

---

## EFEKTIVITAS PENUKAR KALOR TIPE WL 110 MODEL CONSENTRIS TUBE MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

**Budiman Sudia<sup>1</sup>, Abd. Kadir<sup>2</sup>, Samhuddin<sup>3</sup>**

Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Halu Oleo Kendari

Email: budimansudia@rocketmail.com

### Abstrak

Penukar Kalor merupakan alat yang menyebabkan terjadinya perpindahan energi antara 2 fluida yang temperaturnya berbeda. Kajian ini bertujuan untuk menghitung efektivitas perpindahan panas penukar kalor tipe WL 110 Model *Consentric Tube* menggunakan Metode Elemen Hingga. Sebagai variabel bebas adalah debit air dingin (5 variasi) dan akan dianalisa pengaruhnya terhadap efektivitas perpindahan panas. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan penukar kalor tipe WL 110 Model *Consentric Tube*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa peningkatan debit aliran air dingin akan menurunkan efektivitas perpindahan panas.

*Kata Kunci : Laju aliran air dingin, efektivitas penukar kalor, metode elemen hingga.*

### Abstract

*Heat Exchanger is devices to caused energy exchange between two fluids that are at the different temperatures. The aims of this study is to calculate the heat transfer efectiveness of Heat Exchanger type WL 110 (Concetrice Tube) that using Finite Element Method. The independet variable was cold water mass flow rates with five variation and will be analyzed its effect to the heat transfer effectiveness of heat exchanger. Result of the analysis showed that the increasing of cold water mass flow rate will decreased the heat transfer effectiveness of head exchanger.*

*Keywords : Cold water mass flow rate, effectiveness of heat transfer, finite element method.*

## 1. Latar Belakang

Penukar kalor (*Heat Exchanger*) merupakan suatu alat yang memungkinkan terjadinya perpindahan energi dari dua fluida yang berbeda temperatur. Aplikasi penggunaan penukar kalor sangat luas di antaranya pada radiator kendaraan bermotor, sistem refrigerasi dan pengkondisian udara (AC), lemari es, instalasi pembangkit tenaga serta bidang – industri kimia.

Dari segi desain, terdapat berbagai macam tipe yang disesuaikan dengan aplikasi penukar kalor pada bidang tertentu. Efisiensi penukar

kalor sangat penting untuk menunjang fungsi teknis penukar kalor tersebut pada bidang-bidang aplikasi keteknikan. Beberapa faktor yang menentukan efisiensi (efektivitas) penukar kalor diantaranya: laju aliran massa dari fluida panas dan fluida dingin, temperatur fluida, konstruksi pipa-pipa penukar kalor serta vaktor pengotoran (Holman, 1997).

Metode untuk menganalisa efektivitas penukar kalor yang umum digunakan adalah metode LMTD (*Log Mean Temperatur Difference*) dan metode efektivitas penukar kalor (NTU

*Method*). Pada kajian ini akan digunakan metode numerik untuk menganalisa pengaruh variasi laju aliran fluida dingin terhadap distribusi temperatur serta efektivitas penukar kalor.

**Tinjauan Pustaka  
Penelitian Terdahulu**

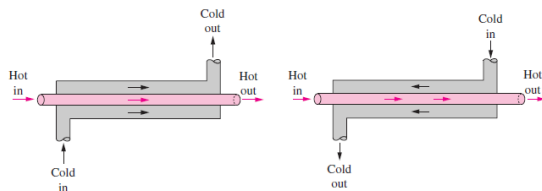
Handoyo (2012) meneliti kinerja penukar kalor tipe *shell and tube* menggunakan CFD untuk menganalisa karakteristik aliran pada sisi *shell*. Handoyo (2000) menganalisis pengaruh kecepatan aliran terhadap efektivitas penukar kalor tipe *shell and tube* dan menyimpulkan bahwa efektivitas penukar kalor akan naik seiring dengan peningkatan kecepatan aliran pada suatu harga tertentu kemudian akan mengalami penurunan.

Imran (2012) meneliti pengaruh variasi temperatur air panas masuk terhadap efisiensi penukar kalor WL 110 tipe plat yang menyimpulkan bahwa peningkatan temperatur fluida masuk akan meningkatkan efisiensi penukar kalor.

