

Pengaruh *Baffle Cut* Pada *Shell dan Tube Heat Exchanger* Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh & Penurunan Tekanan

Muhammad Iskandar Al Hakim¹⁾, Muhammad Bakrie²⁾, Nurlela²⁾

¹⁾Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Direktorat Jendral Mineral dan Batubara, Balai Besar Pengujian Mineral dan Batubara

²⁾Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang
*Corresponding email: iskandarhakim81@gmail.com

Abstrak

Shell and Tube Heat Exchanger merupakan salah satu peralatan penukar energi panas yang tidak dapat dilepaskan penggunaannya dalam menunjang proses produksi di industri. Perpindahan panas pada alat penukar panas tipe *shell and tube* dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah penggunaan *baffle*. Mengoptimalkan proses perpindahan panas pada *heat exchanger*, *baffle* juga berfungsi sebagai penyangga *tube* yang ada di dalam *shell*. Perpindahan panas yang optimal sangat diharapkan dalam proses pertukaran panas pada peralatan *heat exchanger*. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh *baffle cut* terhadap koefisien perpindahan panas dan penurunan tekanan pada *heat exchanger*. Hasil percobaan yang dilakukan didapatkan bahwa *baffle cut* pada *baffle* di *shell heat exchanger* mempengaruhi nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh dan penurunan tekanan pada *heat exchanger*, untuk *baffle cut* 3 cm (17,5%) merupakan *baffle cut* yang optimum digunakan karena nilai rerata koefisien perpindahan panas menyeluruh yang tinggi jika dibandingkan dengan kedua variasi *baffle cut* lainnya sebesar 30,8926 BTU/hr.ft².F dengan *pressure drop* di sisi *shell* dan *tube* yang masih jauh berada dibawah ambang batas yaitu $0,8969 \times 10^{-3}$ psi dan $0,1352 \times 10^{-3}$ psi. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai *pressure drop* maka semakin besar nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh pada *heat exchanger*, nilai *pressure drop* jauh berada dibawah ambang batas <10 psi sehingga *heat exchanger* beroperasi dengan baik, potongan 17,5% merupakan *baffle cut* yang optimum digunakan karena memiliki nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh yang paling tinggi dengan *pressure drop* yang masih jauh berada dibawah ambang batas.

Kata kunci : *Baffle cut*, *Shell and Tube Heat Exchanger*, *Perpindahan Panas Menyeluruh*, *Pressure Drop*.

PENDAHULUAN

Industri kimia merupakan salah satu faktor yang mendukung pertumbuhan perekonomian suatu Negara karena peningkatan kemajuan era revolusi industri yang begitu pesat menjadi 4.0 membutuhkan suplai dari industri-industri tersebut terutama industri kimia. Dalam proses dan sistemnya industri kimia tidak terlepas dari peran peralatan-peralatan industri. Peralatan industri tersebut berupa peralatan proses, pengolahan, pneumatik, pendukung dan perpindahan panas. Peralatan perpindahan panas merupakan salah satu yang memiliki peranan besar dalam suatu industri, kegunaannya dapat dijumpai dalam unit utilitas, proses, pembangkitan dan konversi energi.

Salah satu contoh peralatan yang digunakan sebagai sumber energi panas adalah *Heat Exchanger*. *Heat Exchanger* adalah salah satu peralatan yang paling banyak digunakan dalam industri proses untuk pendinginan, pemanasan, kondensasi, pendidihan atau penguapan. (Arsana, dkk, 2019). Fluida yang terdapat didalam *shell and tube heat exchanger* mengalir melalui beberapa pipa kecil atau disebut dengan *tube* dan fluida lainnya melalui suatu ruang yang tidak di isi oleh *tube* atau disebut juga selongsong/*shell* (Marawijaya, dkk, 2019). Aliran fluida di dalam peralatan perpindahan panas dibagi menjadi fluida bertemperatur tinggi dan fluida bertemperatur rendah dari sisi kiri dan kanan. Fenomena

perpindahan panas akan terjadi di antara kedua fluida jika fluida bersuhu lebih tinggi kontak secara tidak langsung dengan fluida bersuhu lebih rendah. Perpindahan panas yang berlangsung di dalam *shell and tube* dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya dikarenakan nilai koefisien luas perpindahan panas secara keseluruhan pipa (hio) yang besar dan penurunan tekanan/ *pressure drop* (ΔP). Dalam beberapa penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa peningkatan *pressure drop* di dalam ruang *shell* menyebabkan luas kontak perpindahan panas menjadi lebih kecil dan menurunkan koefisien luas perpindahan panas sehingga perpindahan panas yang terjadi tidak terjadi dengan baik.

Menurut Handoyo, Ekadewi Anggraini. (2001). Aliran fluida dalam *shell-and-tube heat exchanger* dapat menjadi *cross flow* atau berlawanan jika ditambahkan penyekat atau *baffle*. Aliran *cross flow* memberikan luas kontak fluida di dalam *shell* terhadap dinding *tube* semakin besar, sehingga menyebabkan perpindahan panas di antara kedua fluida meningkat. *Baffle* tersebut berguna untuk menjaga agar *tube* tidak melengkung (berfungsi sebagai penyangga) selain untuk mengarahkan aliran agar menjadi *cross flow* dan meminimalisir kemungkinan terjadinya vibrasi/getaran disebabkan oleh aliran fluida yang mengalir. Ada banyak jenis dan tipe *baffle* dalam suatu permodelan *shell and tube heat exchanger* beberapa diantaranya adalah *segmental baffle*, *helical baffle* atau *spiral baffle* dan masih banyak lagi. Penggunaan *baffle* dengan tipe *single/double segmental* direncanakan untuk penelitian tersebut disebabkan karena kemampuan *baffle* untuk meredam penurunan tekanan yang lebih baik.

Menurut R.W. Serth, pada *Process Heat Transfer*, (2007) Untuk distribusi aliran yang baik, potongan *baffle* harus antara 15% dan 45%. Untuk aliran fase tunggal, bagaimanapun kisaran 20-35% direkomendasikan. Menurut Satvirpal Singh Grewal, (2018) dalam jurnalnya yang berjudul “*Study the Effect of Single Segmental Baffle cut on Overall Heat Transfer Coefficient in Shell and Tube Heat Exchanger*” untuk mengetahui potongan *baffle* terbaik untuk mendapatkan koefisien perpindahan panas keseluruhan maksimum untuk kinerja *shell* yang lebih baik dan penukar panas tabung. Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi hubungan terbaik antara potongan *baffle* dan koefisien perpindahan panas keseluruhan, enam *baffle cut* yang berbeda bervariasi dari 15% sampai 40% diambil pada massa cairan yang sama. Untuk mengetahui hubungan antara *baffle cut* dengan koefisien perpindahan panas keseluruhan, Satvirpal dkk membandingkan keenam desain variasi untuk menganalisis variasi koefisien perpindahan panas keseluruhan. Setelah membandingkan keenam variasi, Satvirpal dkk menemukan hubungan optimal antara *baffle cut* dan koefisien perpindahan panas keseluruhan. Jika mengurangi potongan *baffle*, itu akan meningkatkan turbulensi tetapi menyebabkan penurunan kecepatan aliran di sisi *shell*, ini menghasilkan koefisien perpindahan panas yang lebih besar. Demikian pula dengan meningkatkan *baffle cut* ada peningkatan kecepatan aliran di sisi *shell*, tetapi karena turbulensi yang lebih sedikit, lebih sedikit panas yang ditransfer. Jadi koefisien perpindahan panasnya lebih kecil. sehingga untuk menghasilkan kinerja penukar panas dan koefisien perpindahan panas yang optimal, harus ada kombinasi terbaik dari semua variabel yang efektif. Untuk itu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh dari tipe *single-double segmental baffle* dengan variasi *baffle cut* terhadap koefisien transfer panas dan penurunan tekanan pada *heat exchanger*.

• Pengertian Alat Penukar Panas

Alat penukar panas atau *Heat Exchanger* (HE) adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida yang berbeda suhu melalui sebuah penghantar media panas dengan mengkondisikan alatnya sebaik mungkin, agar tidak mengalami kesalahan dalam proses pemindahan suhu, karena jika terjadi kesalahan dalam pemindahan akan berakibat pada hasil akhir pemanasan. Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien (Charate, T. dkk. dalam *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2015).

- **Tipe Shell and Tube Heat Exchanger**

Menurut *The Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association* (TEMA) dalam Bakrie dan Fatimura (2020), tipe *heat exchanger* yang paling umum digunakan dalam industri adalah tipe *shell and tube*. *Heat exchanger* tipe *shell and tube* terdiri dari kumpulan tube di dalam suatu *shell*. Satu fluida mengalir di dalam *tube* sedang fluida yang lain mengalir di ruang antara *bundle tube* dan *shell*. *Shell-and-Tube Heat Exchangers* dibagi menjadi tiga bagian yaitu: kepala depan (*front head*), *shell*, dan kepala belakang (*rear head*).

