

Rancang Bangun dan Studi Eksperimen Alat Penukar Panas untuk Memanfaatkan Energi *Refrigerant* Keluar Kompresor AC sebagai Pemanas Air pada $ST/D=8$ dengan Variasi Volume Air

Fajri Chairbowo dan Djatmiko Ichسانی

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: djatmiko@me.its.ac.id

Abstrak— Kebutuhan masyarakat terhadap air hangat semakin meningkat. Hal itu disebabkan air hangat mempunyai berbagai manfaat. Air hangat efektif dalam melarutkan lemak ataupun sabun, serta air hangat dapat melancarkan peredaran darah manusia ketika digunakan. Demi efisiensi dalam penggunaan energi, penelitian yang dilakukan tentang pemanfaatan panas buang dari sistem refrigerasi. Sebelum panas dibuang ke lingkungan, *water heater* ditambahkan oleh penulis ke sistem refrigerasi yang peletakkannya sesudah proses kompresi. Dimana *water heater* akan mengambil kalor dari refrigeran pemanas yang melintas sesudah dari kompresor. Sistem refrigerasi yang digunakan mempunyai daya 1 HP (746 Watt). Dalam penelitian ini sudah ditetapkan diameter *tube* dari *water heater* adalah 1 cm dengan jarak transversal setiap *tube* 8 cm, fluida yang mengalir di dalam *tube* adalah R-22 dan fluida diam yang berada di dalam tangki adalah air. Langkah awal dari penelitian ini adalah melakukan pengujian sistem AC *split* untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam perancangan *water heater*. Tahap selanjutnya adalah studi numerik dimana studi numerik dilakukan secara dua dimensi dengan kondisi *steady*, *incompressible*, dan laminar dengan prinsip *Computational Fluid Dynamics (CFD)*, menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6 untuk tahap pembuatan domain dan disimulasikan dengan perangkat lunak FLUENT 6.3.26. Tahap terakhir adalah eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui *water heater* yang dibuat sesuai dengan rancangan penulis. Kemudian *water heater* yang sudah dibuat, dipasang ke sistem AC *split*. Pada tahap eksperimen, penulis melakukan variasi terhadap volume air di tangki, yaitu 75 liter, 85 liter dan 100 liter. Hasil dari simulasi numerik menunjukkan fenomena perpindahan panas pada *water heater*, yang berupa kontur temperatur, kontur kecepatan dan *velocity vector* dalam bentuk dua dimensi tampak samping *water heater*. Hasil dari studi eksperimen ini menunjukkan nilai-nilai keseluruhan yang optimum untuk proses pemanasan air dengan *water heater*, yaitu pada pemilihan volume air 100 liter di *water heater* dengan nilai-nilai dari $W_{komp}=0,5004kW$ $Q_{evap}=2,27$ COP = 4,538.

Kata Kunci— *Water Heater*; Jarak *Tube*; Perpindahan Panas Transien; Konveksi Alami; Konveksi Internal *Tube*.

I. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi sebagian masyarakat sudah menggunakan perangkat pendingin udara atau *air conditioner* untuk mendinginkan temperatur di ruangan .

Di samping dapat mendinginkan temperature di ruangan, *air conditioner* juga menyebabkan temperature di luar ruangan (lingkungan) meningkat akibat panas yang dilepaskan oleh kondensor.

Kebutuhan terhadap air hangat dalam kehidupan sehari-hari cukup tinggi terutama di rumah sakit maupun penginapan. Air hangat dapat digunakan untuk membersihkan piring yang berlemak karena air hangat lebih efektif untuk melarutkan lemak dan sabun jika dibandingkan dengan menggunakan air dingin. Selain itu, air hangat juga digunakan untuk keperluan mandi. Hal itu disebabkan karena manfaat mandi dengan air hangat cukup banyak, salah satunya dapat melancarkan peredaran darah manusia. Terdapat jenis-jenis alat pemanas air di sekitar tetapi kebanyakan memerlukan daya yang tinggi dan biaya yang dikeluarkan pun cukup mahal.

Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat terhadap air hangat, penulis mencoba memanfaatkan panas yang terbuang atau *waste heat* dari *air conditioner* dengan menggunakan *water heater* untuk memanaskan air. *Water heater* ini dapat memanaskan air tanpa perlu daya tambahan karena prinsip kerja dari *water heater* ini adalah dengan memanfaatkan panas refrigeran yang keluar dari kompresor untuk memanaskan air di *water heater* sebelum masuk ke kondensor.

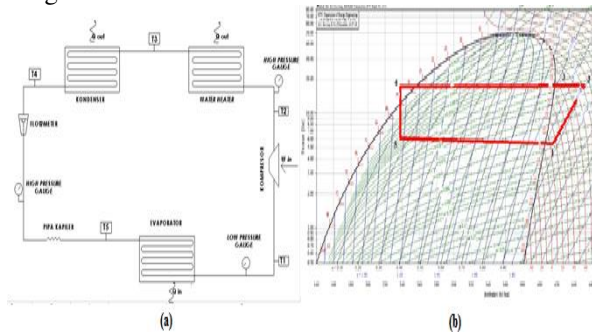
Kemudian penulis mencoba untuk mengembangkan model baru dengan menggunakan *transverse pitch* ($S_T/D = 8$) setiap *tube* di *water heater* dengan memvariasikan volume *water heater*. Hal tersebut bertujuan untuk membandingkan karakteristik perpindahan panas yang didapat menggunakan ($S_T/D = 8$) dengan diisi air penuh dari volume *water heater*, diisi air dengan pengurangan 20% dari volume total *water heater* dan diisi air dengan pengurangan 40% dari volume total *water heater*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Siklus Kompresi Uap

Siklus kompresi uap adalah sistem dimana fluida kerja mengalami proses penguapan dan pengembunan, serta proses kompresi dan ekspansi secara terus-menerus. Sistem pendinginan udara merupakan sistem yang

memanfaatkan siklus kompresi uap. Fluida kerja yang biasanya digunakan untuk memindahkan panas dalam siklus refrigerasi adalah refrigeran. Refrigeran menyerap kalor dengan proses evaporasi dan membuang kalor ke ruangan lain dengan proses kondensasi. Pada sistem ini terdapat dua alat penukar panas. Alat penukar panas yang pertama evaporator yang berfungsi menyerap panas dari ruangan dan memindahkannya ke fluida kerja (refrigeran). Alat penukar panas yang kedua adalah kondensator yang berfungsi untuk memindahkan panas yang diterima oleh fluida kerja ke udara luar. Kemudian alat penukar panas yang ditambahkan penulis adalah *water heater* yang berfungsi untuk menyerap energy panas refrigerant keluaran kompresor. Secara skematis siklus kompresi uap yang diujikan bisa digambarkan sebagai berikut.



Gambar 1. (a) Skema pengujian sistem AC split penambahan water heater (b) P-h Diagram pengujian sistem AC split penambahan water heater

Untuk mengetahui performa dari alat sistem refrigerasi digunakan beberapa rumusan sebagai berikut:

1. Kerja kompresor

$$\dot{W}_{\text{komp}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_{\text{out_komp}} - h_{\text{in_komp}}) \quad (1)$$

2. Kalor yang dipas kondensator

$$\dot{Q}_{\text{kond}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_{\text{in_kond}} - h_{\text{out_kond}}) \quad (2)$$

3. Kapasitas pendinginan

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_{\text{out_evap}} - h_{\text{in_evap}}) \quad (3)$$

4. Kalor yang dilepas *water heater*

$$\dot{Q}_{\text{WH}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_{\text{in_WH}} - h_{\text{out_WH}}) \quad (4)$$

5. COP sistem refrigerasi

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{evap}}}{\dot{W}_{\text{komp}}} \quad (5)$$

B. Perpindahan Panas Transien

Dalam analisa perpindahan panas secara transien untuk memanaskan air perlu diketahui konsep persamaan energi terlebih dahulu. Pada kasus ini *energy balance* yang terjadi adalah energi yang diserap oleh air sama dengan energi yang diberikan oleh *water heater*. Berikut uraian rumus perpindahan panas transien yang digunakan

