

KAJI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK PENUKAR KALOR KOMPAK DENGAN AIR SEBAGAI FLUIDA PANAS

Ir. F. Akhari, M. Ikhwan, Ir. Adly Havendri, M.Sc.

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Andalas

ABSTRAK

Perpindahan panas merupakan proses perpindahan energi yang terjadi pada suatu sistem yang mempunyai gradien temperatur. Perpindahan energi dapat terjadi dengan atau tanpa medium perantara seperti halnya penukar panas. Penukar panas yang mempunyai perbandingan luas terhadap volume lebih besar dari $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ disebut dengan penukar panas kompak. Pada penelitian ini digunakan penukar panas kompak (*compact heat exchanger*) dengan air sebagai fluida panas dan udara sebagai fluida dingin.

Dari penelitian yang dilakukan, panas aktual yang dihasilkan semakin besar untuk laju aliran massa udara yang semakin besar dan untuk perbedaan temperatur antara fluida panas dan fluida dingin yang semakin besar. Efektivitas alat penukar panas ini juga semakin besar untuk debit aliran air yang semakin besar dan cenderung konstan untuk laju aliran massa udara yang semakin besar.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Alat penukar panas/kalor merupakan suatu peralatan dimana terjadi perpindahan panas/kalor dari fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida yang temperaturnya lebih rendah. Penerapan prinsip-prinsip perpindahan panas untuk merancang alat-alat untuk mencapai suatu tujuan tertentu dalam aplikasi ilmu teknik sangatlah penting, karena dalam penerapannya berguna untuk mengarah ke pencapaian tujuan pengembangan mesin yang menghasilkan manfaat ekonomi.

Dalam perancangan dan pemilihan suatu penukar panas harus diperhatikan karakteristik-karakteristik yang dimiliki oleh suatu penukar panas, seperti panas yang dapat diperoleh, perubahan temperatur fluida, efektifitas dan penurunan tekanan.

1.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prinsip kerja dan karakteristik penukar panas, seperti perpindahan panas, efektifitas dan perubahan temperatur fluida.

1.3. Batasan Masalah

1. Perpindahan panas aktual pada alat penukar panas
2. Perubahan temperatur fluida kerja.
3. Efektivitas dari alat penukar panas

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Efektivitas

Efektivitas (ϵ) adalah perbandingan antara perpindahan panas nyata dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin. Perpindahan panas nyata dapat dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang didapatkan fluida dingin. Untuk penukar panas aliran sejajar:

$$q = m_h c_p (T_{h1} - T_{h2}) = m_c c_p (T_{c2} - T_{c1}) \quad \dots\dots(2-1)$$

dan untuk penukar panas aliran silang:

$$q = m_h c_p (T_{h1} - T_{h2}) = m_c c_p (T_{c1} - T_{c2}) \quad \dots\dots(2-2)$$

Sedangkan untuk menentukan perpindahan panas maksimum bagi penukar panas itu, pertama-tama kita harus memahami bahwa nilai maksimum akan didapat bila salah satu fluida mengalami perubahan temperatur sebesar beda temperatur maksimum yang terdapat dalam penukar panas itu, yaitu selisih antara temperatur masuk fluida panas ($T_{h,m}$) dan fluida dingin ($T_{c,m}$). Fluida yang mungkin mengalami beda temperatur maksimum ini ialah yang nilai $m.c$ nya minimum, karena neraca energi mensyaratkan bahwa energi yang diterima oleh fluida yang satu mesti sama dengan energi yang dilepas oleh fluida yang satu lagi. Jadi, perpindahan panas maksimum yang mungkin dapat ditulis:

$$q_{max} = \left(mc_p \right)_{min} (T_{h,m} - T_{c,m}) \quad \dots\dots(2-3)$$

Jadi, efektivitas penukar panas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{q_{aktual}}{q_{max}} \quad \dots\dots(2-4)$$

dimana : m_h = laju aliran massa fluida panas (kg/s)

m_c = laju aliran massa fluida dingin (kg/s)

T_{h1} = temperatur fluida panas masuk ($^{\circ}\text{C}$)

T_{h2} = temperatur fluida panas keluar ($^{\circ}\text{C}$)

T_{c1} = temperatur fluida dingin masuk ($^{\circ}\text{C}$)

T_{c2} = temperatur fluida dingin keluar ($^{\circ}\text{C}$)

C_p = koefisien perpindahan panas (J/kg $^{\circ}\text{C}$)