Komponen penyusun *Heat Exchanger* jenis *Shell and Tube* adalah:

- a. *Shell*

Merupakan bagian tempat untuk *tube bundle*, antara *shell and tube bundle* terdapat fluida yang menerima atau melepaskan panas, yang dimaksud dengan lintasan *shell* adalah lintasan yang dilakukan oleh fluida yang mengalir ke dalam melalui saluran masuk (*inlet nozzle*) melewati bagian dalam *shell* dan mengelilingi *tube* kemudian keluar melalui saluran keluar (*outlet nozzle*).

- b. *Tube*

Diameter dalam *tube* merupakan diameter dalam aktual dengan ukuran inch dengan toleransi yang sangat teliti. *Tube* dapat diubah dari berbagai jenis logam, seperti besi, tembaga, perunggu, tembaga-nikel, aluminium-perunggu, aluminium dan *stainless steel*. Ukuran ketebalan pipa berbeda-beda dan dinyatakan dalam bilangan yang disebut *Birmingham Wire Gage* (BWG). Ukuran pipa yang secara umum digunakan biasanya mengikuti ukuran-ukuran yang telah baku, semakin besar bilangan BWG, maka semakin tipis *tubenya*. Jumlah *tube* yang digunakan dalam penelitian tergantung dengan diameter *tube* dan diameter *shell* yang digunakan, *pitch ray* dan aliran *pass* yang digunakan dan *layout tube* nya.

- c. *Pass divider*

Komponen ini berupa plat yang dipasang di dalam *channels* untuk membagi aliran fluida *tube* bila diinginkan jumlah *tube pass* lebih dari satu.

- **Baffle dan Baffle Cut**

Menurut TEMA seperti dikutip Bakrie dan Fatimura (2020). *Baffle* digunakan untuk mengarahkan aliran melalui selubung agar lebih banyak turbulensi. Adanya *baffle* pada *shell* menyebabkan arah aliran fluida di dalam *shell* berpotongan tegak lurus dengan tabung, menyesuaikan arah aliran dalam *shell* untuk meningkatkan kecepatan linier, sehingga meningkatkan koefisien perpindahan panas dari lapisan fluida di sisi *shell*. *Baffle* juga mendukung bundel tabung untuk meredam getaran di dalam tabung, mengendalikan dan mengarahkan aliran fluida yang mengalir di luar tabung untuk mendapatkan turbulensi yang lebih besar, dan turbulensi aliran juga mampu membantu meningkatkan koefisien perpindahan panas (TEMA dalam Bakrie dan Fatimura, 2020)

Baffle segmental tunggal adalah standar dan sejauh ini yang paling banyak digunakan. Untuk memberikan distribusi aliran yang baik di sisi *shell*, jarak antara *baffle* harus antara 0,2 dan 1,0 diameter *shell* (tetapi tidak kurang dari 2 inci). Namun, jarak *baffle* maksimum mungkin dibatasi oleh dukungan tabung dan pertimbangan getaran kurang dari satu diameter. Opsi *no-tubes-in-window* dapat digunakan untuk memperpanjang jarak *baffle* dalam situasi ini. Membahas mengenai *baffle* tentu tak terlepas dengan subtopik yaitu *baffle cut*. Untuk distribusi aliran yang baik, potongan *baffle* harus antara 15% dan 45%. Untuk aliran fase tunggal, bagaimanapun, kisaran 20-35% direkomendasikan.

- **Pressure Drop**

Ini adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari titik di pipa atau tabung ke hilir. Penurunan tekanan adalah hasil gesekan dalam cairan saat mengalir melalui tabung yang disebabkan oleh resistensi aliran (Kern,1980). Dalam konteks tekanan, aplikasi yang tersedia

untuk menumbuhkan cairan melalui penukar panas akan ditentukan oleh kondisi proses, dan tekanan yang tersedia berkurang akan bervariasi dari millibar dalam kondisi vakum hingga beberapa bar dalam sistem tekanan. Ketika perancang bebas memilih pengurangan tekanan, itu dapat dilakukan dari analisis ekonomi untuk menentukan desain penukar panas yang menyediakan biaya operasi terendah, dengan mempertimbangkan modal dan biaya pemompaan. Namun, analisis ekonomi umum hanya akan dibenarkan untuk pertukaran panas yang sangat besar dan mahal. Ketika tekanan tinggi berkurang, perawatan harus dilakukan untuk memastikan bahwa hasil kecepatan fluida tinggi tidak menyebabkan erosi atau getaran di sisi pipa.

- **Aliran Fluida Pada *Shell and Tube Heat Exchanger***

Aliran dikatakan *Counter flow heat exchanger* ketika arah aliran antara fluida dingin dan fluida panas saling berlawanan. Pada kondisi ini perbedaan temperatur antar fluida tidak terlalu signifikan sehingga perpindahan panas sepanjang aliran relatif konstan. Selain itu, profil aliran *counter flow* pada *heat exchanger* memungkinkan bahwa temperatur keluaran fluida dingin lebih tinggi dari pada temperature keluaran fluida panas (Kern,1980). Sedangkan sebaliknya untuk profil aliran *parallel flow* pada *heat exchanger*, arah aliran dari kedua fluida memiliki arah aliran yang sama. *Heat exchanger* tipe ini juga sering disebut profil aliran *concurrent-flow heat exchanger*. Pada *heat exchanger* ini terjadi perbedaan temperatur yang signifikan antar kedua fluida pada saat awal kedua fluida masuk. Dan temperatur keluaran dari fluida dingin tidak mungkin lebih besar dari pada temperature fluida panas.

- **Koefisien Perpindahan Panas dan Penurunan Tekanan Pada *Shell***

Menurut Kern:1980, dalam *shell* umumnya terdapat *baffle* (sekat) yang berfungsi selain sebagai penyangga/penunjang *tube-tube* dalam *shell* dan pengaruh aliran fluida dalam *shell*, tetapi juga berfungsi sebagai alasan kuat perpindahan kalor dan penurunan tekanan fluida di sisi *shell*, karena koefisien perpindahan panas kalor dapat lebih besar apabila terdapat *baffle* dibanding tanpa *baffle*. Nilai koefisien perpindahan panas disisi *shell* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{h_o}{\phi_s} = JH \cdot \frac{k}{D_e} \cdot Pr^{1/3} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana : JH = Faktor for Heat Transfer De = Diameter Ekuivalen (ft)
 k = Konduktivitas Termal (BTU/hr.ft²(°F/ft)) Pr = Bilangan Prandle
 φ_s = Rasio Viskositas Shell

Besarnya penurunan tekanan pada isothermal untuk fluida yang dipanaskan atau didinginkan, serta kerugian saat masuk dan keluar adalah:

$$\Delta P_s = \frac{f_s \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_s \cdot S \cdot \phi_s} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : ΔP_s = Shell-side pressure drop (psi) f_s = Friction Factor, for ΔP in Psi (ft²/in²)
 G_s = Mass Velocity (lb/hr. ft²) D_s = Inside Diameter of Shell(ft)
 N = Number of Shell side Baffles S = Temperature Group
 φ_s = Viscosity Ratio

- **Koefisien Perpindahan Panas dan Penurunan Tekanan Pada *Tube***

Besarnya koefisien perpindahan kalor yang terjadi pada sisi *tube* dan keseluruhan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (DQ.Kern) :

$$\frac{h_i}{\phi_t} = JH \cdot \frac{k}{d_{in}} \cdot Pr^{1/3} \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{h_{io}}{\phi_t} = \frac{h_i}{\phi_t} \cdot \frac{d_{in}}{d_o} \dots\dots\dots(4)$$

- Dimana :
- | | | | | | |
|-----------------|---|--------------------------|----------------|---|----------------------------------|
| JH | = | Faktor for Heat Transfer | k | = | Konduktivitas Termal |
| d _{in} | = | diameter pipa dalam (ft) | d _o | = | diameter pipa luar (ft) |
| Pr | = | Bilangan Prandtl | h _i | = | koefisien perpindahan panas tube |
| φ _t | = | Rasio Viskositas Tube | | | |

Besarnya penurunan tekanan pada *tube side* alat penukar kalor telah dirumuskan, persamaan terhadap faktor gesekan dari fluida yang dipanaskan atau yang didinginkan di dalam tube.

$$\Delta P_t = \frac{f_t \cdot G_t^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_t \cdot S \cdot \phi_t} \dots\dots\dots(5)$$