➤ Persamaan pada Panas yang Diberikan *Water Heater* (Q_{HE})

$$Q_{HE} = \frac{U.A}{2} \cdot \varphi \quad (6)$$

➤ Persamaan pada Panas yang Diserap oleh Air (Q_{water})

$$Q_{water} = m \cdot C_p \cdot \left(\frac{d\varphi}{dt}\right) \quad (7)$$

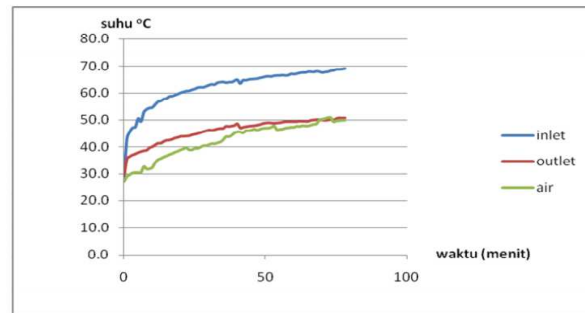
Sehingga setelah proses integral, didapatkan persamaan:

$$\ln \frac{\varphi(t)}{\varphi(t=0)} = -\frac{U.A}{2 \cdot m \cdot C_p} \cdot t \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \varphi(t) &= (T_{\text{tube inlet}} + 5) - T_{\text{water}}(t) \\ \varphi(t=0) &= (T_{\text{tube inlet}} + 5) - T_{\text{water awal}} \end{aligned}$$

C. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu telah dilakukan Daniel Santoso tentang pengaruh penambahan *water heater* di sistem refrigerasi AC *split* adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Pengaruh *water heater* terhadap temperatur fungsi waktu

Pada grafik diatas, *inlet* merupakan temperature masukkan *heat exchanger*, *outlet* merupakan temperature keluaran *heat exchanger*, dan air merupakan temperature air yang dipanaskan. Pada waktu awal, temperature inlet *heat exchanger* memiliki temperature tertinggi dibandingkan pada *outlet* dan temperature air. Pada grafik diatas menunjukkan bahwa semua temperatur memiliki trend naik. Pada grafik diatas juga menunjukkan bahwa temperatur air pada kondisi maksimum mendekati temperatur maksimum outlet *heat exchanger*.

III. URAIAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tiga tahap yaitu tahap perancangan *water heater*, tahap simulasi numerik, dan terakhir adalah tahap eksperimen.

A. Tahap Perancangan

Tahap perancangan *water heater* ini dimulai dari dengan mencari potensi energi panas refrigerant keluaran kompresor yang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air. Berikut adalah data yang diperoleh:

- Temperatur keluar kompresor = 90,2°C
- Tekanan *Discharge* = 233 psi

Langkah selanjutnya adalah menentukan kapasitas kalor yang akan diberikan *water heater* terhadap air. Pada perencanaan ini bahwa temperatur keluar dari *water heater* yang diharapkan adalah pada temperatur 50°C. Dimana *properties* keluaran kompresor sama dengan *properties* masukan *water heater*. Berikut adalah perencanaannya:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{WH}} &= \dot{m}_{\text{ref}}(h_{\text{in_WH}} - h_{\text{out_WH}}) \\ \dot{Q}_{\text{WH}} &= 0,0125 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (458,82 - 423,98) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

$$\dot{Q}_{\text{WH}} = 435,5 \text{ W}$$

Selanjutnya adalah menentukan waktu pemanasan air untuk mencapai temperatur 45°C dengan kapastias *water heater* yang telah ditentukan. Berikut adalah cara perhitungannya:

$$\begin{aligned} t &= \frac{m \cdot C_p \cdot (\Delta T)}{t} \\ t &= \frac{100 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (318 - 303) \text{ K}}{435,5 \frac{\text{J}}{\text{s}}} \\ t &= 14397,24 \text{ s} \\ t &= 4 \text{ jam} \end{aligned}$$

Langkah berikutnya adalah menentukan panjang *water heater*. Analisa perpindahan panas yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1) *Perpindahan Panas Konveksi pada Aliran Internal Pipa*

