

# Rancang Bangun dan Studi Eksperimen Alat Penukar Panas untuk Memanfaatkan Energi *Refrigerant* Keluar Kompresor AC sebagai Pemanas Air pada $ST/D=6$ dengan Variasi Volume Air

Akhmad Fajrin Aminanta dan Djatmiko Ichsani

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**—Sistem pendingin atau refrigerasi merupakan proses pelepasan kalor dari suatu substansi dengan cara penurunan temperatur dan pemindahan panas ke substansi lainnya. Salah satu pemanfaatan panas yang dihasilkan oleh fluida kerja dalam hal ini *refrigerant* dari sistem pendingin adalah teknologi *heat recovery water heater*, dimana sebelum panas dibuang ke lingkungan melalui kondensor, refrigeran panas yang keluar dari kompresor dilewatkan melalui *water heater* untuk diambil panasnya oleh air sebelum masuk ke komponen kondenser. Proses pertama adalah perancangan dimensi *water heater*. Tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas pada *water heater*. Setelah tahap simulasi selesai, tahap berikutnya adalah tahap eksperimen, dimana penulis akan melakukan tahap eksperimen sistem AC split yang sudah ditambahkan *water heater* dengan memvariasikan volume air. Dari penelitian ini didapatkan hasil yaitu pengaruh variasi volume air terhadap karakteristik perpindahan panas adalah waktu pemanasan berbanding lurus terhadap besarnya volume *water heater*, dimana untuk memanaskan air hingga mencapai temperature 45°C pada volume air 75 liter membutuhkan waktu 210 menit, volume 85 liter membutuhkan waktu 240 menit dan volume 100 liter membutuhkan waktu 255 menit. Dan didapatkan kenaikan *Coefficient of Performance* (COP) dengan penambahan *water heater* pada sistem refrigerasi pada volume air 75 liter sebesar 4,44, pada volume 85 liter 4,49 dan volume 100 liter 4,54. Kemudian juga didapatkan nilai kerja kompresor pada setiap variasi volume air, dimana pada volume 75 liter kerja kompresor adalah 0,5 kW, volume 85 liter kerja kompresor sebesar 0,494 kW dan volume 100 liter sebesar 0,489 kW.

**Kata Kunci**— *Heat recovery water heater*, Kompresor, Kondensor, *water heater*, *Coefficient of Performance* (COP).

## I. PENDAHULUAN

Pada kemajuan teknologi saat ini, pengkondisian udara (*air conditioner/AC*) sudah menjadi perabot umum pada rumah tangga di kota-kota besar. Pengkondisian udara diperlukan karena Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis dengan kondisi udara yang cenderung panas dan lembab yang sangat tidak nyaman untuk beraktivitas. Sistem pendingin atau refrigerasi merupakan proses pelepasan kalor dari suatu substansi

dengan cara penurunan temperatur dan pemindahan panas ke substansi lainnya

Kebutuhan terhadap air hangat dalam kehidupan sehari-hari cukup tinggi terutama di rumah sakit, rumah makan, penginapan dan lain-lain. Sebagai contoh pada penginapan, pemanas air digunakan untuk mandi air panas sebagai sarana relaksasi tubuh setelah penggunaannya melakukan aktivitas yang melelahkan sepanjang hari. Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat terhadap air hangat, penulis mencoba untuk memanfaatkan panas yang terbuang atau *waste energy* yang dihasilkan oleh sistem pendingin *air conditioner* dalam hal ini *AC Split* sehingga dapat dimanfaatkan, untuk itu penulis merencanakan sebuah *heat exchanger* yang terpasang dengan *AC Split*, dimana fungsi *heat exchanger* ini nantinya berfungsi untuk memanaskan air. *Heat exchanger* ini dapat memanaskan air tanpa perlu daya tambahan karena dapat bekerja hanya dengan menambahkan *heat exchanger* tersebut yang berfungsi sebagai *water heater* pada sistem *Air Conditioner*. 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.

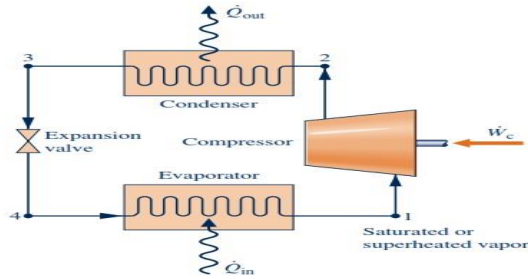
Kemudian penulis mencoba untuk mengembangkan model baru dengan menggunakan *gap ratio* ( $s_T/D = 6$ ) di *tubes water heater* dan memvariasikan volume air yang akan dipanaskan, hal tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas yang didapat menggunakan ( $s_T/D = 6$ ) dengan volume air yang dipanaskan 75 liter, 85 liter dan 100 liter.