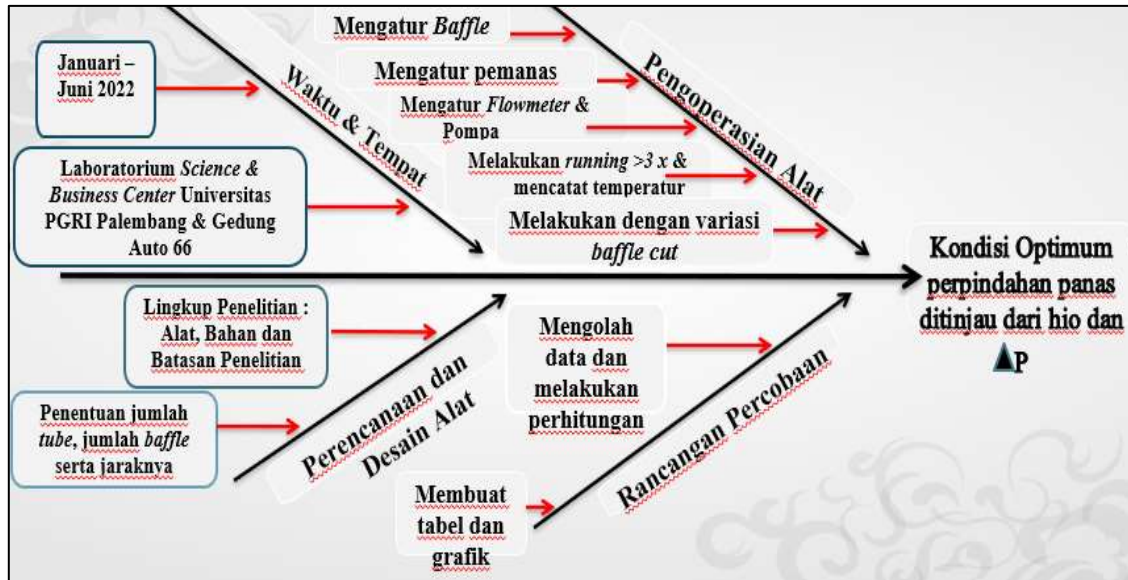
- Dimana :
- | | | | | | |
|-----------------|---|---|----------------|---|--|
| ΔP _t | = | Tube-side pressure drop (psi) | f _t | = | Friction Factor, for ΔP in Psi (ft ² /in ²) |
| G _t | = | Mass Velocity (lb/hr. ft ²) | L | = | Tube Length (ft) |
| D _t | = | Tube Diameter (ft) | n | = | Number of Tube Passes |
| S | = | Temperature Group | φ _t | = | Viscosity Rasio |

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di laboratorium Teknik Kimia Universitas PGRI Palembang selama ±10 bulan pada bulan September 2021 sampai dengan Juni 2022. Adapun alat dan bahan yang dipakai sebagai berikut:

1. Peralatan yang dipakai :
 - a. Seperangkat *Shell and Tube Heat Exchanger* dengan spesifikasi :

• <i>Shell</i>	: Akrilik	Diameter (D _s)	: 17 cm
		Panjang (L _s)	: 120 cm
• <i>Baffle</i>	: Single-Double	Jumlah <i>Baffle</i>	: 6 buah
• <i>Tube</i>	: Logam Kuningan	Diameter (d _o)	: 2,5 cm
		Panjang (L _t)	: 90 cm
		Jumlah <i>tube</i>	: 19 buah
• <i>Head</i>	: Akrilik	Panjang	: 15 cm R/L
• <i>Pitch</i>	: Triangular Array	Jarak <i>pitch tube</i>	: 3,5 cm
 - b. Pompa yang dilengkapi dengan *flowmeter* digital
 - c. Termometer Digital
 - d. Pemanas Listrik
 - e. Tangki dari Plastik (drum)
2. Bahan yang dipakai :
 - a. Air Panas dengan suhu (T)
 - b. Air Dingin dengan suhu (t)



Gambar 1. Diagram Metodologi Penelitian

• **Cara Kerja**

Prosedur Perencanaan dan Desain Alat

Berikut merupakan langkah yang bisa dikerjakan dalam merencanakan atau mendesain alat penukar panas:

1. Penentuan *heat duty* (Q) yang diperlukan. Penukar kalor yang direncanakan harus memenuhi atau melebihi syarat ini
2. Menentukan ukuran (*size*) alat penukar kalor dengan perkiraan yang masuk akal untuk koefisien perpindahan kalor keseluruhannya
3. Menentukan cairan yang mengalir di sisi tabung atau cangkang. Biasanya, sisi tabung disediakan untuk cairan yang korosif, beracun, tekanan tinggi atau mencemari dinding. Proses ini dilakukan untuk lebih memfasilitasi proses pembersihan dan pemeliharaan.
4. Langkah selanjutnya adalah memperkirakan jumlah *tube* (N_t) yang digunakan dengan menggunakan rumus:

$$A = N_t (\pi d_0) L \dots \dots \dots (6)$$

Dimana: d_0 = diameter luar *tube* (mm)
 L = panjang *tube* (mm)

Atau

$$N_t = 0,785 \frac{CTp}{CL (PR)^2 d_o^2} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana: CL = *Tube layout*, 0,87
 PR = *Pitch Ratio* (jarak antar *tube*/ diameter *tube*) = 1,4
 CTp = Aliran fluida di dalam *tube* 1 pass, 0,93



Gambar 2. Desain baffle, baffle cut, jumlah tube, dan tube pitch yang digunakan

5. Menentukan ukuran *shell* dilakukan setelah kita mengetahui jumlah *tube* yang direncanakan sebelumnya. Kemudian perkiraan jumlah *pass* dan *tube pitch* yang akan digunakan
6. Langkah selanjutnya adalah memperkirakan jumlah *baffle* dan jarak antar *baffle* yang akan digunakan. *Baffle* mempunyai jarak yang seragam serta minimum jaraknya $1/5$ dari diameter *shell* tapi tidak kurang dari 2 *inchi*
7. Langkah yang terakhir adalah memberikan kinerja dari alat penukar kalor yang telah direncanakan. Mengitung koefisien perpindahan panas di bagian sisi tabung dan bagian sisi “*shell*”, lalu menghitung faktor pengotornya (R_d) sehingga sesuai dengan standar yang dipersyaratkan, lalu penurunan tekanan di sisi *tube* dan *shell*.



Gambar 3. Desain alat Shell and Tube Heat Exchanger

Prosedur Pengoperasian alat

Berikut merupakan langkah yang bisa dikerjakan dalam mengoperasikan alat penukar panas:

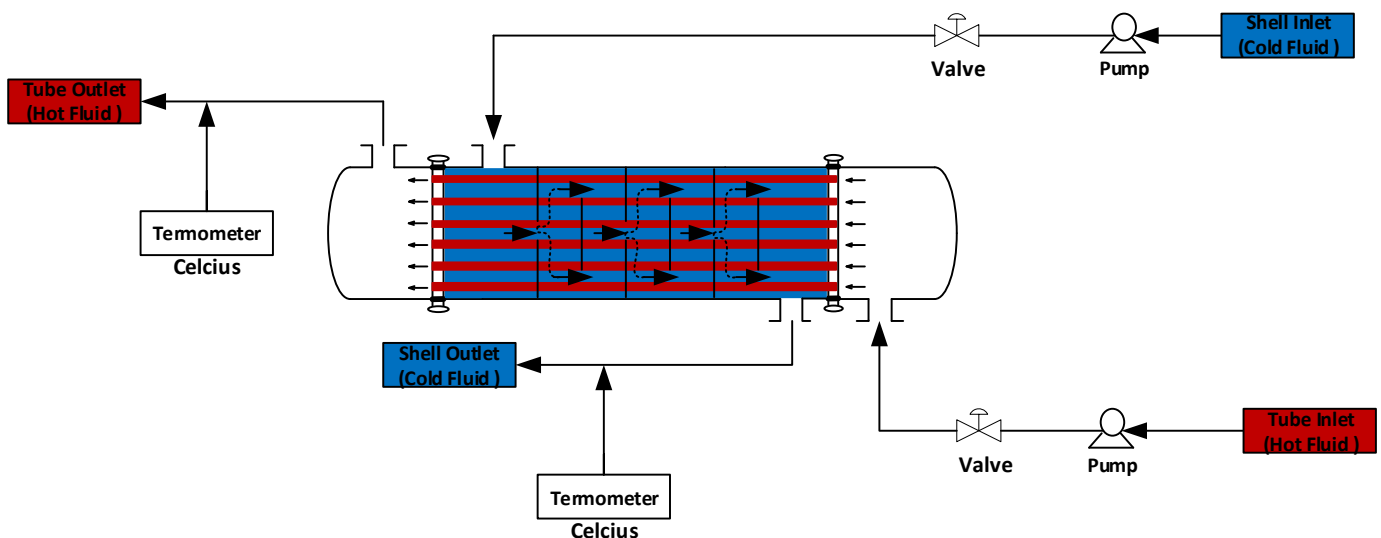
1. Mengatur jarak antar *baffle* yang diinginkan
2. Mengatur pipa fluida yang akan terhubung ke alat *heat exchanger* dan mengatur *flowmeter* yang digunakan untuk mengukur laju aliran.
3. Mengatur *heater* untuk memanaskan temperatur fluida panas yang akan masuk ke dalam *tube* dengan *range* temperatur $40-50^{\circ}\text{C}$
4. Menghidupkan pompa fluida panas yang akan membawa fluida dari tangki penampungan ke *head heat exchanger* pada bagian *tube*
5. Mengukur temperatur fluida yang keluar dari elemen pemanas ($40-50^{\circ}\text{C}$) dengan menggunakan thermometer
6. Setelah temperatur fluida yang keluar dari elemen pemanas konstan $40-50^{\circ}\text{C}$, mengatur pompa temperatur fluida dingin serta menghidupkannya.
7. Menunggu sampai temperatur fluida panas dan fluida dingin yang keluar dari *heat exchanger* menjadi konstan

8. Mencatat temperatur fluida panas dan dingin yang keluar dari *heat exchanger* dan *flowrate* nya dengan mencatat
9. Melakukan langkah ke-2 sampai 8 dengan kondisi *baffle cut* yang berbeda (3 macam).