Tahapan untuk mencari koefisien konveksi aliran internal pipa adalah sebagai berikut:

- Mencari Properties Refererigant
Properties refererigant diperoleh dengan dari temperatur film yaitu temperatur masuk dan temperatur keluar. Berikut *properties* refrigeran yang didapatkan menggunakan software REFPROP

TABEL 1. PROPERTIES REFERERIGANT

7: R22: Specified state points										
	Temperature (°C)	Pressure (psia)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Therm. Cond. (W/m-K)	Viscosity (Pa-s)	Kin. Viscosity (cm²/s)	Therm. Diff. (cm²/s)	Prandtl
1	70.000	247.70	62.703	441.13	1.7661	0.014458	0.000014636	0.0023661	0.0025815	0.91857

- Menghitung Bilangan Reynolds
Persamaan untuk menghitung *Reynolds number* yaitu:

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu}$$

$$Re = \frac{4.0,0125 \frac{kg}{s}}{\pi \cdot 9,525 \times 10^{-3} m \cdot 1,48 \times 10^{-5} Pa \cdot s}$$

$$Re = 112603,1429$$

- Menghitung Bilangan Nusselt
Setelah diperoleh bilangan Reynolds > 2300 maka aliran pada internal pipa adalah turbulen. Maka persamaan yang digunakan untuk mencari bilangan Nusselt adalah

$$Nu = 0,0265 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{0,3}$$

$$Nu = 0,0265 \cdot (112603,1429)^{4/5} \cdot 0,916^{0,3}$$

$$Nu = 280,523$$

- Mencari Koefisien Konveksi Aliran Internal Pipa

Berikut adalah persamaan untuk menghitung aliran *internal* pada pipa:

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{D}$$

$$h_i = \frac{280,253 \cdot 0,0144 \frac{W}{m \cdot K}}{9,525 \times 10^{-3} m}$$

$$h_i = 425,77 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

2) *Perpindahan Panas Konveksi Alami*

Tahapan untuk mencari koefisien konveksi alami adalah sebagai berikut:

- Mencari Properties Air
Properties air diperoleh dengan dari temperatur rata-rata antara temperatur film *tube* dengan temperatur awal air sebelum dipanaskan. Berikut *properties* air yang didapatkan menggunakan software REFPROP

TABEL 2. PROPERTIES AIR

8: water: Specified state points										
	Temperature (°C)	Pressure (psia)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Therm. Cond. (W/m-K)	Viscosity (Pa-s)	Kin. Viscosity (cm²/s)	Therm. Diff. (cm²/s)	Prandtl
1	50.000	247.70	988.73	210.80	0.70302	0.64434	0.00054684	0.0055307	0.0015599	3.5455

- Menghitung Bilangan Rayleigh
Berikut adalah persamaan yang dipakai untuk menghitung *Rayleigh Number*:

$$Ra = \frac{g \beta (T_{\infty} - T_{air}) D^3}{\nu \alpha}$$

$$Ra = \frac{9,8 m^2/s \cdot 4,57 \times 10^{-4} K^{-1} \cdot (343 - 303) K \cdot (9,525 \times 10^{-3} m)^3}{5,54 \times 10^{-7} \frac{m^2}{s} \cdot 1,56 \times 10^{-7} \frac{m^2}{s}}$$

$$Ra = 1,79 \times 10^6$$

- Menghitung Bilangan Nusselt

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung *Nusselt Number*

$$Nu = C \cdot Ra^n$$

$$Nu = 0,48 \cdot (1,79 \times 10^6)^{0,25}$$

$$Nu = 17,56$$

- Mencari Koefisien Konveksi Alami
Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien konveksi alami

$$h_o = \frac{Nu \cdot k}{D}$$

$$h_o = \frac{17,56 \cdot 0,644 \frac{W}{m \cdot K}}{9,525 \times 10^{-3} m}$$

$$h_o = 1187,6 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

3) *Menghitung Overall Perpindahan Panas*

Berikut adalah *Overall Perpindahan Panas* yang terjadi pada pemanas air ini:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{443,88 \frac{W}{m^2 \cdot K}} + \frac{1}{1187,6 \frac{W}{m^2 \cdot K}}}$$

