



## Variasi Laju Aliran Air Panas Terhadap Efisiensi Dan Efektifitas Laju Perpindahan Panas Pada Alat *Heat Exchanger* Tipe *Shell And Tube* Dengan Aliran Searah

Angga Bahri Pratama<sup>a</sup>, Jandri Fan HT Saragi<sup>\*b</sup>, Al Qadry<sup>b</sup>, Eka Putra Dairi Boangmanalu<sup>b</sup>, Sahat<sup>b</sup>, Kadriadi<sup>c</sup>, Nural Fajri<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

<sup>b</sup> Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

<sup>c</sup> Program Studi Teknik Perawatan Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Industri Logam Morowali, Labota, Kec. Bahodopi, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah 94974, Indonesia

<sup>d</sup> Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Jambi, Jl. Lingkar Barat No. 1, Bagan Pete, Kota Baru, Jambi, 36361, Indonesia

### INFO ARTIKEL

#### Riwayat Artikel:

Diterima 1 November 23

Diterima setelah direvisi 20 November 23

Disetujui 30 November 23

#### Kata kunci:

Efisiensi

Efektifitas

Laju perpindahan panas

*Shell and tube*

**Abstract-** A heat exchanger is a tool used in the process of transferring fluid heat to another fluid without mass transfer and can be used as a heater or cooler. One type of heat exchanger that is often used in industrial processes is the shell and tube heat exchanger. The focus of this research is to calculate and analyze the efficiency and effectiveness of heat transfer rates in shell and tube-type heat exchangers with unidirectional flow. The data collection method is direct observation of the tool, with an interval of five minutes for each test. After research and analysis, the results of this research show that the effect of flow variations on  $V_h = \pm 800$  l/h,  $V_c = \pm 1000$  l/h which is made constant in the shell and tube type, can be concluded, the greater the hot flow rate, the greater the resulting temperature, namely with a temperature of  $47.7^\circ\text{C}$ , this also affects the time when data is collected, with the efficiency obtained being 146% and effectiveness = 0.50.

**Intisari-** Heat exchanger merupakan suatu alat yang digunakan dalam proses perpindahan panas suatu fluida ke fluida lain tanpa adanya perpindahan massa dan dapat digunakan sebagai pemanas atau pendingin. Salah satu jenis *heat exchanger* yang sering digunakan dalam proses industri adalah *shell and tube heat exchanger*. Fokus penelitian ini adalah menghitung dan menganalisis efisiensi dan efektifitas laju perpindahan panas pada alat penukar panas tipe *shell and tube* dengan aliran searah. Metode pengumpulan data adalah pengamatan langsung terhadap alat, dengan selang waktu lima menit untuk setiap pengujian. Setelah dilakukan penelitian dan analisis, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh variasi aliran pada  $V_h = \pm 800$  l/h,  $V_c = \pm 1000$  l/h yang dibuat konstan pada tipe *shell and tube*, dapat disimpulkan semakin besar laju aliran panas maka semakin besar temperatur yang dihasilkan yaitu dengan temperatur  $47.7^\circ\text{C}$ , hal ini juga mempengaruhi waktu pengambilan data, dengan efisiensi yang diperoleh sebesar 146% dan efektifitas = 0.50.

### 1. Pendahuluan

Alat penukar panas sering digunakan di banyak sektor industri, domestik, dan komersial untuk konversi dan pembangkit tenaga. Banyak

metode peningkatan perpindahan panas yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan desain dan pengoperasian penukar panas. Banyak jenis *heat exchanger* yang dibuat dan digunakan dalam pusat pembangkit tenaga, unit pendingin, unit pengkondisi udara, proses di industri, sistem

\* Corresponding Author:

E-mail: [jandrisaragi@polmed.ac.id](mailto:jandrisaragi@polmed.ac.id) (Jandri Fan HT Saragi)

turbin gas, dll. Dalam *heat exchanger* tidak terjadi pencampuran seperti halnya dalam suatu *mixing chamber*. Dalam radiator mobil misalnya, panas berpindah dari air yang panas yang mengalir dalam pipa radiator ke udara yang mengalir dengan bantuan *fan*.