**Teori Dasar**

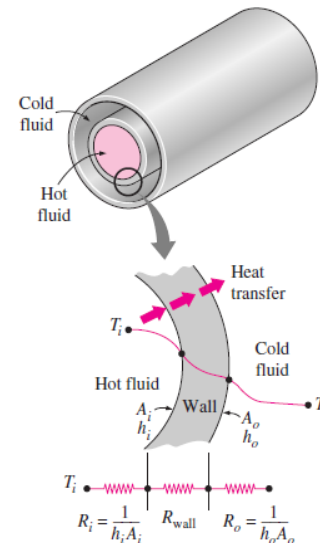
Penukar Kalor merupakan peralatan yang memungkinkan pertukaran energi (kalor) dari dua fluida yang berbeda temperaturnya (Holman, 1997). Perpindahan energi tersebut melalui mekanisme konduksi di dinding pipa/plat dan konveksi melalui aliran fluida (Holman, 1997).

Dari segi arah aliran fluidanya, penukar kalor umumnya dibagi menjadi 3 jenis yakni aliran searah (*uniflow*), aliran berlawanan (*counter flow*) dan aliran silang (Cengel, 1990).



Gambar 1. (a) Penukar kalor tipe aliran searah  
(b) Penukar kalor tipe aliran Berlawanan

Proses perpindahan panas pada penukar kalor meliputi konveksi dari fluida panas ke dinding pipa (partisi), konduksi melalui medium partisi dan konveksi dari partisi ke fluida dingin.



Gambar 2. Jaringan termal pada penukar kalor pipa ganda (Sumber: Cengel, 1990)

**Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh**

Tahanan termal total dihitung menggunakan persamaan: (Cengel, 1990)

$$R_{total} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o A_o}$$

Perpindahan panas antara kedua fluida dinyatakan dengan persamaan:

$$\dot{Q} = \frac{(\Delta T)_{ln}}{R_{total}} = UA(\Delta T)_{ln}$$

dimana:

$U$  = koefisien perpindahan panas menyeluruh

$(\Delta T_{ln}) = \log \text{ mean temperatur difference}$

Laju perpindahan panas aktual juga dapat dihitung berdasarkan analisa kesetimbangan energi (Cengel, 1990):

$$\dot{Q} = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h.in} - T_{h.out})$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c.out} - T_{c.in})$$

dimana pada kondisi ideal laju perpindahan panas akan sama antara fluida panas dan fluida dingin.

**Metode Elemen Hingga**

Prinsip kerja metode elemen hingga pada analisa penukar kalor ini sebagai berikut:

1. Idealisasi model penukar kalor (dibagi menjadi elemen-elemen).
2. Menentukan karakteristik elemen.
3. Mengumpulkan persamaan-persamaan elemen (model matematika/matriks) sistem fisik.
4. Menyelesaikan persamaan (matriks) untuk menentukan distribusi temperatur fluida panas maupun fluida dingin.

Dengan menggunakan prinsip metode elemen hingga, temperatur setiap titik dapat ditentukan.

Laju perpindahan panas maksimum ditentukan dari persamaan berikut (Cengel, 1990):

$$\dot{Q}_{maks} = C_{min} (T_{h.in} - T_{c.in})$$

Efektivitas perpindahan panas dihitung berdasarkan persamaan berikut (Cengel, 1990):

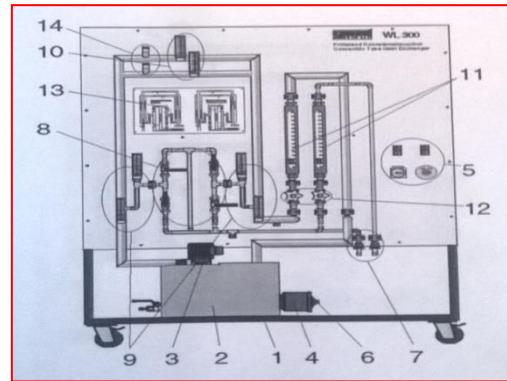
$$\epsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{maks}}$$

**2. Metodologi Penelitian**

Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas

Halu Oleo. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Concentric Tube Heat Exchanger* Tipe WL 300.