$$U = 323,11 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

4) *Menghitung Luas Pipa*

Berikut adalah persamaan untuk menghitung luas pipa:

$$A = \frac{\ln \frac{T_{hi+5} - T_{air akhir}}{T_{hi+5} - T_{air awal}}}{U \cdot t} \cdot \frac{2m \cdot Cp \text{ air}}{\ln \frac{95 - 45}{95 - 30} (C)}$$

$$A = \frac{323,11 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 1,3979,3 s}{2.100 kg \cdot 4,180 \frac{J}{kg \cdot C}}$$

$$A = 0,0417 m^2$$

5) *Menghitung Panjang Pipa*

Panjang pipa diperoleh dengan persamaan luas selimut tabung, yaitu :

$$L = \frac{A}{\pi D}$$

$$L = \frac{0,04904 m^2}{\pi \cdot 0,009525 m}$$

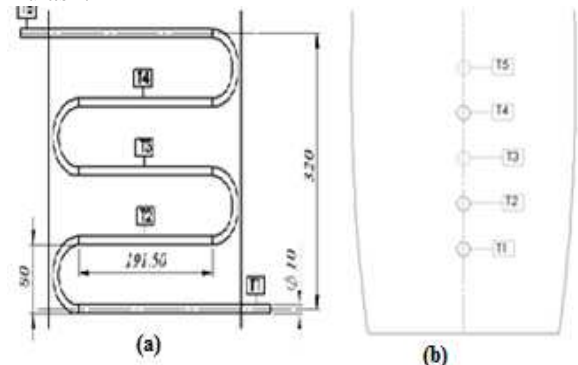
$$L = 1,58 \text{ meter}$$

B. Tahap Simulasi

Simulasi dilakukan secara 2 dimensi, dimana tahap simulasi dibagi menjadi tiga tahap, yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post processing*.

1) *Pre-Processing*

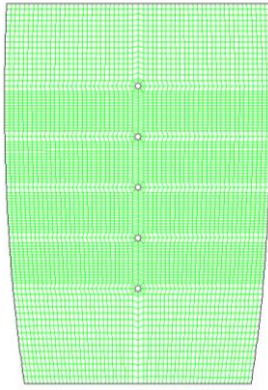
Pemodelan geometri dibuat dalam 2 dimensi. Berikut adalah bagian dan geometri yang akan digunakan untuk simulasi :



Gambar 3. (a) Bagian temperatur yang disimulasikan dan (b) geometri untuk simulasi

Setelah pembuatan geometri, langkah selanjutnya adalah pembuatan *meshing*. *Mesh* yang digunakan adalah

jenis *Quad-Map*. Adapun model *meshing* yang digunakan sebagai berikut:



Gambar 4. Meshing tube dari Water Heater

Langkah selanjutnya adalah menentukan *boundary condition* dimana untuk *tube* dikondisikan sebagai *wall* dengan input temperatur yang telah ditentukan sesuai dengan perhitungan. Sedangkan untuk dinding tangki dinding dikondisikan sebagai dinding adiabatik.

TABEL 3. BOUNDARY CONDITION

No.	Boundary Condition	Keterangan
1.	Tube 1	Tipe : Stationary Wall Temperatur : 363 K
2.	Tube 2	Tipe : Stationary Wall Temperatur : 345,24 K
3.	Tube 3	Tipe : Stationary Wall Temperatur : 338 K
4.	Tube 4	Tipe : Stationary Wall Temperatur : 352,85 K
5.	Tube 5	Tipe : Stationary Wall Temperatur : 323 K
6.	Left Wall, Right Wall, Bottom Wall, Top Wall	Dinding Adiabatik

2) *Processing*

Tahapan pemodelan yang dilakukan dalam proses ini antara lain adalah mengatur solver model, viscous model, materials, boundary conditions, serta initialize conditions. Setelah seluruh pemodelan ditentukan, dilakukan proses iterasi untuk menyelesaikan proses simulasi.