2.2. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah suatu besaran tak berdimensi yang dipakai untuk menentukan kondisi aliran. Dengan bilangan Reynolds tersebut suatu aliran dapat diidentifikasi sebagai aliran laminar atau turbulen. Bilangan Reynolds didefinisikan sebagai:

$$Re = \frac{\rho V_{max} D_h}{\mu} \quad \dots\dots(2-5)$$

D_h adalah diameter hidrolis, yaitu suatu besaran diameter yang ekuivalen dengan diameter fisik sebenarnya jika diterapkan pada penampang lingkaran. Diameter hidrolis dipakai pada perhitungan untuk penukar panas yang tidak berpenampang lingkaran

Dengan mendefinisikan kecepatan massa G sebagai :

$$G = \rho V_{max} = \rho \frac{\dot{m}}{\rho A_b} \frac{A_b}{A_g} = \frac{\dot{m}}{A_g} \quad \dots\dots(2-6)$$

sehingga :

$$G = \frac{\dot{m}}{\sigma A_b} \quad (\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}) \quad \dots\dots(2-7)$$

A_b adalah luas penampang arah tegak lurus aliran udara, sedangkan $A_{min} = A_g$ adalah luas penampang aliran bebas minimum yang tegak lurus arah aliran udara. σ adalah perbandingan luas penampang aliran bebas minimum terhadap luas penampang arah tegak lurus aliran udara,

$$\sigma = \frac{A_g}{A_b} \quad \dots\dots(2-8)$$

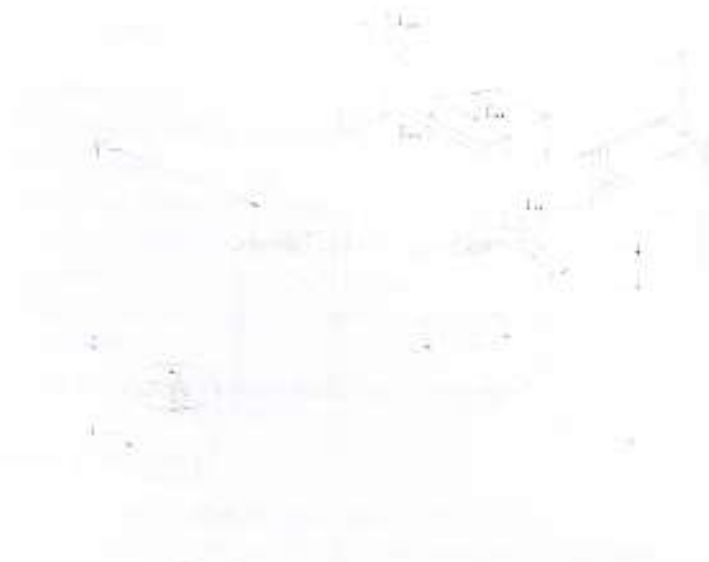
sehingga besarnya bilangan Reynolds dapat ditulis sebagai berikut :

$$Re = \frac{G D_h}{\mu} \quad \dots\dots(2-9)$$

3. METODOLOGI

3.1. Peralatan Pengujian

Gambar instalasi alat penukar panas dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Instalasi alat uji penukar panas

Keterangan Gambar :

- | | |
|--------------------------------------|---|
| * T_{in} = Temperatur air masuk | * T_{ak} = Temperatur air keluar |
| * T_{um} = Temperatur udara masuk | * T_{uk} = Temperatur udara keluar |
| * 1 = Fan | * 2 = Pemanas Listrik (<i>Heater</i>) |
| * 3 = Tanki air (<i>Reservoir</i>) | * 4 = Katup air |
| * 5 = Pompa | * 6 = Meteran Air (<i>Water Flow Meter</i>) |

Penukar panas yang diuji mempunyai susunan pipa selang-seling dengan jumlah total pipa sebanyak 49 buah, sedangkan spesifikasinya adalah :

- | | | | |
|----------------------|-------------|-----------------------|--------------------------|
| - Panjang | : 620 mm | - Lebar | : 420 mm |
| - Bahan sirip | : Alumunium | - Jarak antar sirip | : 2 mm |
| - Jumlah sirip | : 296 buah | - Panjang sirip | : 420 mm |
| - Tebal sirip | : 1 mm | - Bahan pipa | : Tembaga |
| - Diameter luar pipa | : 10 mm | - Diameter dalam pipa | : 8 mm |
| - Jumlah garis pipa | : 17 baris | - Jumlah kolom pipa | : 3 kolom |
| - Panjang pipa | : 720 mm | - Luas bidang kontak | : 16,1308 m ² |

3.2. Parameter Yang Diuji

- Volume aliran air (m³)
- Waktu yang dibutuhkan untuk volume aliran air (detik)
- Temperatur air masuk dan air keluar (T_{in} dan T_{out})
- Temperatur udara masuk dan udara keluar ($T_{u,m}$ dan $T_{u,out}$)
- Kecepatan udara (V)