Untuk analisis penukar kalor menggunakan metode elemen hingga ini data yang dibutuhkan meliputi: jenis fluida yang digunakan, temperatur masuk fluida panas dan temperatur masuk fluida dingin serta debit aliran fluida panas dan fluida dingin.



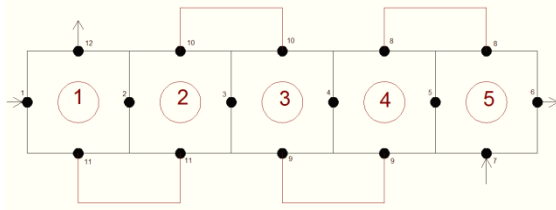
Gambar 3 . Penukar Kalor Tipe WL 300  
Sumber: Gunt (*Experiment Instruksion*)

**3. Hasil dan Pembahasan**

Tabel 1. Data Pengukuran

| No. | Debit Aliran (liter/h) |            | Temperatur (°C)   |                    |                   |                    |
|-----|------------------------|------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|     | Air Panas              | Air Dingin | Air Panas         |                    | Air Dingin        |                    |
|     |                        |            | T <sub>h.in</sub> | T <sub>h.out</sub> | T <sub>c.in</sub> | T <sub>h.out</sub> |
| 1   | 70                     | 50         | 49                | 44                 | 28,5              | 35,5               |
| 2   | 70                     | 60         | 49                | 43                 | 28,5              | 35,5               |
| 3   | 70                     | 70         | 49                | 42,5               | 28,5              | 35                 |
| 4   | 70                     | 80         | 49                | 42                 | 28,5              | 35,5               |
| 5   | 70                     | 90         | 49                | 41                 | 28,5              | 34,5               |

Idealisasi model penukar kalor tipe *counter flow* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Idealisasi model penukar kalor *counter flow* tipe *consetric tube*.

Luas permukaan penukar kalor tipe WL 110 = 0,0349 m<sup>2</sup>

Prinsip keseimbangan kalor pada elemen 1 adalah:

Kalor yang meninggalkan node 1 masuk elemen 1:

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_h c_{p,h} T_1$$

Kalor yang meninggalkan elemen 1 masuk ke titik node 2:

$$\dot{m}_h c_{p,h} T_1 - \frac{UA}{2} (T_1 + T_2 - T_{11} - T_{12}) = \dot{Q}_2$$

Kalor yang meninggalkan titik node 11 masuk elemen 1:

$$\dot{m}_c c_{p,c} T_{11} = \dot{Q}_{11}$$

Kalor yang meninggalkan elemen 1 masuk titik node 12:

$$\dot{m}_c c_{p,c} T_{11} - \frac{UA}{2} (T_{11} + T_{12} - T_1 - T_2) = \dot{Q}_{12}$$

Dengan cara yang sama persamaan keseimbangan energi seluruh elemen diperoleh:

$$\text{Misalkan: } \dot{m}_h c_{p,h} = W_1, \quad \dot{m}_c c_{p,c} = W_2$$

$$\frac{UA}{2} = C,$$

Persamaan lengkap untuk 12 titik nodal adalah:

$$W_1 T_1 = Q_1 \quad (\text{titik nodal 1})$$

$$(W_1 - C)T_1 - (W_1 + C)T_2 + CT_{11} + CT_{12} = 0 \dots (\text{titik nodal 2})$$

$$(W_1 - C)T_2 - (W_1 + C)T_3 + CT_{10} + CT_{11} = 0 \dots (\text{titik nodal 3})$$

$$(W_1 - C)T_3 - (W_1 + C)T_4 + CT_9 + CT_{10} = 0 \dots (\text{titik nodal 4})$$

$$(W_1 - C)T_4 - (W_1 + C)T_5 + CT_8 + CT_9 = 0 \dots (\text{titik nodal 5})$$

$$(W_1 - C)T_5 - (W_1 + C)T_6 + CT_7 + CT_8 = 0 \dots (\text{titik nodal 6})$$

$$W_2 T_7 = Q_7 \quad (\text{titik nodal 7})$$

$$CT_5 + CT_6 + (W_2 - C)T_7 - (W_2 + C)T_8 = 0 \dots (\text{titik nodal 8})$$

$$CT_4 + CT_5 + (W_2 - C)T_8 - (W_2 + C)T_9 = 0 \dots (\text{titik nodal 9})$$

$$CT_3 + CT_4 + (W_2 - C)T_9 - (W_2 + C)T_{10} = 0 \dots (\text{titik nodal 10})$$

$$CT_2 + CT_3 + (W_2 - C)T_{10} - (W_2 + C)T_{11} = 0 \dots (\text{titik nodal 11})$$

$$CT_1 + CT_2 + (W_2 - C)T_{11} - (W_2 + C)T_{12} = 0 \dots (\text{titik nodal 12})$$