TABEL 4. PROPERTIES MATERIAL AIR

No.	Boundary Condition	Keterangan
1.	Density (kg/m ³)	998,2
2.	Specific Heat (J/kg.K)	4182
3.	Thermal Conductivity (W/m.K)	0,6

TABEL 5. PROPERTIES TEMBAGA

No.	Boundary Condition	Keterangan
1.	Density (kg/m ³)	8978
2.	Specific Heat (J/kg.K)	381
3.	Thermal Conductivity (W/m.K)	387,6

TABEL 6. PROPERTIES FIBER GLASS

No.	Boundary Condition	Keterangan
1.	Density (kg/m ³)	32
2.	Specific Heat (J/kg.K)	835
3.	Thermal Conductivity (W/m.K)	0,038

3) *Post-Processing*

Dari hasil simulasi diperoleh data perpindahan panas visualisasi distribusi temperatur dan visualisasi distribusi kecepatan di sekitar *water heater*. Selanjutnya data tersebut diolah dalam bentuk grafik.

C. Tahap Eksperimen

Posisi *Water Heater* pada sistem AC diletakkan setelah kompresor. Volume air di tangki pada eksperimen ini divariasikan 75 liter; 85 liter; dan 100 liter. Sebelum eksperimen, dilakukan terlebih dahulu pengecekan kebocoran pada sistem AC dengan melihat apakah terjadi perubahan tekanan pada *pressure gauge* setelah sebelumnya dilakukan proses vakum. Jika tidak terjadi kebocoran maka langkah selanjutnya adalah memasukkan refrigeran pada *suction*.

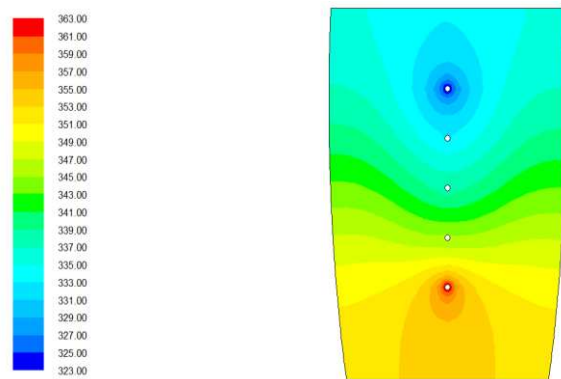
Laju alir massa diukur menggunakan *flowmeter* yang diletakkan setelah outlet kondenser. Sedangkan untuk temperatur diukur menggunakan *thermocouple* yang peletakkannya setelah outlet kompresor, outlet *water heater*, outlet kondenser, outlet kapiler dan outlet evaporator. Pengukuran tekanan dilakukan pada *suction*, *discharge*, dan setelah keluaran kondensator. Sedangkan untuk pengukuran temperatur dilakukan pada setiap titik keluaran komponen *AC split*. Pengambilan data dilakukan selama 15 menit sekali.

IV. HASIL ANALISA DATA

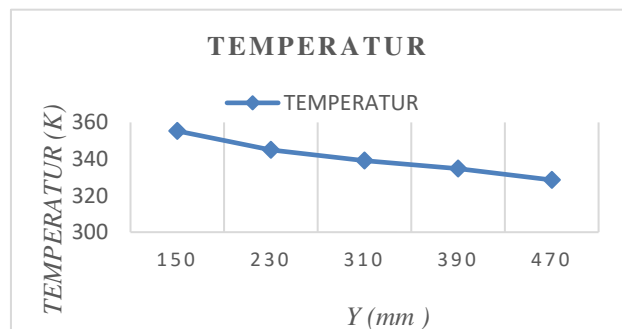
A. Analisa Numerik

1) *Analisa Distribusi Temperatur*

Untuk mendapatkan data temperatur maka digunakan metode *iso-surface*. Dimana jarak setiap *tube* diwakilkan dengan koordinat titik Y. Berikut gambar kontur distribusi temperatur di sekitar *water heater* dan grafik distribusi temperatur terhadap jarak vertikal di *water heater*