Salah satu jenis *heat exchanger* yang sering digunakan dalam suatu proses di industri adalah *shell and tube heat exchanger*. Keunggulan *shell and tube heat exchanger* mempunyai efisiensi yang tinggi, memiliki luas permukaan besar pada ukuran volume kecil, memerlukan tempat yang minim dan mudah dirawat serta mudah beradaptasi pada hampir semua tipe *liquid chilling*.

Hakimul, dkk [3] juga melakukan penelitian mengenai efektivitas *heat exchanger*. Tujuan penelitian tersebut yaitu mendapatkan nilai efektivitas yang maksimal pada alat *heat exchanger* dengan membandingkan jenis fluida dingin yang digunakan. Berdasarkan penelitian menunjukkan bahwa *blending fluida propylene glycol – ethylene glycol* dengan perbandingan volume 1:1 didapatkan nilai efektivitas yang lebih baik daripada nilai efektivitas *blending fluida dietilene glicol - methanol*. Nilai efektivitas yang didapatkan sebesar 0,95 dengan nilai *NTU (Number Transfer Unit)* sebesar 3,307.

Menurut Cengel (1997), semua *heat exchanger*, perpindahan panas didominasi oleh konveksi dan konduksi dari fluida panas ke fluida dingin, dimana keduanya dipisahkan oleh dinding. Perpindahan panas secara konveksi dipengaruhi bentuk geometri *heat exchanger* dan tiga bilangan tak berdimensi, yaitu bilangan *Reynold*, bilangan *Nusselt* dan bilangan *Prandtl* fluida. Besar konveksi yang terjadi dalam suatu *double-pipe heat exchanger* akan berbeda dengan *cross-flow heat exchanger* atau *heat exchanger* lainnya, untuk beda temperatur yang sama.

Penelitian lain yaitu pengaruh perubahan kecepatan fluida pendingin dan pengaruh sifat fisik fluida pendingin terhadap koefisien perpindahan kalor pada penukar kalor *shell and tube* [2]. Air panas dialirkan melalui *tube* pada temperatur 60 °C dengan laju aliran 0,1245 kg/s, sedangkan fluida pendingin dialirkan melalui *shell* pada temperatur 42 °C dengan variasi laju aliran: 0,1012 kg/s; 0,1115 kg/s; 0,1285 kg/s; 0,1390 kg/s; 0,1495 kg/s dan 0,1590 kg/s, dengan penambahan laju aliran fluida pendingin laju perpindahan kalor yang terjadi akan meningkat sehingga koefisien perpindahan kalor keseluruhan juga akan meningkat. Pengaruh kecepatan terhadap efektivitas suatu *Shell and Tube Heat Exchanger* dengan udara sebagai fluida kerja [3], [4]. Dari hasil penelitian didapat bahwa efektivitas naik seiring dengan kenaikan kecepatan hingga suatu harga tertentu dan kemudian akan turun. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja alat penukar kalor untuk melihat pengaruh variasi laju aliran air panas terhadap efisiensi dan efektifitas laju perpindahan panas pada alat *heat exchanger* tipe *shell and tube* dengan aliran searah.

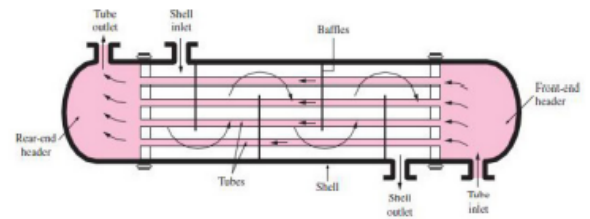
1.1 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor adalah ilmu yang mempelajari berpindahnya suatu energi (berupa kalor) dari suatu sistem ke sistem lain karena adanya perbedaan temperatur. Perpindahan kalor tidak akan terjadi pada sistem yang memiliki temperatur sama. Perbedaan temperatur menjadi daya penggerak untuk terjadinya perpindahan kalor. Sama dengan perbedaan tegangan sebagai penggerak arus listrik. Proses perpindahan kalor terjadi dari suatu sistem yang memiliki temperatur lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Keseimbangan pada masing – masing sistem terjadi ketika sistem memiliki temperatur yang sama. Perpindahan kalor dapat berlangsung dengan 3 (tiga) cara, yaitu:

- a. Perpindahan kalor konduksi
- b. Perpindahan kalor konveksi (Alami dan Paksa)
- c. Perpindahan kalor radiasi

1.2 Alat Penukar Kalor Tipe “Shell and Tube”

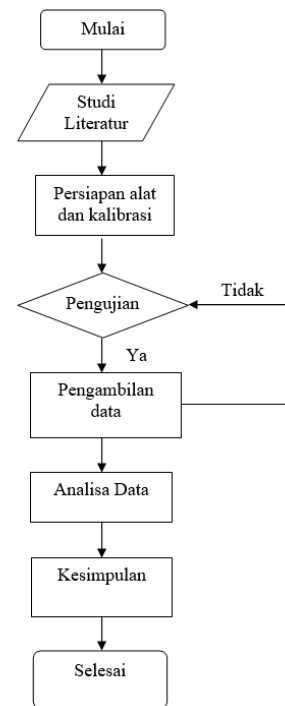
Alat penukar kalor tipe ini adalah salah satu jenis alat penukar kalor yang menurut konstruksinya dicirikan adanya sekumpulan “*tube*” yang dipasangkan di dalam “*shell*” berbentuk silinder di mana dua jenis fluida yang saling bertukar kalor mengalir secara terpisah, masing–masing melalui sisi “*tube*” dan sisi “*shell*”. Alat penukar kalor tipe ini sering digunakan di industri kimia. Satu fluida mengalir di dalam pipa, sementara fluida lain dialirkan dalam *shell*. Agar aliran dalam *shell* turbulen dan untuk memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi, maka pada *shell* dipasang penghalang (*baffle*).



Gambar 1. Alat penukar Kalor tipe “shell and tube”

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen kuantitatif, dengan cara mencari hal yang berhubungan antara variabel satu dengan yang lainnya.



Gambar 2. Flowchart penelitian

2.1 Tahapan penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan, diantaranya adalah:

1. Hal pertama yang dilakukan adalah memeriksa kondisi mesin dan lingkungan disekitarnya
2. Putar katup sumber air
3. Putar katup pada mesin untuk mengalirkan fluida
4. Buka katup *exchanger 2* secara bersamaan
5. Hidupkan LCD dan pilih *exchanger 2*
6. Hidupkan pompa lalu atur suhu pompa sampai 50°C konstan
7. Buka katup TT11 (*Thin*)
8. Atur *hot flow* dan *cold flow* sesuai dengan yang dibutuhkan
9. Pilih arah aliran (pada percobaan ini memakai aliran searah)
10. Ambil data pada yang terbaca di LCD setiap 5 menit sekali.
11. Data yang diambil adalah *Vh*, *Vc*, *Thin*, *Thout*, *Tcin* dan *Tcout*.
12. Selang waktu pengambilan data untuk masing-masing percobaan adalah 5 menit.
13. Sebelum mengambil data yang ditunjukkan di layar, fluida yang ada di mesin, dibiarkan mengalir ±5 menit yang dibantu dengan pompa.
14. Setelah mencapai waktu dan temperatur kerja, maka data penelitian bisa dicatat.

2.2 Lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium ELDA, Politeknik Negeri Medan. Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Heat Exchangers Pignat model BME/4000* dengan dimensi L (165 cm), P (90 cm), H (190 cm), sesuai yang tertera di gambar 3.



Gambar 3. Heat exchangers Pignat model BME/4000

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penelitian

Data hasil pengujian laju perpindahan panas pada alat *heat exchanger tipe shell and tube* dengan aliran searah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Data hasil penelitian aliran 800 l/h

Percobaan	±Vh (l/h)	Thin (°C)	Thout (°C)	±Vc (l/h)	Tcin (°C)	Tcout (°C)
1	800	46.3	40.9	1000	27.5	32.9
2	800	46.9	41.1	1000	27.4	32.7
3	800	47	41.2	1000	27.6	32.9

Berdasarkan tabel di atas, data untuk *Thin* kecenderungannya semakin lama, semakin naik temperatur yang dihasilkan. Hal ini juga berlaku untuk *Thout*, berbanding lurus dengan waktu pengambilan data.