## II. TINJAUAN PENELITIAN

### A. Siklus Kompresi Uap Standar

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 standar. 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. Siklus kompresi uap standar yang diaplikasikan pada sistem pendinginan udara standar terdiri dari empat komponen utama, komponen-komponen tersebut bekerja secara bersama-sama membentuk suatu proses yang berulang (siklus) dengan refrigeran sebagai media yang digerakkan. Siklus kompresi uap standar pada sistem pendinginan udara standar bisa ditunjukkan pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Siklus refrigerasi standar

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 dilepas 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. COP sistem refrigerasi

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{evap}}}{\dot{W}_{\text{komp}}} \quad (4)$$

### 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 Panas yang Diberikan *Water Heater* ( $Q_{HE}$ )

$$Q_{HE} = \frac{U.A}{2} \cdot \varphi \quad (5)$$

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

$$Q_{\text{water}} = m \cdot C_p \cdot \left(\frac{d\varphi}{dt}\right) \quad (6)$$

Sehingga setelah proses integral, didapatkan persamaan:

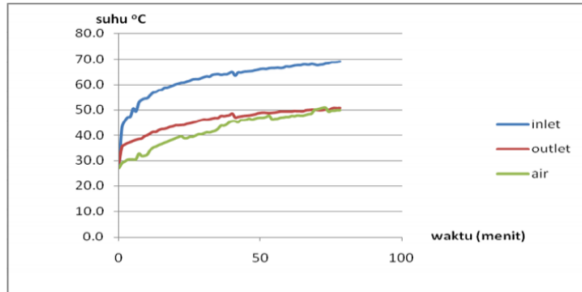
$$\ln \frac{\varphi(t)}{\varphi(t=0)} = -\frac{U.A}{2 \cdot m \cdot C_p} \cdot t \quad (7)$$

dimana:  $\varphi(t) = (T_{\text{tube inlet}} + 5) - T_{\text{water}}(t)$

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

### C. Penelitian Terdahulu

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



Gambar 2. Grafik Hasil Eksperimen Fungsi Temperatur terhadap Waktu

Pada grafik diatas, inlet merupakan temperature masukan *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. Temperatur maksimum didapat setelah eksperimen dilakukan selama 68 menit, dimana didapatkan temperatur inlet maksimum 69°C, outlet 50,9°C dan air 50°C. Pada grafik diatas juga menunjukkan bahwa temperatur air pada kondisi maksimum mendekati temperatur maksimum outlet *heat exchanger*.

## III. METODE 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* = 247 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:

$$\dot{Q}_{WH} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_{\text{in\_WH}} - h_{\text{out\_WH}})$$

$$\dot{Q}_{WH} = 0,0125 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (458,82 - 423,98) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

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

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

$$t = \frac{m \cdot C_p \cdot (\Delta T)}{t}$$

$$t = \frac{100 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (318 - 303) \text{ K}}{435,5 \frac{\text{J}}{\text{s}}}$$

$$t = 14397,24 \text{ s}$$

$$t = 4 \text{ jam}$$

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

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	0.000014836	0.0023661	0.0025815	0.91657

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

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

$$Re = \frac{4 \cdot 0,0125 \frac{kg}{s}}{\pi \cdot 9,525 \times 10^{-3} m \cdot 1,48 \times 10^{-5} Pa \cdot s}$$

$$Re = 112603,1429$$

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

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

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

$$Nu = 280,523$$

- 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

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	0.0015593	3.5455

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

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

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

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

- 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 pemanasan 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:

$$A = \frac{\ln \frac{T_{hi+5} - T_{air\ akhir}}{T_{hi+5} - T_{air\ awal}}}{\frac{U \cdot t}{2m \cdot C_p \text{ air}}}$$

$$A = \frac{\ln \frac{95 - 45 (C)}{95 - 30 (C)}}{323,11 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 13979,3 s}$$

$$A = \frac{2.100 kg \cdot 4180 \frac{J}{kg \cdot C}}{2.100 kg \cdot 4180 \frac{J}{kg \cdot C}}$$