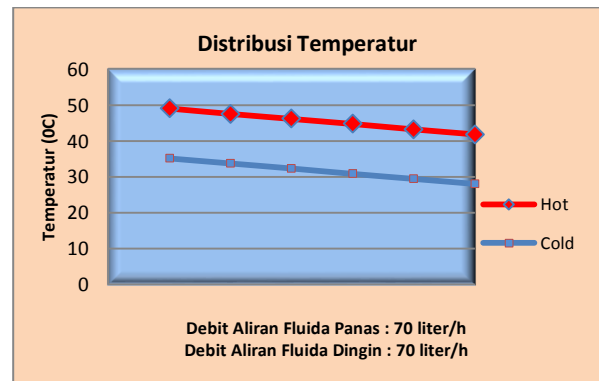
Dalam bentuk matriks 12 x 12 diselesaikan dengan menggunakan Ms. Excel dan berlaku hubungan :

$$[a][T] = [b]$$

$$[T] = \{ \text{invers } [a] \} \times [b]$$

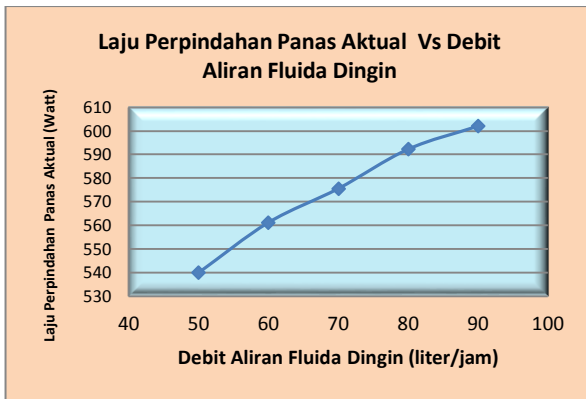
Dengan memasukkan nilai – nilai W1, W2, dan C, ditribusi temperatur (T1 – T12) dapat ditentukan, dimana: koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk penukar kalor dengan fluida air dipilih: 1200 W/m<sup>2</sup>.°C (Cengel: 1990, dan Holman : 1997).

Distribusi temperatur untuk kondisi  $\dot{V}_h = 70 \frac{\text{liter}}{\text{jam}}$ , dan  $\dot{V}_c = 70 \frac{\text{liter}}{\text{jam}}$  di tunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Distribusi temperatur

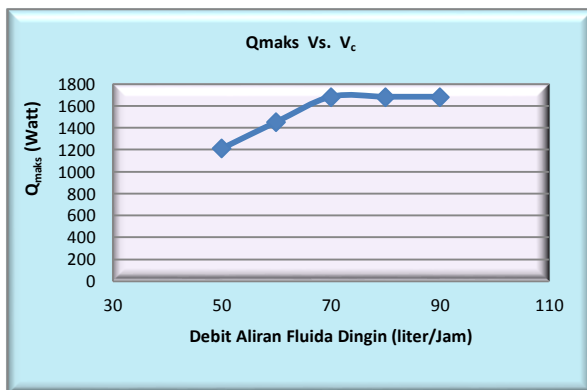
Pengaruh variasi debit aliran fluida dingin terhadap laju perpindahan panas aktual ditunjukkan pada Gambar 6.