Tabel 2. Data hasil penelitian 1000 l/h

Percobaan	±Vh (l/h)	Thin (°C)	Thout (°C)	±Vc (l/h)	Tcin (°C)	Tcout (°C)
1	1000	47.5	42.3	1000	27.6	37.3
2	1000	47.6	42.4	1000	27.4	33.3
3	1000	47.7	42.8	1000	27.4	33.4

Untuk percobaan dengan aliran 1000 l/h, kecendrungan data yang dihasilkan juga berbanding lurus dengan lamanya waktu pengambilan data.



Gambar 4. Pembacaan data hasil pengujian

Semakin lama data yang dibaca, maka semakin naik juga temperature yang dihasilkan. Percobaan ke 3, data *Thin* yang paling tinggi terbaca 47.7 °C untuk laju aliran air panas, sedangkan untuk laju aliran air panas yang tertinggi pada data 800 l/h, terbaca pada percobaan ketiga dengan *Thin* mencapai 47 °C.

3.2 Pembahasan

Percobaan 1

Temperatur rata-rata air panas

$$Qh = 800 \text{ l/h} = 0.0002216 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Qc = 1000 \text{ l/h} = 0.000277 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Th1 = 40.9 \text{ }^\circ\text{C (Thin)}$$

$$Th2 = 46.3 \text{ }^\circ\text{C (Thout)}$$

$$Tc1 = 27.5 \text{ }^\circ\text{C (Tcin)}$$

$$Tc2 = 32.9 \text{ }^\circ\text{C (Tcout)}$$

$$Th = \frac{Th1+Th2}{2} = \frac{40.9+46.3}{2} = 43.6$$

Lakukan cara yang sama untuk percobaan ke 2, dan 3

Interpolasi cp antara suhu 40 °C dan 45 °C

$$Cph: 45 \text{ }^\circ\text{C} = 4181$$

$$Cph: 40 \text{ }^\circ\text{C} = 4179$$

Menghitung Cp Air Panas (menggunakan interpolasi)

$$Cp = \frac{43.6-40}{45-40} = \{4181 - 4179\} + 4179$$

$$= 0.72 \times \{2\} + 4179$$

$$= 4180.4 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Lakukan cara yang sama untuk percobaan ke 2, dan 3.

**Interpolasi  $\rho$**  antara temperature 40 °C dan 45 °C

$$\rho = 45 \text{ }^\circ\text{C} = 990.2$$

$$\rho = 40 \text{ }^\circ\text{C} = 992.3$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{43.6-40}{45-40} = \{990.2 - 992.3\} + 992.3 \\ &= 0.72 \times \{-2.1\} + 992.3 \\ &= 990.7 \text{ kj/kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

**Laju aliran air panas (Qh)**

$$\dot{m}h = \rho \times Qh = 990.7 \text{ kg/m}^3 \times 0.0002216 = 0.2195$$

$$Qh = \dot{m} \times Cph \{Th_2 - Th_1\}$$

$$= 0.2195 \times 4180.4 \times \{46.3 - 40.9\}$$

$$= 0917.5 \times 5.4$$

$$= 4954.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lakukan cara yang sama untuk percobaan ke 2, dan 3.

**Temperatur rata-rata air dingin**

$$Th = \frac{Tc1+Tc2}{2} = \frac{27.7+32.9}{2} = 30.2$$

Lakukan cara yang sama untuk percobaan ke 2, dan 3.

**Interpolasi cp antara suhu 30 °C dan 35 °C**

$$Cph: 30 \text{ }^\circ\text{C} = 4178$$

$$Cph: 35 \text{ }^\circ\text{C} = 4179$$

**Menghitung Cp Air Dingin** (menggunakan interpolasi)

$$Cp = \frac{30.2-30}{35-30} = \{4179 - 4178\} + 4178$$

$$= 0.04 \times \{1\} + 4178$$

$$= 4178 \text{ kj/kg}^\circ\text{C}$$

Lakukan cara yang sama untuk percobaan ke 2, dan 3.

