

ANALISA KONDENSOR TERHADAP PEMANFAATAN PANAS WATER HAETER PADA AC CENTRAL

M. Risman^{1*}, Sobar Ihsan², Muhammad Saukani³

¹Prodi Mesin, 21201, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, NPM16620021

²Prodi Mesin, 21201, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, NIK061508785

³Prodi Mesin, 21201, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, NIP198707292015041002

Email : rismanacc2@gmail.com

ABSTRAK

Kondensor merupakan komponen pendingin yang sangat penting yang berfungsi untuk memaksimalkan efisiensi pada mesin pendingin. Pada kondensor ini, terjadi pelepasan kalor secara kondensasi dan kalor sensibel. Pada umumnya menggunakan kondensor tipe permukaan (*surface condenser*), tipe kondensor ini merupakan jenis *shell-tube* yang mana air pendingin disirkulasikan melalui *tube*. Kondensor biasanya menggunakan sirkulasi air pendingin dari menara pendingin (*cooling tower*) untuk melepaskan kalor ke atmosfer, atau *once-through water* dari sungai, danau atau laut. Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, maka pertanyaan utama yang ingin dicari jawabannya pada akhir penelitian adalah : a) bagaimana pengaruh faktor ukuran tube dan diameter shell terhadap kondensor. b) bagaimana Performansi Sistem Refrigerasi (COP) sebelum dan sesudah menggunakan *Water Heater*. Dengan menggunakan data spesifikasi alat penukar kalor kondensor untuk tipe *shell and tube* didapat hasil perhitungan diameter shell, $D_s = 815$ mm dan jumlah tube, $N_t = 245$ buah. Penurunan COP dari 4,17 untuk AC tanpa dilengkapi dengan *water heater* menjadi 3,29 untuk AC dilengkapi dengan *water heater*, disebabkan penambahan panjang pipa, banyak pemakaian katup disertai banyaknya belokan.

Kata kunci: *kondensor, COP, water heater*

ABSTRACT

The condenser is a very important cooling component that functions to maximize the efficiency of the cooling machine. In this condenser, heat is released by condensation and sensible heat. In general, using a surface type condenser (surface condenser), this type of condenser is a shell-tube type in which cooling water is circulated through the tube. Condensers usually use circulating cooling water from a (cooling tower) to release heat to the atmosphere, or once-through water from a river, lake or ocean. Based on the above background, the main questions to be answered at the end of the study are: a) how is the effect of tube size and shell diameter factors on the condenser. b) how is the Performance of the Refrigeration System (COP) before and after using the Water Heater. By using the specification data for the condenser heat exchanger for shell and tube type, the calculation results for the shell diameter, $D_s = 815$ mm and the number of tubes, $N_t = 245$ pieces. The decrease in COP from 4.17 for AC without being equipped with a water heater to 3.29 for AC equipped with a water heater, due to the addition of pipe length, a lot of valve usage accompanied by many turns.

Keywords: condenser, COP, water heater

1. Pendahuluan

Kondensor merupakan komponen pendingin yang sangat penting yang berperan untuk memaksimalkan efisiensi pendingin. Dalam kondensor ini, panas dilepaskan oleh kondensasi dan panas sensibel. Biasanya digunakan kondensor permukaan (surface condenser), kondensor jenis ini adalah kondensor shell and tube dimana air pendingin bersirkulasi di dalam tabung. Kondensor biasanya menggunakan air pendingin yang bersirkulasi dari menara pendingin (cooling tower) untuk melepaskan panas ke atmosfer, atau menggunakan air langsung dari sungai, danau, atau lautan (Ihsan, 2017).

Kebanyakan aliran fluida kerja yang mengalir secara terus menerus di dalam alat penukar kalor (APK), setelah melampaui waktu operasi tertentu akan mengotori permukaan perpindahan panasnya. Deposit yang terbentuk di permukaan kebanyakan akan mempunyai konduktivitas termal yang cukup rendah sehingga akan mengakibatkan menurunnya besaran koefisien global perpindahan panas di dalam alat penukar kalor, akibatnya laju

pertukaran energi panas di dalam APK menjadi lebih rendah (Ihsan, 2017).

