	31.642	717.6
2	3	3	30.109	34.196	32.153	1502.6
3	5	5	31.130	36.239	33.684	3508.3
4	7	7	32.152	37.261	34.707	6264.4
5	9	9	31.130	37.261	34.156	9817.3
6	1.8	7	31.130	33.174	32.152	6332.7
7	3	7	30.109	35.217	32.663	6343.9
8	5	7	30.109	35.217	32.663	6329.3
9	7	1.8	31.130	35.217	33.174	703.4
10	7	3	31.130	37.261	34.156	1528.6
11	7	5	31.130	36.239	33.684	3508.3

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan Sisi *Tube*

Data	\dot{m}_{tube} (l/m)	\dot{m}_{shell} (l/m)	T_{rata} ($^{\circ}C$)	Re	Nu	h ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$)
1	1.8	1.8	43	206.74	4.04	235.24
2	3	3	43.5	341.13	4.25	247.78
3	5	5	44.5	578.22	4.58	267.51
4	7	7	44	802.68	4.88	284.93
5	9	9	44.5	1040.80	5.16	301.42
6	1.8	7	42.5	205.04	4.04	235.05
7	3	7	44.5	346.93	4.25	248.16
8	5	7	43.5	568.55	4.58	267.12
9	7	1.8	44	802.68	4.88	284.93
10	7	3	44	802.68	4.88	284.93
11	7	5	44.5	809.51	4.88	285.13

Tabel 4. Data Hasil Perhitungan Sisi *Shell*

Data	\dot{m}_{tube} (L/min)	\dot{m}_{shell} (L/min)	T_{rata} ($^{\circ}C$)	Re	Nu	h ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$)
1	1.8	1.8	31.64	260.73	16.10	90.70
2	3	3	32.15	431.25	19.60	110.51
3	5	5	33.68	739.11	23.96	135.59
4	7	7	34.71	1054.71	27.21	154.28
5	9	9	34.16	1342.11	30.24	171.28
6	1.8	7	32.15	1006.22	27.38	154.39
7	3	7	32.66	1015.56	27.56	155.58
8	5	7	32.66	1015.56	27.44	154.87
9	7	1.8	33.17	268.47	16.05	90.69
10	7	3	34.16	447.37	19.44	110.12
11	7	5	33.68	739.11	23.96	135.59

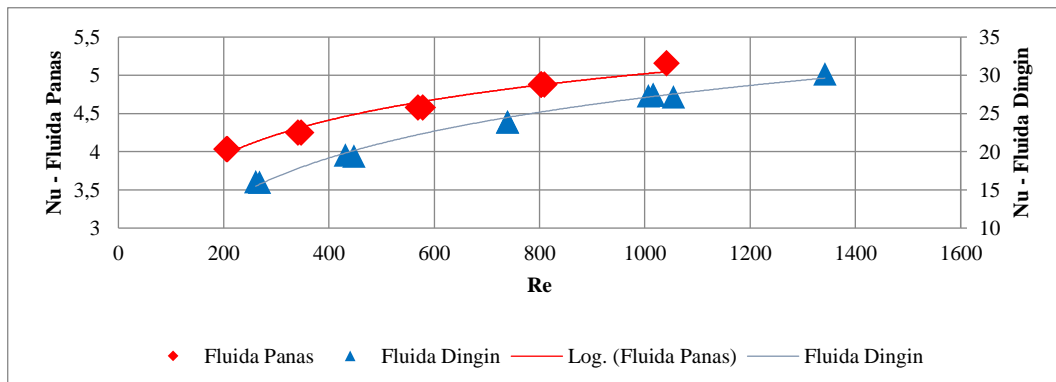
Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Kinerja *Heat Exchanger*

Data	Laju alir (l/m)		Cr	U ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$)	NTU	ϵ
	Tube	Shell				
1	1.8	1.8	0.9997	65.459	4.857	0.5854
2	3	3	0.9996	76.424	3.4023	0.5819
3	5	5	0.9996	89.981	2.4034	0.5696
4	7	7	0.9997	100.088	1.91	0.5529
5	9	9	0.9996	109.22	1.621	0.5360
6	1.8	7	0.257	93.184	6.912	0.8728
7	3	7	0.429	95.63	4.256	0.7880
8	5	7	0.715	98.032	2.618	0.6566
9	7	1.8	0.257	68.796	5.104	0.8695
10	7	3	0.428	79.424	3.537	0.7801
11	7	5	0.714	91.891	2.454	0.6516

Hubungan Bilangan Nusselt dengan Bilangan Reynolds

Berdasarkan data hasil perhitungan Re dan Nu pada sisi *tube* di Tabel 3 dan sisi *shell* di Tabel 4, menunjukkan tren kenaikan nilai setiap laju alir meningkat. Bilangan Reynolds yang didapat pada sisi *tube* (fluida panas) maupun sisi *shell* (fluida dingin) bernilai < 2300 , yang artinya aliran pada sisi *tube* maupun sisi *shell* berupa laminar.