Prosedur Percobaan alat *Shell and Tube Heat Exchanger*

Berikut merupakan langkah yang dilakukan dalam percobaan alat penukar panas *shell and tube heat exchanger*:

1. Mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan digunakan
2. Merangkai alat *Shell and Tube Heat Exchanger* sesuai dengan variasi yang diinginkan
3. Menghidupkan stop kontak dan menghubungkan kabel pemanas serta pompa pada arus listrik
4. Mengisi drum dengan air sampai dengan ketinggian tertentu sesuai dengan kapasitas drum yang digunakan
5. Melakukan pemanasan fluida untuk masuk ke *tube* dengan *heater* yang tersedia sampai dengan temperatur yang telah ditentukan yaitu 40-50 °C dan menjaga temperaturnya tetap konstan atau *steady*
6. Menghubungkan pipa air dingin bertemperatur 28-30°C dengan konektor inlet *Shell* dan pipa air panas bertemperatur 40-50 °C dengan konektor inlet tube secara *counter current* atau berlawanan.
7. Menghidupkan pompa dengan setting *flowrate* sebesar 5,5-5,9 Kg/min untuk *tube* dan 6,0-6,8 Kg/min untuk *shell*, dengan ketentuan flowmeter menunjukkan satuan *flowrate* yang diinginkan atau dapat dikonversi sama dengan nilai tersebut
8. Menjaga aliran kedua fluida tetap *steady* dan kemudian mencatat temperatur masuk dan keluar dari kedua fluida tersebut dalam rentang waktu yang ditentukan, misalkan selama 15 menit untuk 15x pencatatan temperatur
9. Melakukan percobaan yang sama untuk *baffle cut* yang berbeda sesuai prosedur 1-8
10. Mematikan stop kontak dan merapikan peralatan serta bahan yang telah digunakan
11. Melakukan evaluasi data yang digunakan dengan menggunakan perhitungan, tabulasi dan grafik



Gambar 4. Desain aliran fluida pada alat Heat Exchanger

Tabel 1. Data *Baffle Cut* 3 cm

Waktu (menit) / Parameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T1 (Temp In panas) °C	43,1	43,3	43,6	43,7	43,9	44,1	44,3	44,6	44,6	44,9	45	45,1	45,3
T2 (Temp Out panas) °C	39,7	39,8	40	40,1	40,4	40,3	40,2	40,4	40,5	40,5	40,7	40,9	40,8
t1 (Temp In dingin) °C	32,2	32,2	32,7	31,9	31,8	31,7	31,7	31,6	31,6	31,5	31,5	31,5	31,5
t2 (Temp Out dingin) °C	36,1	36,5	36,6	36,6	36,6	36,6	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5
(FP) <i>Flowrate</i> panas L/min	5,9	5,5	5,5	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
(FD) <i>Flowrate</i> dingin L/min	6,0	6,4	6,4	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8

Tabel 2. Data *Baffle Cut* 4,3 cm

Waktu (menit) / Parameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T1 (Temp In panas) °C	42,3	42,7	42,9	43,3	43,5	43,8	44	44,3	44,6	44,8	45,1	45,4	45,6
T2 (Temp Out panas) °C	37,6	37,8	38,1	38,4	38,5	38,6	39,0	39,0	39,1	39,5	39,7	39,9	40,1
t1 (Temp In dingin) °C	32,5	32,6	32,6	32,7	32,8	32,8	32,8	32,9	33,3	33,5	33,6	33,6	33,6
t2 (Temp Out dingin) °C	34,6	34,8	35	35,2	35,4	35,6	35,9	35,9	36,1	36,3	36,6	36,8	36,9
(FP) <i>Flowrate</i> panas L/min	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
(FD) <i>Flowrate</i> dingin L/min	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8

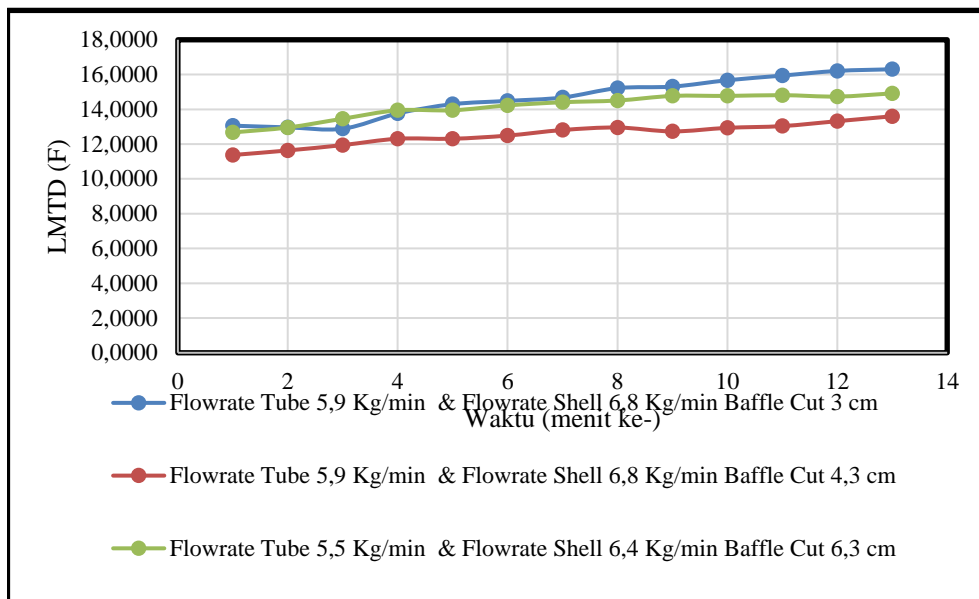
Tabel 3. .Data *Baffle Cut* 6,3 cm

Waktu (menit) / Parameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T1 (Temp In panas) °C	41,8	41,9	42,8	43	43,1	43,3	43,5	43,6	43,8	43,9	44,2	44,3	44,5
T2 (Temp Out panas) °C	36,6	36,8	37,3	37,7	37,7	37,9	38,0	38,1	38,2	38,5	38,4	38,5	38,7
t1 (Temp In dingin) °C	30,7	30,7	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,4	31,5	31,6	31,7
t2 (Temp Out dingin) °C	33,5	33,5	33,9	34	34,1	34,2	34,3	34,4	34,4	34,5	34,5	34,7	34,8
(FP) <i>Flowrate</i> panas L/min	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
(FD) <i>Flowrate</i> dingin L/min	6,8	6,4	6,8	6,8	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai LMTD (F) untuk *Baffle Cut* 3 cm, 4,3 cm dan 6,3 cm

No	(Waktu) Menit ke	LMTD (F) <i>Baffle Cut</i> 3 cm	LMTD (F) <i>Baffle Cut</i> 4,3 cm	LMTD (F) <i>Baffle Cut</i> 6,3 cm
1	1	13,0595	11,3725	12,6716
2	2	12,9612	11,6342	12,9544
3	3	12,8826	11,9433	13,4590
4	4	13,7617	12,3076	13,9442
5	5	14,2941	12,3076	13,9442
6	6	14,4837	12,4896	14,2256
7	7	14,6775	12,8083	14,4071
8	8	15,2184	12,9544	14,5062
9	9	15,3059	12,7299	14,7699
10	10	15,6714	12,9342	14,7699
11	11	15,9396	13,0354	14,8139
12	12	16,2075	13,3178	14,7330
13	13	16,3042	13,5992	14,9149



Gambar 5. Grafik LMTD Untuk Variasi *Baffle Cut*

Hubungan Antara *Baffle Cut* Terhadap LMTD dan *Flowrate*

Jauh sebelum kita mendapatkan nilai *pressure drop* dan *hio*, terlebih dahulu proses perhitungan yang harus dilakukan adalah menentukan nilai LMTD, LMTD atau yang berarti *Logarithmic Mean Temperature Difference* merupakan perbedaan temperatur rata-rata logaritma, LMTD tentu memberikan asumsi yang sama dengan nilai *hio* namun LMTD hanya memberikan gambaran awal untuk proses perpindahan