AC dirancang untuk memberikan kenyamanan dan kesegaran ruangan ber-AC. Setiap ruangan memiliki beban panas yang berbeda-beda, yang akan mempengaruhi spesifikasi pendingin AC yang akan digunakan. Ketepatan dalam menentukan ukuran AC yang tepat berdampak pada kesegaran dan kenyamanan sebuah ruangan. Dari perbedaan beban pendinginan hingga jenis refrigeran yang digunakan, tentunya terdapat ukuran optimum yang ideal agar diperoleh kondisi kerja chiller (COP chiller) yang tepat (Purwanto, Ridhuan, 2014).

Pendingin adalah suatu mekanisme berupa siklus yang mengambil energi (Termal) dari daerah bersuhu rendah dan membuangnya ke daerah bersuhu tinggi (lingkungan), sehingga beban pendinginan sangat mempengaruhi kinerja mesin yang didinginkan. Semakin besar beban pendinginan yang didinginkan, semakin besar pula daya pendinginan mesin yang dibutuhkan. Begitu pula sebaliknya, semakin kecil beban pendinginan maka semakin kecil pula daya mesin pendingin yang dibutuhkan (Purwanto, Ridhuan, 2014).

Dasar perhitungan desain termal kondensor adalah terpenuhinya kinerja secara termal pada kondisi normal. Berbagai asumsi dapat diambil untuk penyelesaian dengan menentukan kondensor sebagai volume control tunggal (*single control volume*) dan rata koefisien transfer kalor dua sisi-masuk dan keluar. Koefisien transfer kalor didasarkan pada konstituen koefisien sisi-*shell* (kondensasi) dan sisi-*tube* (pendingin). Spesifikasi parameter desain kondensor termasuk luasan transfer kalor, koefisien transfer kalor, parameter operasi dan dimensi-dimensi *tube*. Desain termal (*thermal rating*) merupakan salah satu bagian kegiatan desain dari keseluruhan yang mencakup analisis vibrasi, analisis korosi, desain mekanik, gambar teknik (*engineering drawing*) dan fabrikasi (Diby, 2009)

Dalam hal ini perusahaan sekarang masih menggunakan material *carbon steel* untuk bahan *tube* yang mengakibatkan sering terjadinya pengokotoran karena korosi pada material didalam *tube*. Sehingga akan mengakibatkan menurunnya besaran koefisien

perpindahan panas menyeluruh di dalam alat penukar kalor. Maka sangatlah penting dalam pemilihan material untuk *tube* dengan menggunakan bahan *stainless steel* yang tahan terhadap korosi yang terjadi pertukaran energi panas di dalam alat penukar kalor (HBI, 2020)

Dari penelitian ini diharapkan mampu melakukan analisa perhitungan terhadap kondensor yang terpasang sesuai dengan standar yang berlaku sehingga dapat dihasilkan alat penukar kalor (APK) yang memiliki efektifitas yang tinggi.

2. Metode dan Alat Penelitian

2.1 Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Hotel Banjarmasin Internasional (HBI) Banjarmasin.

Penelitian dilakukan selama kurang lebih empat bulan, terhitung dari bulan mei 2020 sampai dengan bulan agustus 2020.

2.1 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat penelitian

Objek yang di teliti dalam penelitian ini adalah kondensor tipe shell and tube.