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

5) *Menghitung Panjang Pipa*

Panjang pipa diperoleh dengan persamaan luas selimut tabung, yaitu :

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

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

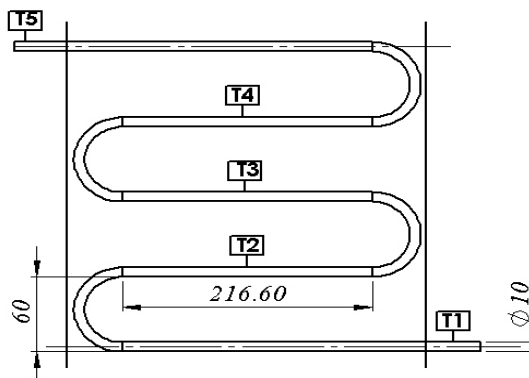
$$L = 1,58 \text{ meter}$$

B. Tahap Simulasi

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

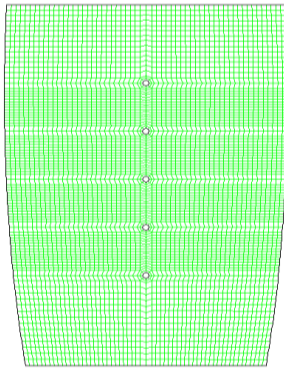
1) *Pre-Processing*

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



Gambar 3. Bagian temperatur yang disimulasikan

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 : 363,2 K
2.	Tube 2	Tipe : Stationary Wall Temperatur : 345,3K
3.	Tube 3	Tipe : Stationary Wall Temperatur : 338K
4.	Tube 4	Tipe : Stationary Wall Temperatur : 331,2K
5.	Tube 5	Tipe : Stationary Wall Temperatur : 323K
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 <sup>3</sup> )	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 <sup>3</sup> )	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 <sup>3</sup> )	32
2.	Specific Heat (J/kg.K)	835
3.	Thermal Conductivity (W/m.K)	0,038

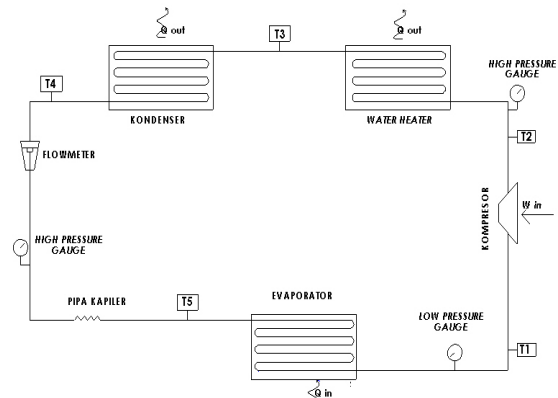
3) *Post-Processing*

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* sedangkan untuk temperatur diukur menggunakan *thermocouple* yang terhubung dengan data akuisisi. Pengukuran tekanan dilakukan pada *suction*, *discharge*, dan setelah keluaran kondensor. Sedangkan untuk pengukuran temperatur dilakukan pada setiap titik keluaran komponen *AC split*. Pengambilan data dilakukan selama 15 menit sekali. Untuk peletakan alat ukur dan skema peralatan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



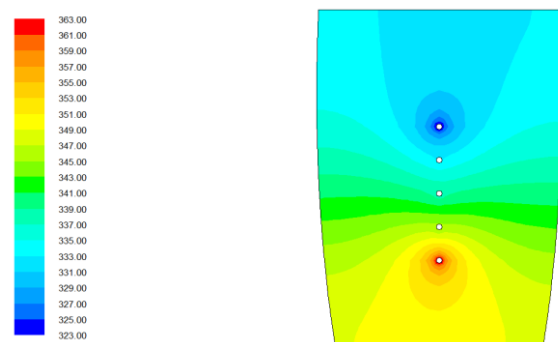
Gambar 4. Titik Pengukuran dan Pengambilan data