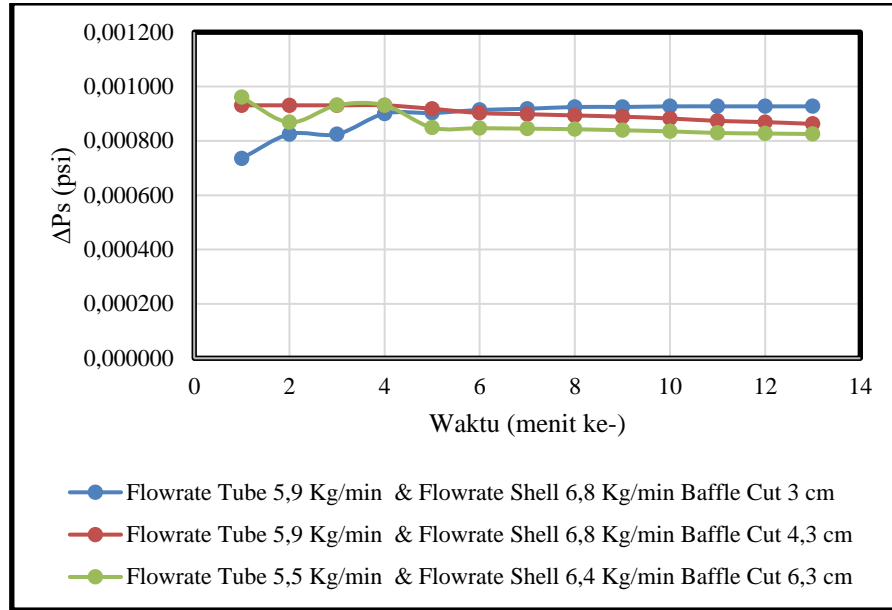
panas berjalan dengan baik atau tidak, semakin besar LMTD maka semakin baik proses perpindahan panas dari kedua fluida yang sedang kontak. Seperti gambar grafik 5 menunjukkan hubungan antara LMTD terhadap waktu yang berada pada alat penukar panas (*heat exchanger*).

Dari gambar 5 dapat diketahui bahwa nilai LMTD untuk *baffle cut* 3 cm memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan *baffle cut* 4,3 cm dan 6,3 cm. nilai LMTD tersebut memberikan gambaran bahwa pelepasan panas (*heat losses*) pada *heat exchanger* semakin kecil yang hilang sehingga penyerapan panas didalam sistem tersebut menjadi lebih tinggi.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai *Pressure Drop Shell* { ΔP_s (psi)} untuk *Baffle Cut* 3 cm, 4,3 cm dan 6,3 cm

No	(Waktu) Menit ke	{ ΔP_s (psi)} <i>Baffle Cut</i> 3 cm	{ ΔP_s (psi)} <i>Baffle Cut</i> 4,3 cm	{ ΔP_s (psi)} <i>Baffle Cut</i> 6,3 cm
1	1	0,000736	0,0009310	0,000961
2	2	0,000825	0,0009310	0,000869
3	3	0,000825	0,0009309	0,000931
4	4	0,000900	0,0009309	0,000931
5	5	0,000903	0,0009182	0,000849
6	6	0,000914	0,0009026	0,000847
7	7	0,000918	0,0008981	0,000845
8	8	0,000925	0,0008937	0,000843
9	9	0,000925	0,0008892	0,000839
10	10	0,000927	0,0008825	0,000835
11	11	0,000927	0,0008736	0,000829
12	12	0,000927	0,0008692	0,000827
13	13	0,000927	0,0008625	0,000825

Gambar 6 menunjukkan adanya hubungan antara *baffle cut* terhadap *pressure drop* disisi *shell* pada menit ke 5-13, ditunjukkan bahwa nilai *pressure drop* mengalami kenaikan sesaat dan kemudian menurun yang disebabkan oleh perubahan kondisi proses dimenit-menit awal didalam *heat exchanger* seperti turbulensi atau *Reynold Number*. Perubahan yang terjadi pada *Reynold Number* mengakibatkan perubahan pada nilai friksi didalam *shell*, oleh kerena itu temperatur fluida dingin keluar menurun untuk potongan *baffle* 3 cm (17,5%) dan kemudian *steady* pada menit ke-10 s/d ke-13 sedangkan untuk potongan *baffle* 4,3 cm dan 6,3 cm (37%) terlihat pada grafik bahwa adanya penurunan nilai *pressure drop* mulai dari menit-menit awal hal ini membuktikan bahwa seiring terjadinya kenaikan hio maka sebaliknya nilai *pressure drop* akan menurun. Terdapat hubungan yang jelas bahwa semakin kecil nilai *pressure drop* akan mengakibatkan semakin besar nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh. Pada menit ke-13 variasi *baffle cut* 17,5% (3 cm), 25% (4,3 cm) dan 37% (6,3 cm) menghasilkan *pressure drop* (ΔP) pada *shell* sebesar 0,000927 psi, 0,000862 psi dan 0,000825 psi serta (ΔP) pada *tube* masing-masing variasi sebesar 0,0001279 psi, 0,0001302 psi dan 0,0001264 psi. Jika kita bandingkan *pressure drop* yang berada di *tube* cenderung lebih kecil dibandingkan *pressure drop* yang berada di *shell* hal ini dikarenakan didalam *shell* lebih banyak ruang yang terisi oleh udara akibat turbulensi *fluida* dingin ditambah dengan adanya *baffle* yang berfungsi sebagai penyekat dan pembagi ruang jalannya *fluida* tersebut.



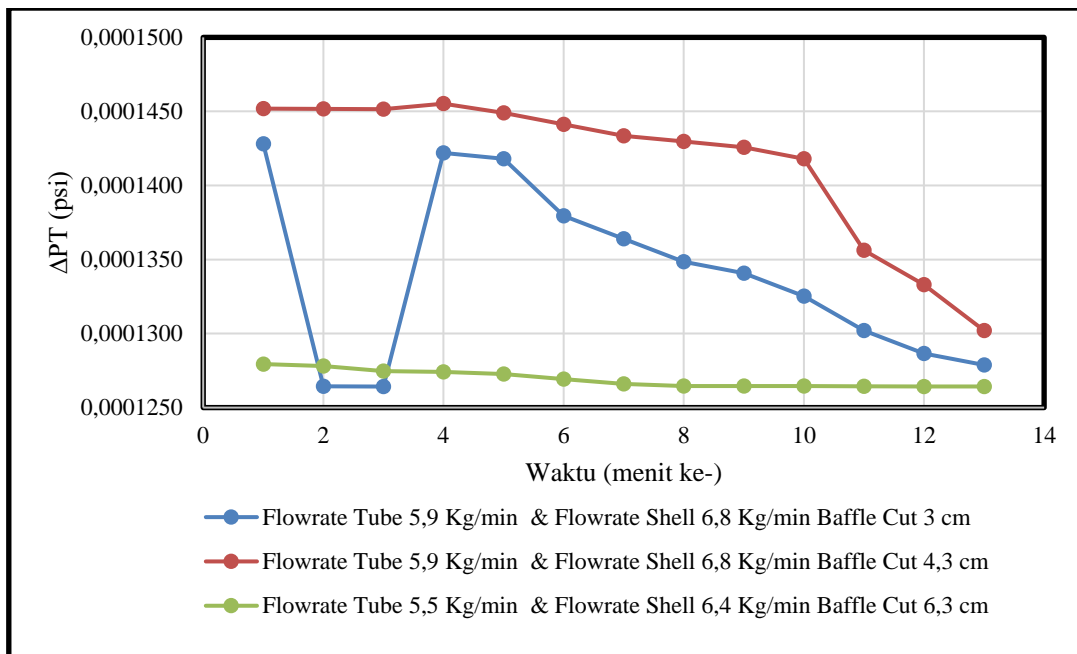
Gambar 6. Grafik *Shell Side Pressure Drop* ΔP_s (psi) Untuk Variasi *Baffle Cut*

Nilai *pressure drop* jauh berada dibawah ambang batas <10 psi sehingga *heat exchanger* beroperasi dengan baik, potongan 3 cm (17,5%) merupakan *baffle cut* yang optimum digunakan karena memiliki nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh yang paling tinggi dengan *pressure drop* yang masih jauh berada dibawah ambang batas walaupun nilai *pressure drop* untuk potongan *baffle* 6,3 cm (37%) memiliki nilai yang paling kecil dari kedua variasi lainnya akan tetapi nilai koefisien perpindahan panas menyeluruhnya cenderung rendah karena semakin besar potongan *baffle* maka semakin besar jalan fluida untuk mengalir dengan lebih cepat dan secara tidak langsung itu membuat proses perpindahan panas secara konduksi dan radiasi didalam *heat exchanger* tidak berjalan dengan baik, sebaliknya potongan *baffle* yang lebih kecil memberikan kesempatan kepada *fluida* panas dan dingin untuk kontak lebih lama secara konduksi dan radiasi sehingga proses perpindahan panasnya berlangsung lebih baik. Potongan *baffle* ternyata juga mempengaruhi penurunan tekanan pada *shell and tube heat exchanger*, ini dapat dilihat pada gambar grafik 6 dan 7 . Dari grafik yang ditunjukkan diatas terlihat bahwa adanya hubungan berbanding terbalik antara *baffle cut* dan *pressure drop* semakin kecil potongan *baffle* maka semakin besar penurunan tekanan yang terjadi, hal ini dikarenakan semakin kecil *window* yang menjadi celah fluida yang berada di *shell* untuk mengalir maka semakin besar pula ruang yang terisi fluida pada sisi *baffle* di dalam *shell* yang menghadang fluida dan ini akan berdampak pada semakin lama waktu retensi fluida pada *shell* untuk menuju ujung *shell and tube heat exchanger*.