Gambar 5. Kontur distribusi temperatur



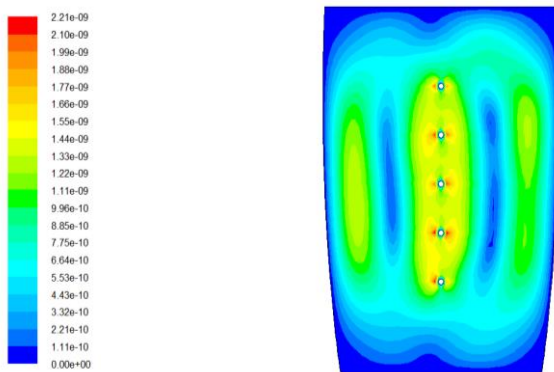
Gambar 6. Grafik distribusi temperatur terhadap jarak vertikal (Y) pada *water heater*

Pada Gambar 8 menunjukkan grafik distribusi temperatur dan jarak vertikal (Y) pada *water heater superheater* jenis material *glass fiber* pada setiap wall dan *copper* pada setiap *tube*. Distribusi temperatur dianalisis pada posisi ; 150 mm; 230 mm; 310 mm; 390 mm; 470 mm. Dari grafik dapat dilihat bahwa *trendline* grafik mengalami penurunan. Besarnya temperatur

berkurang seiring bertambahnya jarak kearah vertikal. Dimana nilai temperatur terbesar ($T=356,492^{\circ}\text{K}$) terletak pada jarak vertikal dengan $y=150$ mm dan nilai temperatur terkecil ($T=337,668$) terletak pada jarak vertikal dengan $y=470$ mm. Nilai temperatur berkurang seiring bertambahnya jarak yang terkena fluida pendingin

2) *Analisa Aliran Kecepatan*

Berikut gambar kontur distribusi kecepatan di sekitar *water heater*

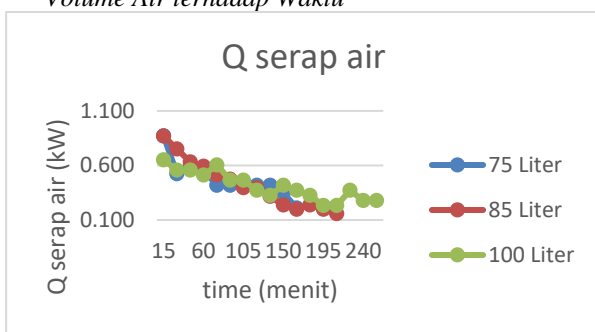


Gambar 7. Kontur distribusi kecepatan

Distribusi kecepatan lokal pada model ditunjukkan oleh spektrum warna kontur aliran. Kontur dengan spektrum warna merah merupakan daerah yang memiliki nilai kecepatan yang tinggi, sedangkan spektrum berwarna biru menunjukkan nilai kecepatan yang rendah. Kecepatan aliran melewati bagian kiri dan kanan *tube* yang memiliki kontur hampir serupa, hal ini dikarenakan bentuk *tube* yang berbentuk lingkaran. Kontur yang mempunyai kecepatan terbesar terjadi di daerah sekitar *tube*.

B. *Analisa Grafik Eksperimen*

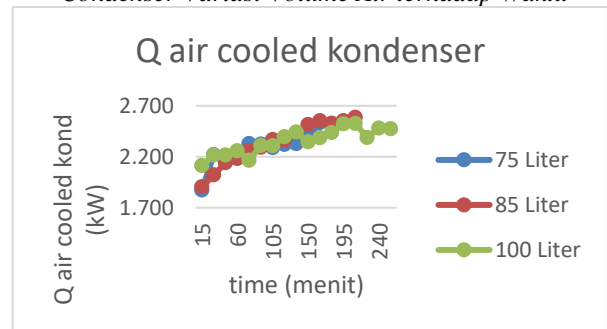
1) *Analisa Grafik Kalor yang diserap Air Variasi Volume Air terhadap Waktu*



Gambar 8. Grafik nilai penyerapan air pada *water heater* variasi volume air terhadap waktu

Gambar 10 menunjukkan jumlah nilai kalor yang diserap air keseluruhan dari yang terbesar sampai terkecil dimulai pada volume air 100 liter kemudian 85 liter dan terakhir 75 liter. Hal ini disebabkan dengan kenaikan volume air maka akan menyebabkan kenaikan kalor yang diserap air. Walaupun pada awal waktu tampak kalor yang diserap air pada variasi 75 liter adalah besar. Hal itu terjadi karena volume 75 liter air kenaikan temperatur airnya tinggi pada awal waktu.