IV. HASIL ANALISA DATA

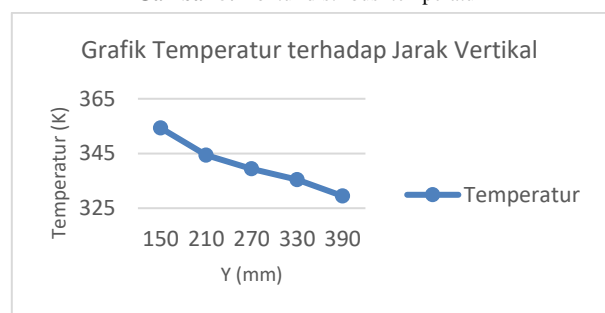
A. Analisa Numerik

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

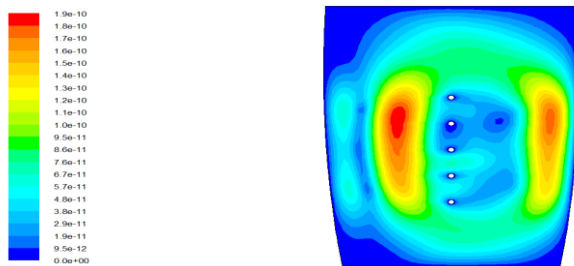


Gambar 6. Grafik distribusi temperatur terhadap jarak vertikal (Y) pada water heater

Pada Gambar 6 menunjukkan grafik distribusi temperatur dan jarak vertikal (Y) pada *water heatersuperheater* jenis material *glass fiber* pada setiap wall dan *copper* pada setiap *tube*. Distribusi temperatur dianalisis pada posisi ; 150 mm; 210 mm; 270 mm; 330 mm; 390 mm. Dari grafik dapat dilihat bahwa *trendline* grafik mengalami penurunan. Besarnya temperatur berkurang seiring bertambahnya jarak kearah vertikal. Dimana nilai temperatur terbesar ( $T=354,32^{\circ}\text{K}$ ) terletak pada jarak vertikal dengan  $y=150$  mm dan nilai temperatur terkecil ( $T=329,43^{\circ}\text{K}$ ) terletak pada jarak vertikal dengan  $y=390$  mm. Nilai temperatur berkurang seiring bertambahnya jarak yang terkena fluida pendingin.

2) *Analisa Aliran Kecepatan*

Berikut gambar kontur distribusi kecepatan di sekitar *water heater*

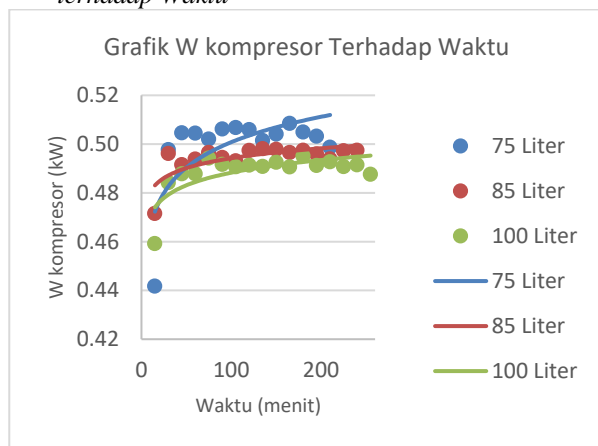


Gambar 7. Kontur distribusi kecepatan

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 Kerja Kompresor Variasi Volume terhadap Waktu*

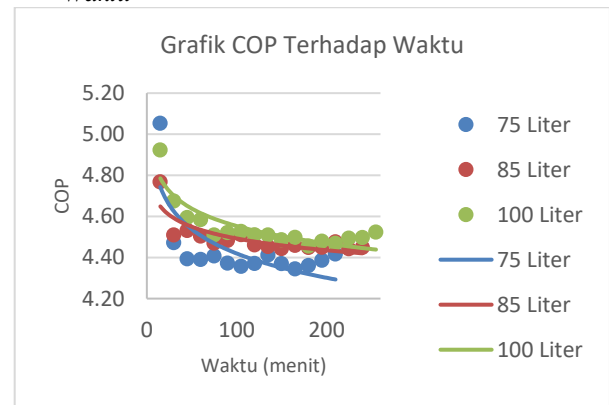


Gambar 8. Grafik kerja kompresor variasi volume air terhadap waktu

Gambar 8 adalah grafik kerja kompresor terhadap waktu, dimana nilai kerja kompresor yang paling besar hingga terkecil secara berurutan pada variasi volume air adalah 100 liter, 85 liter dan 75 liter. Hal ini sudah sesuai dengan teori karena kerja kompresor berbanding terbalik dengan kalor yang dilepas pada air, dimana semakin besar kalor yang diserap oleh air maka kerja kompresor akan semakin ringan. Sehingga dapat disimpulkan kerja

kompresor akan lebih ringan saat kalor yang diserap oleh air besar.