**Interpolasi  $\rho$**  antara temperature 40 °C dan 45 °C

$$\rho = 35 \text{ }^\circ\text{C} = 994.1$$

$$\rho = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 995.7$$

$$\rho = \frac{30.2-30}{35-30} = \{994.1 - 995.7\} + 994.1$$

$$= 0.04 \times \{-1.6\} + 994.1$$

$$= 994 \text{ kj/kg}^\circ\text{C}$$

**Laju aliran air dingin (Qc)**

$$\dot{m}c = \rho \times Qc = 994 \text{ kg/m}^3 \times 0.000277 = 0.2753$$

$$Qc = \dot{m} \times Cpc \{Tc_2 - Tc_1\}$$

$$= 0.2753 \times 4178 \times \{32.9 - 27.5\}$$

$$= 1150.2 \times 5.4$$

$$= 6211.08 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lakukan cara yang sama untuk percobaan ke 2, dan 3.

**Efisiensi**

$$\eta = \frac{Qc}{Qh} = \frac{Q \text{ dingin}}{Q \text{ panas}} = \frac{6211.08}{4954.5} \times 100\% = 146\%$$

## 4. Kesimpulan

Perpindahan panas pada fluida berlangsung cepat. Terlihat dari data pengamatan, temperatur yang awalnya tinggi, berubah dengan cepat menjadi temperatur yang lebih rendah. Perpindahan panas pada fluida, tergantung pada berapa tinggi suhu dan rendahnya suhu yang digabungkan. Antara suhu yang lebih tinggi dengan suhu yang lebih rendah saling meratakan satu sama lain. Setelah dilakukan penelitian dan analisa, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh variasi aliran terhadap  $V_h = \pm 800 \text{ l/h}$ ,  $V_c = \pm 1000 \text{ l/h}$  yang dibuat tetap pada tipe *shell and tube*, dapat disimpulkan, bawah semakin besar laju aliran alir panas, maka semakin besar temperatur yang dihasilkan yaitu dengan temperatur  $47.7 \text{ }^\circ\text{C}$ , hal ini juga berpengaruh terhadap waktu pada saat pengambilan data, dengan efisiensi yang didapatkan adalah 146% dan efektifitas = 0.50.

## Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada pihak-pihak yang sudah terlibat pada penelitian ini.

## Referensi

- [1] Handoyo, E.A, "Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Efektivitas Shell-and-Tube Heat Exchanger," in JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 2, No. 2, Oktober 2000: 86 – 90.
- [2] V.K Patel, R.V. Rao, Design Optmization of shell-and-tube-heat exchangerusing particle swarm optimization technique, Applied Thermal Engineering 30 (2010) 1417-1425
- [3] Harini, "Analisis Perhitungan Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Type Pipa Ganda Di Laboratorium Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta," Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ, Edisi terbit II– Oktober 2017.
- [4] Wicaksono, C., & Shell, T. (2017). Perancangan ECO Heat exchanger Shell and Tube. Jurnal Chemurgi, 01(1), 27-30.
- [5] Islamirrodliyah, Ika., Pramono, G.A. 2018. Efektivitas Alat Penukar Panas Shell and Tube 1-1 Sistem Blending Glisen – Air Sebagai Fluida Pendingin. Laporan Akhir. Prodi D3 Teknik Kimia Jurusan Teknk Kimia. Politeknik Negeri Malang. Malang.
- [6] Anwar, Khairil, "Efektivitas Alat Penukar Kalor Pada Sistem Pendingin Generator PLTA," in "MEKTEK" Tahun XIII No. 3, September 2011.
- [7] Rue Calmette BP, Pignat; *Heat Exchanger*., MP-2131186. Prancis: GENAS cedex Prancis, 2014
- [8] Saskia, R.V., Al-Arif, Z.S. 2016. Efektivitas Alat Penukar Panas Shell and Tube 1-1 Sistem Blending Propylen Glicol - Ethanol Sebagai Fluida Pendingin. Laporan Akhir. Prodi D3 Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia. Politeknik Negeri Malang. Malang
- [9] Puspita Dewi, Meike," Pengaruh Kecepatan Fluida Terhadap Nilai Efektivitas pada Heat Exchanger Tipe Shell and Tube," Undergraduate thesis, UNDIP,2016.