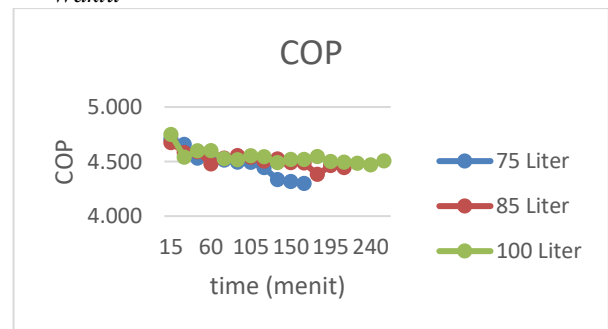
2) *Analisa Grafik Pelepasan Kalor Air Cooled Condenser Variasi Volume Air terhadap Waktu*



Gambar 9. Grafik nilai pelepasan kalor *air cooled condenser* variasi volume air terhadap waktu

Gambar 10 menunjukkan nilai kalor *air cooled condenser* yang dilepas keseluruhan dari yang terkecil sampai terbesar dimulai pada volume air 75 liter kemudian 85 liter dan terakhir 100 liter. Hal ini sudah sesuai dengan teori dimana semakin besar volume air maka kalor yang di lepaskan *air cooled condenser* juga semakin besar.

3) *Analisa Grafik COP Variasi Volume Air terhadap Waktu*



Gambar 10. Grafik nilai COP (*Coefficient of Performance*) variasi volume air terhadap waktu

Gambar 11 menunjukka nilai COP keseluruhan dari yang terbesar sampai terkecil dimulai dari volume air 100 liter kemudian 85 liter dan terakhir 75 liter. Hal ini disebabkan kapasitas pendinginan terbesar terjadi pada volume 100 liter dan kerja kompresor teringan juga terjadi pada volume 100 liter. Dimana COP merupakan hasil bagi antara kapasitas pendinginan dengan kerja kompresor.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis numerik dan eksperimen yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan, sebagai berikut:

1. Didapatkan hasil variasi volume *water heater* terhadap karakteristik perpindahan panas berupa kapasitas pendinginan dan lama waktu pemanasan. Kapasitas pendinginan terbesar terjadi volume air 100 liter dan waktu tercepat pemanasan terjadi pada volume air 75 liter.
2. Diperoleh kenaikan temperatur air pada *water heater* dengan memanfaatkan energy refrigerant keluar kompresor. Adapun kenaikan temperatur tercepat untuk mencapai 45°C terjadi pada volume air 75 liter dimana hanya memerlukan waktu hingga menit ke-165.
3. Didapatkan kenaikan COP dengan penambahan *water heater* pada sistem refrigerasi. Adapun COP rata-rata keseluruhan dari terbesar sampai terkecil didapatkan

dengan variasi volume 100 liter, 85 liter dan 75 liter air.

4. Melalui analisis numerik dapat diketahui fenomena perpindahan panas yang terjadi pada *water heater* adalah *natural convection* dan kecepatan yang bersirkulasi secara laminar yang disebabkan adanya perbedaan temperatur yang cukup signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Incropera, Frank P., De Witt, David P. (2002). *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- [2] Moran, Michael J. & Shapiro, H.N. 2006. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (5th Edition). Inggris: John Wiley & Sons.
- [3] Daniel Santoso, dan F. Dalu Setiaji. 2013. *Pemanfaatan Panas Buang Pengkondisi Udara Sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Penukar Panas Helikal*. Salatiga: Universitas Kristen Satya Wacana.
- [4] Prabowo, Triyogi Yuwono, Herman Sasongko, Dyah Arum W & Edy Susanto. 2008. *Rancang Bangun Kondensor Pada Refrigerator dengan Simulasi Numerik dan Eksperimen*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.