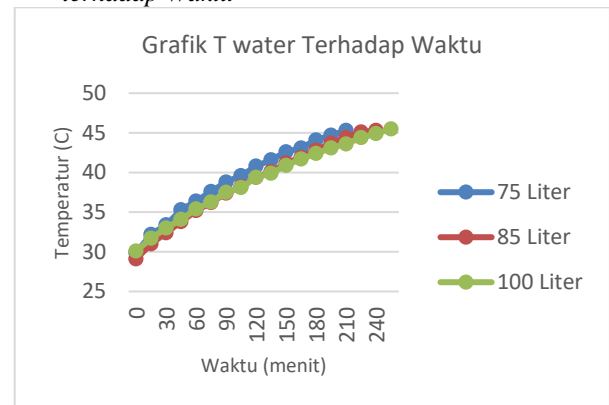
2) *Analisa Grafik COP Variasi Volume Air terhadap Waktu*



Gambar 9. Grafik nilai COP variasi volume air terhadap waktu

Pada grafik di atas terlihat bahwa grafik memiliki tren yang cenderung menurun terhadap waktu. Pada grafik diatas menunjukkan bahwa eksperimen dengan volume air sebesar 100 liter memiliki COP pada sistem AC yang besar dibandingkan dengan variasi volume air yang lain. Pada waktu awal, hasil eksperimen dengan variasi volume air sebesar 75 liter memiliki COP yang lebih besar dibandingkan dengan hasil eksperimen dari 85 liter dan 100 liter. Tetapi seiring bertambahnya waktu nilai COP dari eksperimen dengan volume air sebesar 75 liter memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan variasi volume air sebesar 85 liter dan 100 liter. Kemudian dimulai pada menit ke 45, variasi volume air dalam tangki 75 liter, 85 liter dan 100 liter memiliki nilai COP yang cenderung konstan.

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



Gambar 10. Grafik temperatur air variasi volume air terhadap waktu

Pada grafik temperatur air dapat dilihat bahwa pada eksperimen dengan volume air 75 liter memiliki perubahan temperatur yang relatif lebih cepat dibandingkan dengan volume air yang lainnya, kemudian secara berurutan diikuti oleh variasi volume air 85 liter dan 100 liter. Sedangkan untuk 85 liter dan 100 liter hampir memiliki kenaikan temperatur yang sama. Pada menit pertengahan. Sedangkan untuk eksperimen dengan volume air 100 liter memiliki kenaikan temperatur air yang paling lambat. Kenaikan temperatur air pada eksperimen tersebut pada menit akhir menuju pada temperatur  $45^{\circ}\text{C}$  terjadi sangat kecil sehingga kenaikan temperatur air paling lambat dibandingkan dengan eksperimen lainnya.



## V. KESIMPULAN

Dari serangkaian simulasi numerik dan eksperimen yang telah dilakukan dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil variasi volume *water heater* terhadap karakteristik perpindahan panas adalah waktu pemanasan berbanding lurus terhadap besarnya volume *water heater*, dimana Penambahan volume air mengakibatkan semakin lama proses peningkatan temperatur air dalam tangki.
2. Diperoleh kenaikan temperatur air pada *water heater* dengan memanfaatkan panas buang kompresor. Adapun kenaikan temperatur tercepat untuk mencapai 45°C terjadi pada volume air 75 liter dimana hanya memerlukan waktu 210 menit, kemudian pada volume air 85 liter membutuhkan waktu pemanasan mencapai 240 menit dan yang terakhir adalah pada volume air 100 liter yang membutuhkan waktu pemanasan mencapai 255 menit.
3. Didapatkan kenaikan Coefficient of Performance (COP) dengan penambahan *water heater* pada sistem refrigerasi. Dimana untuk COP tanpa *water heater* adalah sebesar 4,205 sedangkan untuk COP rata-rata dengan menggunakan *water heater* didapatkan pada volume 75 liter sebesar 4,44, pada volume 85 liter sebesar 4,49 dan pada volume 100 liter sebesar 4,54.
4. Melalui analisis numeric dapat diketahui fenomena perpindahan panas yang terjadi pada *water heater* adalah *natural convection*. Dengan 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.