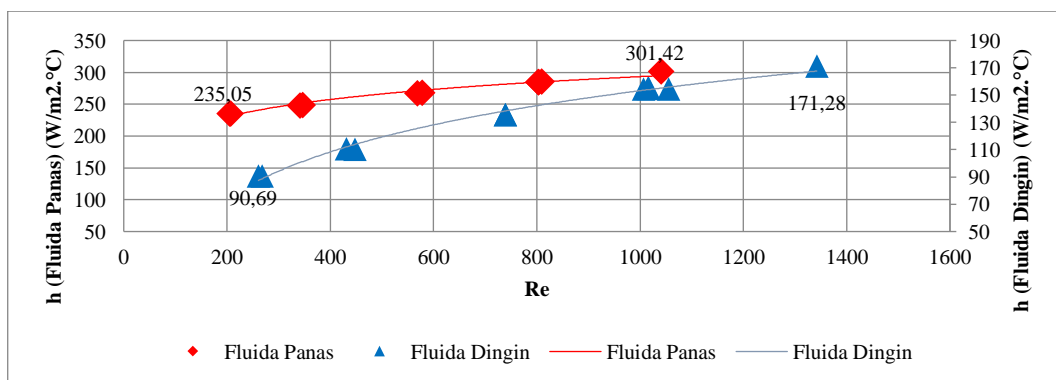
Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan antara bilangan Nusselt dengan Reynolds untuk pemeriksaan data eksperimental. Dapat diamati dari grafik untuk kedua aliran sisi *tube* dan sisi *shell*, bilangan Nusselt terus mengalami peningkatan, seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds pada fluida panas dan fluida dingin. Hal tersebut menunjukkan fenomena hasil eksperimen sesuai dengan teori, dimana bilangan Nusselt berbanding lurus dengan bilangan Reynolds. Hasil meningkatnya bilangan Nusselt juga tidak terlepas dari sifat fisik fluida air dan kondisi geometri sistem. Hasil hubungan antara bilangan Nusselt dengan Reynolds dapat membantu untuk melakukan perbandingan hasil eksperimental dengan hasil numerical pada penelitian selanjutnya.



Gambar 6. Grafik Hubungan antara Bilangan Nusselt dengan Reynolds

Hubungan Koefisien Perpindahan Panas dengan Bilangan Reynolds

Hubungan antara koefisien perpindahan panas dengan bilangan Reynolds ditunjukkan pada grafik Gambar 7. Grafik tersebut menunjukkan peningkatan nilai h atau koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* dan sisi *shell* seiring meningkatnya bilangan Reynolds. Peningkatan nilai h secara signifikan terjadi pada sisi *shell* dengan nilai sebesar $80.59 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$, dibandingkan dengan peningkatan nilai h pada sisi *tube* dengan nilai $66.37 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada sisi *shell* mempunyai bilangan Reynolds yang lebih besar dibanding pada sisi *tube*. Kecepatan aliran yang meningkat pada data ke-5 dengan laju aliran fluida panas dan fluida dingin sebesar 9 l/min membuat bilangan Reynolds aliran semakin meningkat (lebih turbulen), dimana hal ini membawa efek yang pada kenaikan koefisien perpindahan panas yang pada akhirnya meningkatkan koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) dalam *heat exchanger*.

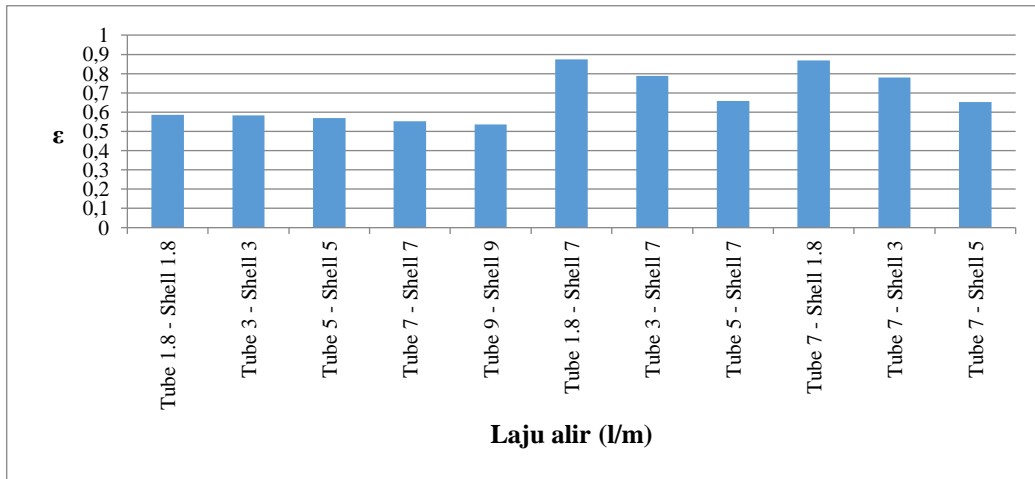


Gambar 7. Grafik Hubungan antara Koefisien Perpindahan Panas dengan Bilangan Reynolds