Pressure drop yang dihasilkan pada ketiga variasi pada penelitian ini masih dikatakan baik dan memenuhi persyaratan, hal ini sesuai dengan isi tulisan pada *handbook Process Heat Transfer* oleh D. Q Kern bahwa penurunan tekanan pada peralatan penukar panas seperti *shell and tube heat exchanger* tersebut haruslah dibawah 10 psi sedangkan grafik hasil perhitungan pada gambar 6 dan 7 menunjukkan bahwa nilai *pressure drop* untuk fluida di sisi *shell* dan sisi *tube* masih dibawah batas yang dipersyaratkan yaitu <10 psi bahkan <0,1 psi.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Nilai *Pressure Drop Tube* { Δ PT (psi)} untuk *Baffle Cut* 3 cm, 4,3 cm dan 6,3 cm

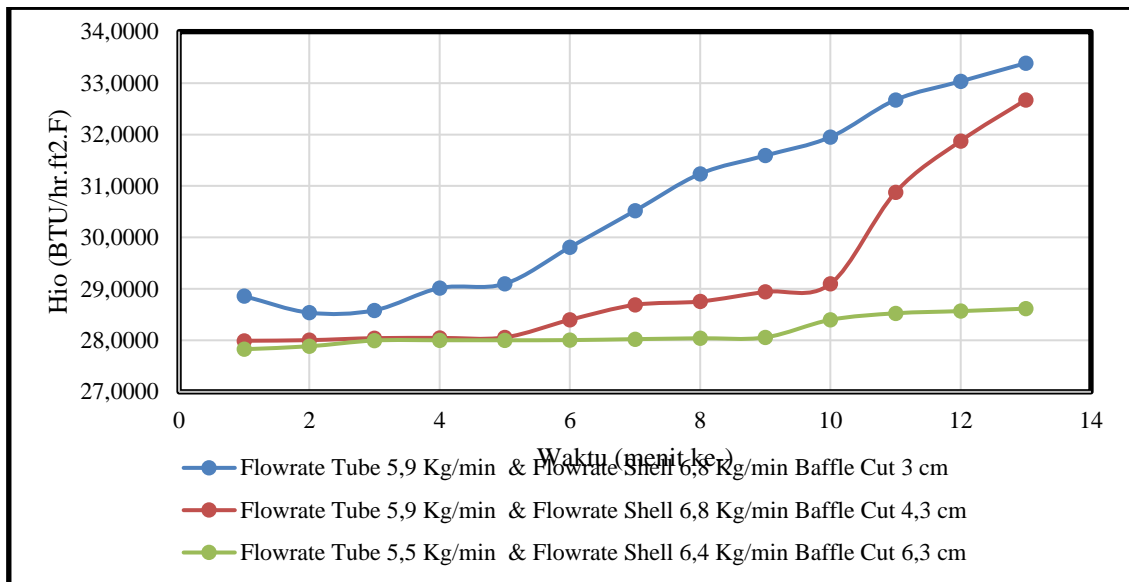
No	(Waktu) Menit ke	{ Δ PT (psi)} <i>Baffle Cut</i> 3 cm	{ Δ PT (psi)} <i>Baffle Cut</i> 4,3 cm	{ Δ PT (psi)} <i>Baffle Cut</i> 6,3 cm
1	1	0,0001428	0,0001452	0,0001279
2	2	0,0001264	0,0001452	0,0001278
3	3	0,0001264	0,0001452	0,0001275
4	4	0,0001422	0,0001455	0,0001274
5	5	0,0001418	0,0001449	0,0001273
6	6	0,0001379	0,0001441	0,0001269
7	7	0,0001364	0,0001434	0,0001266
8	8	0,0001348	0,0001430	0,0001265
9	9	0,0001341	0,0001426	0,0001265
10	10	0,0001325	0,0001418	0,0001264
11	11	0,0001302	0,0001356	0,0001264
12	12	0,0001287	0,0001333	0,0001264
13	13	0,0001279	0,0001302	0,0001264



Gambar 7. Grafik *Tube Side Pressure Drop* Δ Ps (psi) Untuk Variasi *Baffle Cut*

Tabel 7. Hasil Perhitungan Nilai Hio (BTU/hr.ft².F) untuk *Baffle Cut* 3 cm, 4,3 cm dan 6,3 cm

No	(Waktu) Menit ke	Hio (BTU/hr.ft ² .F) <i>Baffle Cut</i> 3 cm	Hio (BTU/hr.ft ² .F) <i>Baffle Cut</i> 4,3 cm	Hio (BTU/hr.ft ² .F) <i>Baffle Cut</i> 6,3 cm
1	1	28,8598	27,9922	27,8282
2	2	28,5386	28,0041	27,8853
3	3	28,5843	28,0436	27,9975
4	4	29,0169	28,0486	28,0025
5	5	29,0989	28,0580	28,0023
6	6	29,8092	28,3992	28,0053
7	7	30,5185	28,6899	28,0240
8	8	31,2364	28,7562	28,0413
9	9	31,5916	28,9429	28,0580
10	10	31,9514	29,0989	28,3992
11	11	32,6740	30,8787	28,5262
12	12	33,0333	31,8759	28,5690
13	13	33,3876	32,6740	28,6164



Gambar 8. Grafik Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (Hio) BTU/hr.ft².F Untuk Variasi *Baffle Cut* .

Baffle cut mempengaruhi besarnya ukuran *window* atau celah aliran fluida pada *shell*. Hal tersebut dikarenakan semakin besar potongan pada *baffle* maka semakin besar fluida yang dapat melewati *window* untuk sampai ke ujung bagian *shell*. Berdasarkan data hasil perhitungan didapatkan grafik hubungan antara *baffle cut* terhadap besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh yang

ditunjukkan pada gambar 8. Pada grafik tersebut terlihat ukuran *baffle cut* yang dipakai yaitu 17,5% sebesar 3 cm, 25% sebesar 4,3 cm dan 37% sebesar 6,3 cm dari diameter *shell* yang digunakan yaitu sebesar 17 cm. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa adanya hubungan berbanding terbalik antara ukuran *baffle cut* dan Hio tersebut yaitu semakin kecil ukuran potongan *baffle* atau *baffle cut* yang dipakai maka semakin besar nilai Hio yang didapatkan sehingga menyebabkan proses perpindahan panas terjadi lebih baik. Data hasil perhitungan yang didapatkan memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan, namun sudah cukup untuk membuktikan bahwa nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk potongan *baffle* yang lebih kecil memiliki nilai yang lebih baik ditunjukkan pada gambar 8 grafik hubungan antara *baffle cut* terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh (Hio) BTU/hr.ft².F. Ini dikarenakan semakin kecil potongan *baffle* yang digunakan maka semakin lama waktu retensi fluida yang berada pada sisi *shell* mengalir didalamnya hal ini menyebabkan proses perpindahan panas yang terjadi menjadi lebih luas dan merata.

Dari gambar 8 terlihat bahwa nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh, pada grafik tersebut koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk setiap variasi dapat dibedakan dengan garis warna yang berbeda. Untuk *baffle cut* 17,5% (3 cm) memiliki nilai hio yang paling tinggi dibandingkan dengan variasi potongan *baffle* lainnya. Di dalam penelitian Satvirpal dkk mereka membandingkan keenam desain variasi untuk menganalisis variasi koefisien perpindahan panas keseluruhan. Setelah membandingkan keenam variasi, Satvirpal dkk menemukan hubungan optimal antara *baffle cut* dan koefisien perpindahan panas keseluruhan. Hasil menunjukkan bahwa pada pemotongan tertentu tingkat perpindahan panas maksimum dan menemukan bahwa potongan *baffle* 25% adalah potongan optimal untuk *baffle segmental* tunggal, ini memberikan yang terbaik kombinasi kecepatan aliran di sisi *shell* dan aliran menghasilkan turbulensi yang cukup untuk koefisien perpindahan panas yang lebih baik. Pengkajian yang lebih dalam seperti yang pada saat ini dilakukan semata-mata untuk mengungkap potongan *baffle* bisa dioptimalisasikan lebih baik lagi dalam memberikan koefisien perpindahan panas yang besar, jika dilihat dari data dan grafik yang disajikan terbukti potongan *baffle* dapat diperkecil untuk menaikkan Hio tanpa mengabaikan kondisi proses seperti *pressure drop* dengan kondisi terkontrol. Pada penelitian ini didapatkan bahwa potongan 3 cm (17,5%) merupakan potongan yang disarankan jika ditinjau dari nilai hio nya.