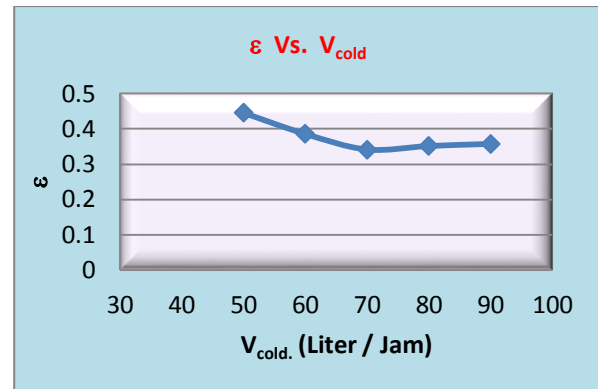
Gambar 6. Pengaruh variasi debit aliran fluida dingin terhadap laju perpindahan panas aktual.

Dari gambar 6 di atas terlihat bahwa peningkatan debit aliran fluida dingin dapat meningkatkan nilai laju perpindahan panas maksimum. Hal ini disebabkan karena peningkatan debit aliran juga akan meningkatkan laju aliran massa fluida dingin yang dapat meningkatkan laju perpindahan panas aktual.

Pengaruh peningkatan debit aliran fluida dingin terhadap laju perpindahan maksimum dan efektivitas penukar kalor ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Pengaruh variasi debit aliran fluida dingin terhadap laju perpindahan panas maksimum



Gambar 8. Pengaruh variasi debit aliran fluida dingin terhadap laju Efektivitas penukar kalor

Dari gambar 7 pengaruh variasi debit aliran fluida dingin terhadap laju perpindahan panas maksimum terlihat bahwa meningkatnya debit aliran fluida dingin memungkinkan terjadi peningkatan laju perpindahan panas maksimum hingga mencapai harga tertentu. Pada kondisi ini peningkatan debit aliran fluida dingin tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai laju perpindahan panas aktual lagi. Peningkatan debit aliran fluida dingin tidak serta merta dapat meningkatkan efektivitas perpindahan panas seperti terlihat pada gambar 8. Ini menunjukkan bahwa kapasitas kalor yang dapat diserap oleh fluida dingin tidak diimbangi lagi oleh kapasitas kalor fluida panas untuk melepaskan kalor.

#### 4. Kesimpulan

Efektivitas penukar kalor tipe konsetris tube kondisi aliran berlawanan dengan variasi debit aliran fluida dingin efektivitas perpindahan panas maksimum pada debit aliran fluida panas 70 liter/jam dan debit fluida dingin 50 liter/jam sebesar 0,45.

**Daftar Pustaka**

- Egeten F.S., Sappu P.F., Maluegha B., 2014, Efisiensi Efektif High Pressure Heater (HPH) di PLTU Asam – Asam, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam*, Vol. 03 No.2. Pp 76 – 82.
- Efektivitas Penukar Kalor Tipe Plat P41 73 di PLTP LahendongUnit, *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi, Vol.3 No.1
- Gunt, 2012. *Eksperiment Instruction WL 110.05 PC Data Acquisition*, Hamburg, Jerman.
- Handoyo A.E., 2000. Pengaruh Tebal Isolasi Termal terhadap Efektivitas Plate Heat Exchanger. *Jurnal Teknik Mesin*, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, Vol. 2 No. 2, hal. 73 – 78.
- Handoyo A.E., 2000. Pengaruh Kecepatan Aliran terhadap Efektivitas Shell and Tube Heat Exchanger. *Jurnal Teknik Mesin*, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, Vol. 2 No. 2, hal. 86 – 90.
- Holman J.P., 1997, *Perpindahan Kalor*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Imran A., 2012, *Analisa Pengaruh Perubahan Temperatur Air Panas Masuk Terhadap Efisiensi Plat Heat Exchanger WL 110*, Skripsi, Universitas Halu Oleo Kendari.
- Pranata D., 2011, *Efektivitas Penukar Kalor Counter Flow Tipe Consentrice Plat Heat Exchanger*, Skripsi, Universitas Halu Oleo Kendari.
- R.W. Lewis, P. Nithiarasu and K. N. Seetharumu, 2004, *Fundamental of The Finite Element Method for Heat and Fluid Flow*, John Wiley and Sons, Ltd.
- Sudia B., 2016, Pengaruh Variasi Debit Aliran Fluida Dingin Terhadap Efektivitas Penukar Kalor Tipe Concentric Tube dengan Metode NTU, *Dinamika*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Halu Oleo, Vol. 7. No. 2.
- Yunus A. Cengel, 1990, *Heat Transfer A Practical Approach*, Second Edition.