Hubungan Efektivitas terhadap Laju Alir

Hubungan antara efektivitas dengan laju alir ditunjukkan pada grafik Gambar 8. Pada grafik menunjukkan menurunnya efektivitas ketika meningkatnya laju aliran. Dari grafik,

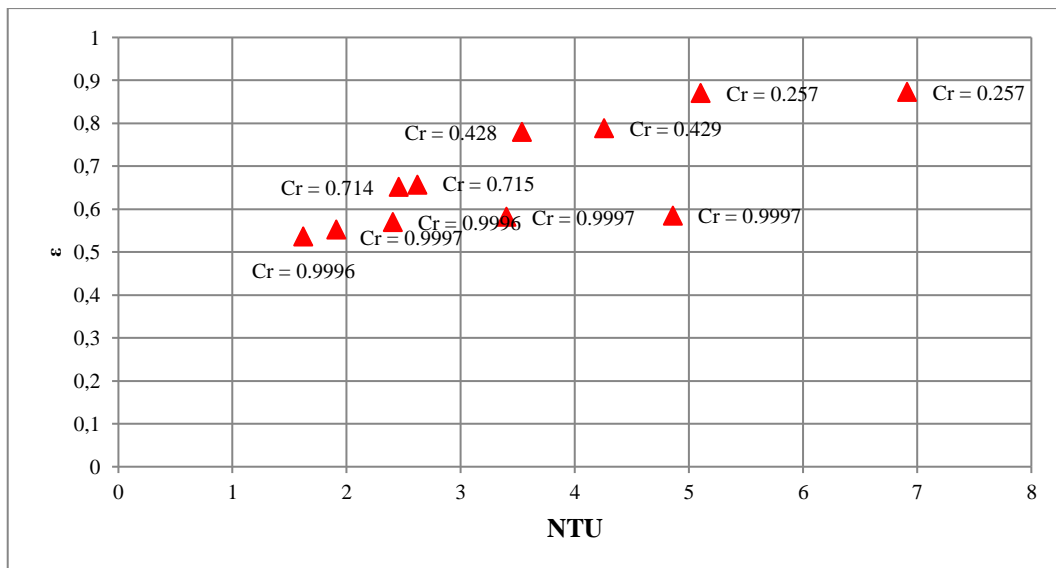
nilai efektivitas mempunyai hasil yang mendekati konstan ketika variasi laju aliran fluida panas dengan fluida dingin mempunyai nilai yang sama. Sedangkan pada variasi aliran fluida panas dengan fluida dingin mempunyai nilai yang berbeda, nilai efektivitas mengalami kenaikan. Nilai efektivitas yang paling besar ketika diberi kombinasi variasi laju aliran 1.8 L/min pada sisi *tube* dan 7 L/min pada sisi *shell*. Kenaikan laju aliran massa membuat waktu kontak antara kedua fluida panas dan fluida dingin menjadi lebih singkat. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas dipengaruhi dari jumlah dan variasi massa laju alir yang mengalir di dalam *shell* dan juga dalam *tube*. Menentukan rentang variasi dari massa laju alir yang sesuai sangat penting untuk mendapatkan nilai efektivitas yang tinggi.



Gambar 8. Grafik hubungan antara bilangan Nusselt dengan Reynolds

Hubungan Efektivitas dan NTU

Hubungan antara efektivitas dengan NTU ditunjukkan pada grafik Gambar 9. Dari grafik menunjukkan efektivitas yang didapatkan berdasarkan variasi massa laju alir. Berdasarkan data grafik, nilai *capacity ratio* (Cr) yang kecil memiliki hasil efektivitas yang lebih baik. Pada nilai *capacity ratio* yang kecil, disebabkan karena mempunyai variasi laju aliran antar fluida panas maupun fluida dingin. Hal tersebut menunjukkan bahwa efektivitas dipengaruhi oleh nilai, kombinasi variasi massa laju alir, dan sifat fisik fluida air yang mengalir di dalam *tube* dan *shell*. Nilai number transfer unit (NTU) dipengaruhi dari nilai koefisien perpindahan panas, geometri sistem, dan *capacity heat* yang rendah.