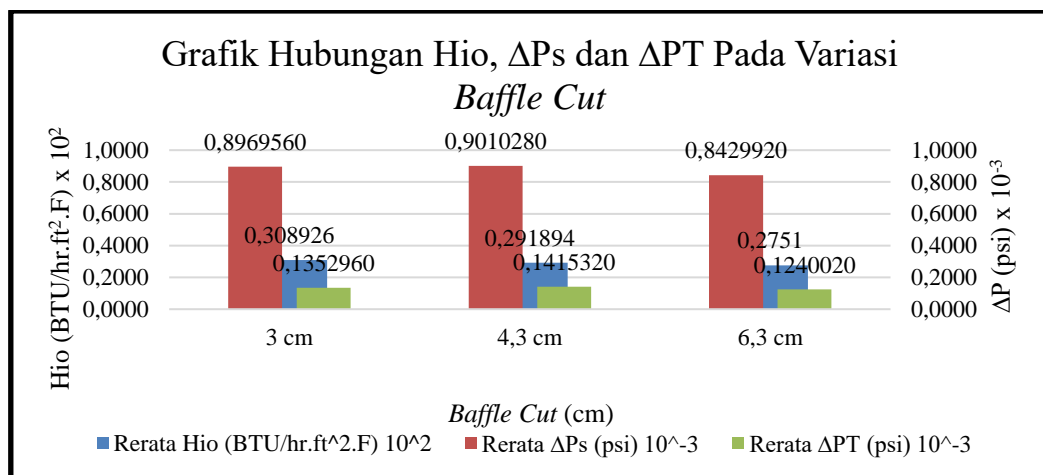
Proses pertukaran panas didalam *heat exchanger* tentu tidak akan terlepas dari pengaruh *flowrate* atau laju aliran *fluida* masuk panas dan dingin, untuk mengetahui lebih banyak tentang apa hubungan antara keduanya dalam masing-masing variasi *baffle cut* berikut disajikan pada table 6 diatas.

Pada tabel 6 disajikan data hasil perhitungan ratio laju alir terhadap nilai hio nya. Grafik tersebut menunjukkan adanya hubungan yang secara tidak langsung antara rasio laju alir fluida dingin dan panas terhadap nilai koefisien perpindahan panas keseluruhannya pada interval waktu tertentu yaitu tiap menitnya. Untuk variasi *baffle cut* yang digunakan yaitu 3 cm (17,5%), 4,3 cm (25%) dan 6,3 cm (37%), dari ketiga variasi tersebut didapati bahwa pada *baffle cut* 3 cm (17,5%) memiliki peningkatan nilai hio yang lebih baik jika dibandingkan dengan kedua *baffle cut* lainnya, hal ini dapat terjadi karena distribusi aliran fluida yang merata pada bagian *shell* yang memberikan kesempatan kontak antara kedua fluida secara tidak langsung menjadi semakin baik.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Nilai Ratio Laju Alir Fluida Terhadap Hio (BTU/hr.ft².F), ΔPs (psi) dan ΔPT (psi) Pada Kondisi yang Sama

No	Ratio Cf/Hf cm	Hio Baffle Cut 3 cm	Hio Baffle Cut 4,3 cm	Hio Baffle Cut 6,3 cm	ΔPs (psi) Baffle Cut 3 cm	ΔPs (psi) Baffle Cut 4,3 cm	ΔPs (psi) Baffle Cut 6,3 cm	ΔPT (psi) Baffle Cut 3 cm	ΔPT (psi) Baffle Cut 4,3 cm	ΔPT (psi) Baffle Cut 6,3 cm
1	1,1525	32,7078	27,9922	25,9416	0,0008338	0,0009310	0,0008954	0,0001619	0,0001452	0,0001193
2	1,1525	28,2666	28,0041	27,6195	0,0008169	0,0009310	0,0008603	0,0001252	0,0001452	0,0001266
3	1,1525	28,3118	28,0436	26,0993	0,0008167	0,0009309	0,0008679	0,0001252	0,0001452	0,0001188
4	1,1525	29,0169	28,0486	26,1041	0,0009004	0,0009309	0,0008679	0,0001422	0,0001455	0,0001188
5	1,1525	29,0989	28,0580	27,7353	0,0009026	0,0009182	0,0008408	0,0001418	0,0001449	0,0001261
6	1,1525	29,8092	28,3992	27,7383	0,0009137	0,0009026	0,0008388	0,0001379	0,0001441	0,0001257
7	1,1525	30,5185	28,6899	27,7568	0,0009182	0,0008981	0,0008369	0,0001364	0,0001434	0,0001254
8	1,1525	31,2364	28,7562	27,7739	0,0009249	0,0008937	0,0008349	0,0001348	0,0001430	0,0001253
9	1,1525	31,5916	28,9429	27,7905	0,0009249	0,0008892	0,0008310	0,0001341	0,0001426	0,0001252
10	1,1525	31,9514	29,0989	28,1284	0,0009271	0,0008825	0,0008271	0,0001325	0,0001418	0,0001252
11	1,1525	32,6740	30,8787	28,2542	0,0009271	0,0008736	0,0008212	0,0001302	0,0001356	0,0001252
12	1,1525	33,0333	31,8759	28,2966	0,0009271	0,0008692	0,0008193	0,0001287	0,0001333	0,0001252
13	1,1525	33,3876	32,6740	28,3436	0,0009271	0,0008625	0,0008173	0,0001279	0,0001302	0,0001252
Rata-rata	1,1525	30,8926	29,1894	27,5063	0,0008970	0,0009010	0,0008430	0,0001353	0,0001415	0,0001240

Untuk *baffle cut* 3 cm (17,5 %) pada *flowrate* 5,5 kg/min nilai *pressure drop* nya akan lebih kecil jika dibandingkan dengan *flowrate* 5,9 kg/min yang cenderung lebih besar, ini juga berlaku untuk kedua *baffle cut* lainnya. Nilai *pressure drop* pada *flowrate* 5,5 kg/min berkisar pada angka 0,00012 psi sedangkan nilai *flowrate* 5,9 kg/min berada pada range 0,00012-0,00014, ini menunjukkan bahwa perbedaan *flowrate* pada peralatan penukar panas akan memberikan besarnya nilai *pressure drop* yang berbeda pula yaitu semakin besar *flowrate* pada sisi *tube* nya maka kecenderungan *pressure drop* nya akan semakin besar.



Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Hio (BTU/hr.ft².F), ΔPs (Psi) dan ΔPT (Psi) Pada Variasi *Baffle Cut*

Hubungan Antara *Baffle Cut* Terhadap Hio dan *Pressure Drop*

Dari grafik hubungan antara *baffle cut* dan koefisien perpindahan panas menyeluruh atau Hio berdasarkan data hasil perhitungan yang ditampilkan. Pada percobaan yang telah dilakukan didapatkan data hubungan antara *baffle cut* terhadap hio dan *pressure drop* terlihat pada tabel data hasil penelitian. Data penelitian tersebut kemudian digunakan untuk melakukan perhitungan koefisien perpindahan panas menyeluruh dan penurunan tekanan. Data hasil perhitungan *pressure drop* (ΔP) dan koefisien perpindahan panas menyeluruh (Hio) disajikan pada grafik 9. Perpindahan panas yang terjadi di dalam *shell and tube heat exchanger* dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain koefisien perpindahan panas menyeluruh (Hio) dan *pressure drop* atau penurunan tekanan yang keduanya dipengaruhi oleh parameter-parameter lainnya seperti *baffle*, ukuran potongan *baffle* atau *baffle cut*, sudut kemiringan *baffle* dan laju aliran fluida. Pada pembahasan kali ini parameter yang dibahas yaitu *baffle cut* atau potongan *baffle* yang sering juga dikenali sebagai *window* di dalam *shell and tube heat exchanger* tersebut.

Pada hasil perhitungan terlihat bahwa di menit ke-13 untuk variasi *baffle cut* 17,5% (3 cm), 25% (4,3 cm) dan 37% (6,3 cm) menghasilkan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh sebesar 33,3876 BTU/hr.ft².F, 32,6740 BTU/hr.ft².F dan 28,6164 BTU/hr.ft².F. Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk potongan 17,5%, 25% dan 37% tidak terlalu jauh berbeda hal ini karena nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh akan melandai seiring bertambahnya persentase potongan. Ini menunjukkan bahwa ada nilai batas potongan yang dianjurkan dalam suatu rancangan desain *shell and tube heat exchanger*. Jika kita merujuk pada literatur *Process Heat Transfer*, 2007 oleh R.W. Serth didalamnya dikatakan bahwa "For good flow distribution, the *baffle cut* should be between 15% and 45%.". Untuk distribusi aliran yang baik, *baffle cut* haruslah diantara 15% dan 45%. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan dari data penelitian yang didapatkan. Untuk memperbesar nilai koefisien perpindahan panas maka diperlukan potongan yang lebih kecil namun tidak lebih kecil dari ada 15%.