Gambar 1 Kondensor tipe shall and tube (data pribadi)

2.1.1 Bahan Penelitian

- Alat ukur temperatur



Gambar 2 thermocouple
(*thermocouple-ht-9815-4-channel-type-k-temperature-digital-thermometer/pc--MTA-3985802*)

- Alat cek kebocoran refrigeran



Gambar 3 detektor refrigeran
(*data pribadi*)

- Refrigeran R22



Gambar 4 Freon R22
(*data pribadi*)

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Perhitungan perancangan alat penukar kalor (*Kondensor*)

Data awal yang di ambil melalui display mesin AC sentral pada HBI saat kondisi operasi yang diberikan untuk alat penukar kalor kondensor tipe shell dan tube sebagai berikut:

- Temperatur udara masuk 30 °C
- Temperatur udara keluar 55 °C
- Temperatur gas masuk 150 °C
- Temperatur gas keluar 115 °C

Laju aliran massa gas 20,8 kg/s

3.1.1 Perhitungan perpindahan kalor yang diterima oleh aliran fluida gas

$$Q_h = m_h \cdot C_{ph} (T_{hi} - T_{ho})$$

Dimana

$m_h = 20.8 \text{ kg/s}$ (massa gas refrigeran R22)

$C_{ph} = 1047 \text{ J/kg K}$ (data dari table massa gas refrigeran R22)

$T_{hi} = 150 \text{ °C} = 423 \text{ K}$

$T_{ho} = 115 \text{ °C} = 388 \text{ K}$

Maka diperoleh,

$$Q_h = 20.8 \text{ kg/s} \times 1047 \text{ J/kgK} \times (423 - 388) \text{ K}$$

$$Q_h = 762216 \text{ W} = 762.216 \text{ kW}$$

3.1.2 Perhitungan perpindahan kalor yang dilepas udara

$$Q_c = m_c \cdot C_p \cdot (T_{co} - T_{ci})$$

Maka:

$$m_c = \frac{Q_c}{C_p \cdot (T_{co} - T_{ci})}$$

Dimana,

$$Q_h = Q_c = 762216 \text{ W} = 762.216 \text{ kW}$$

$T_{ci} = 30 \text{ °C} = 303 \text{ K}$

$T_{co} = 55 \text{ °C} = 328 \text{ K}$

$c_p = 1014 \text{ J/kg K}$

maka diperoleh,

$$m_c = \frac{762216}{1014 \text{ kJ/kg.K} \cdot (328 \text{ K} - 303 \text{ K})}$$

$$m_c = \frac{762216}{25350} = 30.07 \text{ kg/s}$$

Q_c merupakan laju aliran perpindahan kalor yang dilepas udara dan merupakan energi yang dikeluarkan oleh alat penukar kalor (Q_{out}).

Perhitungan luas permukaan perpindahan panas total, A_{total} Besarnya Q_o dapat dianggap sama dengan $Q_c = Q_h = Q_o = 762216 \text{ W}$

$$\begin{aligned} A_o &= \pi d_o L N_t \\ &= 3.14 \times 0.0381 \times 5 \times 245 \\ &= 146.9 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

3.1.3 Perhitungan diameter shell (D_s)

Diameter shell, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$D_s = 0.637 \left(\frac{Cl}{CT_p} \right)^{0.5} \left(\frac{A(PR)^2 d_o}{L} \right)^{0.5}$$

Dimana :

- Diameter tube, $d_o = 0.0381 \text{ mm}$
- Panjang tube, $L = 5 \text{ m}$
- Tube layout 60° , yg berarti $CL = 0.87$
- Aliran fluida di dalam tube: 1 pass yg berarti $CT_p = 0.93$
- Pitch ratio (jarak antar tube / diameter tube) = 1.25
- luas permukaan perpindahan panas $A_o = 146.9 \text{ m}^2$

Maka dengan mensubstitusi harga-harga diatas kedalam persamaan untuk diameter shell, akan diperoleh:

$$D_s = 0.637 \left(\frac{Cl}{CT_p} \right)^{0.5} \left(\frac{A(PR)^2 d_o}{L} \right)^{0.5}$$

Maka diperoleh :

$$D_s = 0.637 \left(\frac{0.87}{0.93} \right)^{0.5} \left(\frac{146.9 \times (1.25)^2 \times 0.0381}{5} \right)^{0.5}$$

$$= 0.637 \times 0.967 \times 1.323$$

$$= 0.814.9 \text{ m}$$

3.2.4 Perhitungan diameter jumlah tube (N_t)

Jumlah tube, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$N_t = 0.785 \left(\frac{CTP}{CL} \right) \frac{D_s^2}{(PR)^2 (d_o)^2}$$