Gambar 9. Grafik hubungan antara efektivitas dengan NTU

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah didapat dan telah dilakukan analisis, kombinasi variasi laju alir yang memiliki nilai efektivitas tinggi terjadi pada data ke-6 dengan variasi laju alir 1.8 l/min pada *tube* dan 7 l/min pada *shell* dan data ke-9 dengan variasi laju alir 7 l/min pada *tube* dan 1.8 L/min pada *shell* yaitu, 87.28% dan 86.95%.

Tetapi, data ke-6 memiliki nilai efektivitas tertinggi ketika laju alir sebesar 7 l/min mengalir di dalam *shell*, hal ini membuktikan adanya pengaruh penambahan plat atau sirip pada baffle terhadap kinerja *heat exchanger*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pelaksanaan penelitian kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Universitas Tarumanagara yang mengizinkan untuk melakukan penelitian alat penukar kalor di laboratorium perpindahan panas dan massa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andriawan, H. Tanujaya, dan A. Riza, "Simulation and Study of Shell and Tube Type Heat Exchangers," IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., vol. 1007, no. 1, hlm. 012179, Des 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1007/1/012179.
- [2] H. Tanujaya dan S. Darmawan, "Investigation of Flow of the Disc-and-Doughnut Baffles and 40% Cut Segmental Baffles," IJHT, vol. 39, no. 5, hlm. 1541–1548, Okt 2021, doi: 10.18280/ijht.390516.
- [3] H. Tanujaya dan I. W. Sukania, "Experimental Study of Stationary-Head/Channel Cover STHE Prototype Using ϵ -NTU Method," Exp Tech, vol. 43, no. 6, hlm. 645–655, Des 2019, doi: 10.1007/s40799-019-00322-2.
- [4] F. P. Incropera, Ed., Fundamentals of heat and mass transfer, 6th ed. Hoboken, NJ: John Wiley, 2007.
- [5] A. A. Zhukauskas, "Convective heat transfer in external flows," Journal of engineering physics, vol. 53, no. 5, hlm. 1240–1246, Nov 1987, doi: 10.1007/BF00871082.
- [6] P. A. D. Cruz, E.-J. E. Yamat, J. P. E. Nuqui, dan A. N. Soriano, "Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis of the Heat Transfer and Fluid Flow of Copper (II) Oxide-Water Nanofluid in a Shell and Tube Heat Exchanger," Digital Chemical Engineering, hlm. 100014, Feb 2022, doi: 10.1016/j.dche.2022.100014.
- [7] E. A. Handoyo, "Pengaruh Penggunaan Baffle pada Shell-and-Tube Heat Exchanger," vol. 3, no. 1, hlm. 5.
- [8] K.S.N. Raju, "Fluid Mechanics, Heat Transfer, and Mass Transfer", Hoboken, New Jersey. ISBN: 978-0-470-90997-3. 2011.
- [9] M. Seddiq dan M. Maerefat, "Analytical solution for heat transfer problem in a cross-flow plate heat exchanger," International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 163, hlm. 120410, Des 2020, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120410
- [10] J.P. Holman, 1988, "Perpindahan Kalor", alih bahasa Jasjfi E., edisi ke-2, Erlangga, Jakarta Ikhsan. 2012.
- [11] M. Ünverdi, "Prediction of heat transfer coefficient and friction factor of mini channel shell and tube heat exchanger using numerical analysis and experimental validation," International Journal of Thermal Sciences, vol. 171, hlm. 107182, Jan 2022, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.107182.
- [12] S. S. Kamthe dan S. B. Barve, "Effect of Different types of Baffles on Heat Transfer & Pressure Drop of Shell and Tube Heat Exchanger: A review," March 2017, hlm. 6.
- [13] Kakac. S., Liu. H., Pramuanjaroenkij. A. "Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design", edisi ke-3, Boca Raton, ISBN: 978-1-4398-4991-0. 2012.

- [14] Moran. M, "Fundamental of Engineering Thermodynamics", edisi ke-8, Wiley, ISBN: 978-1-118-41293-0. 2014.
- [15] M. Ünverdi, "Prediction of heat transfer coefficient and friction factor of mini channel shell and tube heat exchanger using numerical analysis and experimental validation," International Journal of Thermal Sciences, vol. 171, hlm. 107182, Jan 2022, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.107182.
- [16] H. Küçük, M. Ünverdi, dan M. Senan Yılmaz, "Experimental investigation of shell side heat transfer and pressure drop in a mini-channel shell and tube heat exchanger," International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 143, hlm. 118493, Nov 2019, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118493.