3.3. Alat Ukur dan Instrumentasi1. *Flowmeter* dan *Stopwatch*

Dipakai bersamaan untuk mengukur debit aliran. *Flowmeter* digunakan untuk mengukur volume aliran air dan *stopwatch* digunakan untuk mencatat waktu yang diperlukan air mengalir. Debit air dihitung dengan rumus :

$$\text{Debit} = \frac{\text{volume}}{\text{waktu}}$$

2. Termometer

Digunakan untuk mengukur temperatur fluida kerja masuk dan fluida kerja keluar

3. Pengatur tegangan (*Slide Regulator*)

Untuk memvariasikan laju aliran udara masuk

4. Termostat

Alat untuk menjaga temperatur air agar tetap konstan

5. *Air Flow Meter*

Alat untuk mengukur kecepatan udara

3.4. Prosedur Pengujian

- Hubungkan pemanas dengan jala-jala listrik.
- Pertahankan temperatur air dengan menggunakan termostat.
- Hubungkan pompa dan fan dengan jala-jala listrik
- Atur tegangan listrik fan dengan *slide regulator*.

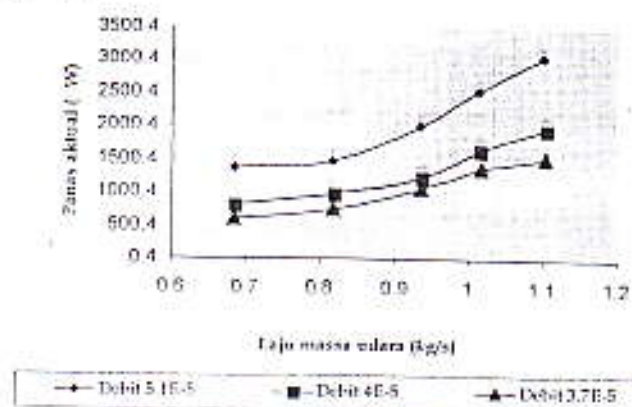
5. Atur bukaan katup aliran air pada bukaan $\frac{1}{2}$.
6. Data dicatat dan ditabelkan untuk kecepatan udara pertama dan dilakukan untuk beberapa laju aliran massa udara.
7. Ulangi langkah 1-6 untuk bukaan katup $\frac{3}{4}$ dan penuh.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perpindahan Panas

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa perpindahan panas akan terjadi apabila ada perbedaan temperatur pada dua fluida. Panas akan pindah ke fluida yang temperaturnya lebih rendah. Udara sebagai fluida dingin akan menerima panas dari air yang berfungsi sebagai fluida panas, sehingga udara akan mengalami kenaikan temperatur sesuai dengan jumlah panas yang dilepaskan air. Dari hasil pengujian, panas aktual yang didapat berbanding lurus dengan laju aliran massa udara untuk debit aliran yang sama. Semakin besar laju aliran massa udara maka panas aktual yang didapat juga semakin besar.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran fluida panas maka panas aktual juga semakin besar, seperti terlihat pada Gambar 4.1. Hal ini dapat dijelaskan bahwa laju aliran massa berbanding lurus dengan perpindahan panas. Harga terbesar terjadi laju aliran massa udara 1,1 kg/s dan debit aliran air $5,1E-5$, yaitu 3055 W.

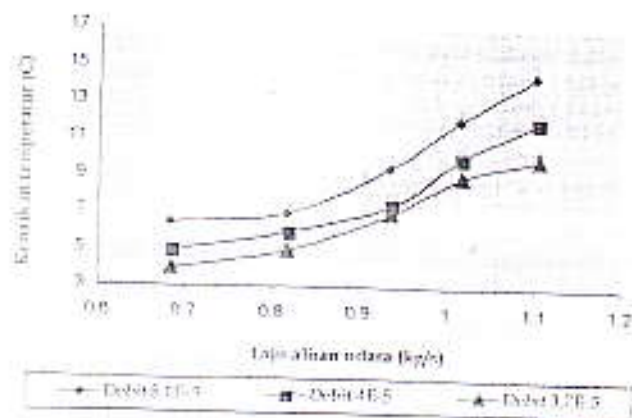


Gambar 4.1. Perpindahan panas aktual untuk debit aliran air yang berbeda.

4.2. Perubahan Temperatur

Seperti halnya panas aktual yang dihasilkan, perubahan temperatur fluida panas juga semakin besar untuk laju aliran massa udara. Hal ini dapat dijelaskan bahwa perubahan temperatur dari fluida berbanding lurus dengan perpindahan panas yang terjadi, jadi semakin besar perubahan temperatur fluida maka perpindahan panas juga semakin besar.