Pada gambar 9 hubungan antara variasi *baffle cut* terhadap hio, ΔP s dan ΔP T. Gambar 9 merupakan grafik batang yang dibuat dari komponen parameter hio dan ΔP sehingga lebih mudah untuk menarik kesimpulan dari uraian atau deskripsi panjang mengenai pengaruh *baffle cut* terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh dan penurunan tekanan pada *shell and tube heat exchanger* ini. Nilai hio dan ΔP yang digunakan merupakan rerata untuk setiap periode waktu (per menit) yang disajikan dalam bentuk grafik batang atau diagram batang (*bar*). Dari grafik 11 tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai hio atau koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk *baffle cut* 3 cm (17,5%) lebih besar dibandingkan dengan *baffle cut* 4,3 cm (25%) dan 6,3 cm (37%) berturut-turut yaitu sebesar 30,8926 BTU/hr.ft².F, 29,1894 BTU/hr.ft².F dan 27,5100 BTU/hr.ft².F. Semakin kecil ukuran *baffle cut* maka semakin besar nilai koefisien perpindahan panas menyeluruhnya dengan catatan *baffle cut* yang digunakan tidak boleh <15% dari diameter dalam *shell*. Sedangkan untuk *pressure drop* disisi *shell* akan cenderung lebih besar dibandingkan dengan *pressure drop* disisi *tube* hal ini dikarenakan luas penampang dan ruang yang terdapat disisi *shell* lebih besar jika dibandingkan dengan sisi *tube* dan selain itu juga sisi *shell* merupakan tempat dipasangnya *baffle* yang berfungsi sebagai penyangga dan pengubah arah aliran menjadi *crossflow* sehingga turbulensi dan gesekan antara fluida dan dinding tabung akan lebih sering terjadi. *Pressure drop* untuk sisi *shell* pada setiap variasi *baffle cut* berbeda, semakin kecil ukuran *baffle cut* yang digunakan maka kecenderungan nilai *pressure drop* akan semakin besar seperti pada *baffle cut* 3 cm sebesar $0,8969 \times 10^{-3}$ psi, *baffle cut* 4,3 cm sebesar $0,9010 \times 10^{-3}$ psi dan *baffle cut* 6,3 cm sebesar $0,8429 \times 10^{-3}$ psi. Sedangkan untuk *pressure drop* di sisi *tube* juga sama yaitu semakin kecil *baffle cut* yang digunakan maka kecenderungan *pressure drop* nya akan semakin besar seperti berikut nilai *pressure drop* di sisi *tube* adalah 3 cm sebesar $0,1352 \times 10^{-3}$ psi, 4,3 cm sebesar $0,1415 \times 10^{-3}$ psi dan 6,3 cm sebesar $0,1240 \times 10^{-3}$ psi. *Pressure drop* yang dihasilkan pada ketiga variasi *baffle cut* pada penelitian ini masih dikatakan baik dan memenuhi persyaratan yaitu <10 psi. Dari

penjelasan yang telah diuraikan dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin kecil *baffle cut* maka semakin besar kemungkinan terjadinya perpindahan panas menyeluruh dengan baik, penurunan tekanan akan berbanding terbalik terhadap besarnya potongan *baffle* di dalam peralatan *shell and tube heat exchanger*.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini diperoleh dan dapat disimpulkan bahwa pada potongan 3 cm (17,5%) merupakan potongan yang optimum dan disarankan. Terdapat hubungan berbanding terbalik antara ukuran *baffle cut* dan Hio yaitu semakin kecil ukuran *baffle cut* yang dipakai maka semakin besar nilai Hio dan hubungan berbanding terbalik antara *baffle cut* dan *pressure drop* pada sisi *shell* yaitu semakin kecil potongan *baffle* maka semakin besar penurunan tekanan yang terjadi dan *Pressure drop* yang dihasilkan pada ketiga variasi *baffle cut* pada penelitian ini masih dikatakan baik dan memenuhi persyaratan yaitu <10 psi. Pada potongan 3 cm (17,5%) ini merupakan *baffle cut* yang optimum digunakan dan *heat exchanger* beroperasi dengan baik karena memiliki nilai rerata koefisien perpindahan panas menyeluruh sebesar 30,8926 BTU/hr.ft².F dengan *pressure drop* di sisi *shell* dan *tube* yang masih jauh berada dibawah ambang batas yaitu 0,8969 x 10⁻³ psi dan 0,1352 x 10⁻³ psi dimana semakin kecil nilai ΔP maka semakin besar nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh pada *heat exchanger*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Putra Pratama, Qiram Ikhwanul. (2018). *The Effect of Baffle Spiral on The Performance of Heat Exchanger*. Universitas PGRI Banyuwangi: Jawa Timur
- Adhitiya Anggareza, Ichsani Djatmiko. (2013). *Simulasi Performansi Heat Exchanger Tipe Shell and Tube Dengan Double Segmental Baffle Terhadap Helical Baffle*. Institut Teknologi Sepuluh November (ITS): Surabaya
- Andre L.H. Costa, A.L.H. and Queiroz, E.M. (2008). *Design optimization of shell-and-tube heat exchangers*. Applied Thermal Engineering 28.
- Andriansyah, A. Ryan, dkk. 2016. *Analisa Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Baffle Pada Alat Penukar Kalor 202-C Terhadap Aliran Fluida dan Perpindahan Panas*. Jurnal Austenit. Vol.8. No. 2.Hal.1-8.
- Ariwibowo Hady T, dkk. (2012). *Studi Eksperimen Karakteristik Shell-And-Tube Heat Exchanger Dengan Variasi Jenis Baffle dan Jarak Antar Baffle*. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya: Surabaya.
- Arsana, I Made. (2018). *Simulasi Performansi Heat Exchanger Tipe Shell and Tube dengan Helical Baffle dan Disk and Doughnut Baffle*.Jurnal Teknik Mesin. 6 (1): 61-68.
- Arsana, I Made, dkk. (2016). *Optimization of The Single Staggered Wire and Tube Heat Exchanger*. Journal of Nopember Institute of Technology Surabaya (ITS).
- Azwinur. Zulkifli. (2019). *Kaji Eksperimental Pengaruh Baffle Pada Alat Penukar Panas Aliran Searah Dalam Upaya Optimasi Sistem Pendingin*. Jurnal Mesin Teknologi (SINTEK Jurnal), Vol 13 No (1) : 13-14
- Badrawada I Gusti Gede, dkk. (2019). *Simulasi Pengaruh Kemiringan Baffles pada Heat Exchanger Tipe Shell and Tube*.Jurnal MER-C. 2 (1): 31-38.
- Bakrie, M., Fatimura, M.,(2020).*Optimalisasi Rancangan Penukar Panas Shell-And-Tube (Tinjauan Literatur)*. Jurnal Redoks, Vol 5 No 2,1-25.<https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id>
- Bizzy I, R. Setiadi.(2013). *Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube dengan Program Heat Transfer Research Inc*. Jurnal Rekayasa Mesin. 13 (1): 67-77.

- Charate, T., Awate, N., Badgujar, J., & Jadhav, S. (2015). *Review of Literature on Heat Transfer Enhancement in Heat Exchangers*. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, (12), 198-201.
- Grewal, Satpirval Singh, dkk. (2018). *Study the Effect of Single Segmental Baffle cut on Overall Heat Transfer Coefficient in Shell and Tube Heat Exchanger*. GRD Journal for Engineering Vol 3 Issue 6 ISSN: 2455-5703
- Gustyawan, Esha Bayu. (2017). *Analisis Variasi Helical Baffle Pada Shell and Tube Heat Exchanger Berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Institut Teknologi Sepuluh November (ITS): Surabaya.
- Handoyo, Ekadewi Anggraini. (2001). *Pengaruh Penggunaan Baffle pada Shell-and-Tube Heat Exchanger: a case of linguistic corruption in Indonesian*. Linguistik Indonesia. 29 (2): 167-184.
- Ihsan, Sobar. (2017). *Perencanaan dan Analisa Perhitungan Jumlah Tube dan Diameter Shell pada Kondensor Berpendingin Air pada Sistem Refrigerasi NH₃*. Vol 29. No. 1: 13-17.
- Kern, D.Q. (1950). *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill. Japan:Tokyo.
- Marawijaya, Gede, dkk. (2019). *Prototype Heat Exchanger Type Shell and Tube Ditinjau dari Variasi Jarak Baffle dan Laju Alir Massa Udara Panas*. Jurnal Kinetika. Politeknik Negeri Sriwijaya, 10 (1): 18-23.
- Megazoni, Felipe C, dkk. (2019). *Thermal Performance of One-Pass Shell-And-Tube Heat Exchangers in Counter-Flow*. Fluid Dynamics, Heat and Mass Transfer • Braz. J. Chem. Eng. 36 (2). Brazil
- Mukherjee, R. (1992). *Use Double-Segmental Baffles in Shell-and-Tube Heat Exchangers*. Chem.Eng. Progress, 88 (11), 47–52.
- Mukherjee, R. (1996). *Don't Let Baffling Baffle You*. Chem. Eng. Progress, 92 (4), 72–79.
- Rizki, Oriza. (2012). *Simulasi Pengaruh Jumlah Sekat Pada Alat Penukar Kalor Tipe Selongsong dan Tabung*. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Serth .R.W. (2007). *Process Heat Transfer-Principles and Applications*. 1st Edition. Elsevier Academic Press.