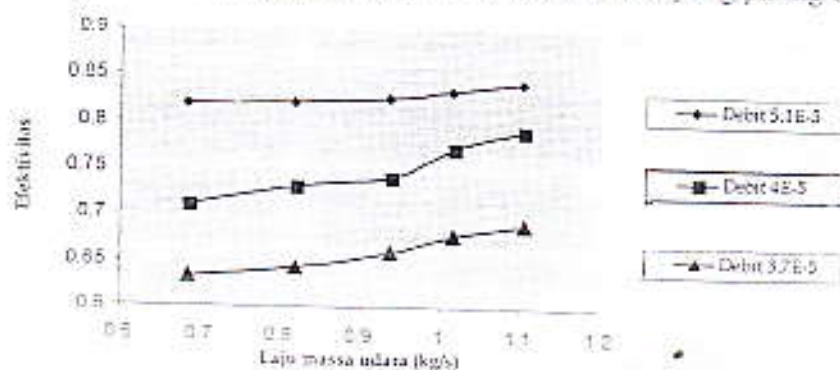
Dengan meningkatnya debit aliran air, maka perubahan temperatur juga menunjukkan kecenderungan yang sama dengan perpindahan panas, seperti Gambar 4.2.



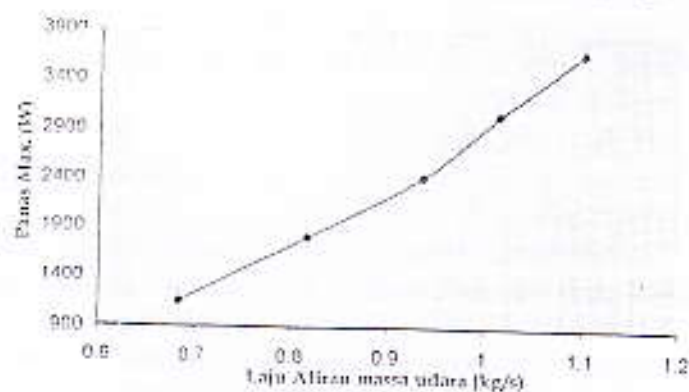
Gambar 4.2. Peningkatan temperatur untuk debit aliran air yang berbeda

4.3. Efektivitas Penukar Panas

Efektivitas berfungsi untuk melihat kemampuan penukar panas dalam memindahkan panas. Dari penelitian dapat dikatakan bahwa efektivitas cenderung mendekati konstan seperti Gambar 4.3. Hal ini dikarenakan perpindahan panas maksimum berbanding lurus dengan laju aliran massa udara untuk beberapa debit aliran air, seperti terlihat pada Gambar 4.4, untuk debit air yang paling besar.



Gambar 4.3. Efektivitas penukar panas untuk debit aliran yang berbeda



Gambar 4.4. Perpindahan panas maksimum pada debit aliran air 5.1E-5

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Perpindahan panas aktual yang terjadi akan semakin meningkat dengan meningkatnya laju aliran massa udara.
2. Perpindahan panas aktual sedikit meningkat dengan semakin meningkatnya debit aliran air.
3. Perubahan temperatur juga semakin meningkat dengan semakin meningkatnya laju aliran massa udara dan debit aliran air.
4. Perpindahan panas aktual dan perubahan temperatur yang terbesar terjadi pada laju aliran massa udara dan debit aliran air yang besar.
5. Perpindahan panas maksimum juga semakin meningkat dengan semakin meningkatnya laju aliran massa udara.
6. Efektivitas penukar panas cenderung konstan dan meningkat untuk debit aliran air yang semakin besar.

5.2. Saran

1. Pemanas air sebaiknya ditambah agar tidak terlalu lama menunggu untuk melakukan pengujian, karena pada penelitian ini menggunakan 2 buah pemanas dengan daya 1000 watt.
2. Agar menggunakan alat-alat ukur yang lebih baik seperti menggunakan data akusisi untuk pengukuran temperatur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana dengan dibiayai oleh dana SPP-DPP Lembaga Penelitian Universitas Andalas. Terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Penelitian Universitas Andalas, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unand dan semua pihak terkait dengan penelitian ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bayazitoglu, Yildiz, *Element of Heat Transfer*, Mc Graw Hill, 1988.
2. Incropera, Frank P., *Introduction To Heat Transfer*, John Wiley & Sons, 1990.
3. Holman, J. P., *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta, 1991.
4. Keith, Frank, *Principles of Heat Transfer*, Harper & Row, 1973.
5. Kreider, Jan F., and Rabl, Ari, 1994, *Heating and Cooling of Buildings*, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
6. Sitompul, Tunggul M, *Alat Penukar Kalor*, PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta, 1993.
7. Taborek, J., Hewit, G.F., and Afgan, N., 1983, *Heat Exchanger Theory and Practice*, Hemisphere Publishing Corp., McGraw-Hill, New York.
8. W.M. Kays, *Compact Heat Exchangers*, Mc Graw Hill Book Company, London, 1964.