Dimana :

- Diameter shell, $D_s = 815 \text{ mm}$
- Diameter tube, $d_o = 38.1 \text{ mm}$
- Tube layout 60° , yg berarti $CL = 0.87$
- Aliran fluida di dalam tube: 1 pass yg berarti $CTP = 0.93$
- Pitch ratio (jarak antar tube / diameter tube) = 1.25

Maka diperoleh :

$$N_t = 0.785 \left(\frac{0.93}{0.87} \right) \frac{0.815^2}{(1.25)^2 (0.0381)^2}$$

$$N_t = 0.785 \times 1.07 \times \frac{0.664225}{1.5625 \times 0.00145161}$$

$$= 0.785 \times 1.07 \times 292.87$$

$$= 245 \text{ buah}$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapat diameter shell, $D_s = 815 \text{ mm}$ dan jumlah tube, $N_t = 245 \text{ buah}$

3.2 Perhitungan Performansi Sistem Refrigerasi (COP)

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat ditentukan performansi sistem refrigerasi (COP) dan konsumsi daya sebelum dan sesudah menggunakan water heater.

3.2.1 Perhitungan COP sistem refrigerasi menggunakan R22 tanpa menggunakan water heater :

$$h_1 = 419 \text{ kJ/kg}; h_2 = 461 \text{ kJ/kg}; h_3 = h_4 = 240 \text{ kJ/kg}$$

- Efek Refrigerasi, (ER)
 $ER = h_1 - h_4 = (419 - 240) \text{ kJ/kg} = 179 \text{ kJ/kg}$

- Kerja Kompresi, (Wk)
 $WK = h_2 - h_1 = (461 - 419) \text{ kJ/kg} = 42 \text{ kJ/kg}$

- Daya aktual Kompresor, (PK)
 $P_{aktual} = V \cdot I \cdot \cos \theta$
 $= 237 \text{ Volt} \cdot 8,72 \text{ A} \cdot 0,8$
 $= 1653,312 \text{ Watt} = 1,66 \text{ Kw}$

- Kalor yang dibuang di Kondensor, (Qk)
 $Q_k = h_2 - h_3 = (461 - 240) \text{ kJ/kg} = 221 \text{ kJ/kg}$

- Koefisien Prestasi, COP
 $COP = \frac{ER}{WK} = \frac{179 \text{ kJ/kg}}{42 \text{ kJ/kg}} = 4,17$

- Keseimbangan kalor di evaporator
 $m_{air} \cdot C_{air} \cdot (t_1 - t_2) = m_{ref} \cdot (h_1 - h_4)$ Dari data hasil pengujian didapat :

$$t_1 = 22^\circ\text{C} + 273 = 295 \text{ K}$$

$$t_2 = 17^\circ\text{C} + 273 = 290 \text{ K}$$

$$\rho_{air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{air} = 4190 \text{ J/kg K (dari tabel)}$$

$$v_{air} = 12,9 \text{ L/menit}$$

$$= 12,9 \text{ L/menit} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{L} = 0,0129 \text{ m}^3/\text{menit}$$

maka : $m_{air} = \rho_{air} \cdot v_{air}$
 $= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,0129 \text{ m}^3/\text{menit}$
 $= 12,9 \text{ kg/menit}$

$$m_{ref} = \frac{12,9 \times 4,190 \times (295 - 290)}{(419 - 240)}$$

$$= 1,51 \text{ kg/men} = 0,025 \text{ kg/dt}$$

Jadi laju aliran massa refrigeran adalah 0,025 kg/detik.

- Daya yang dibuang di kondensor :
 $P_{kond} = m_{ref} \cdot (h_2 - h_3)$
 $= 0,025 \text{ kg/detik} \times (461 - 240) \text{ kJ/kg}$
 $= 5,525 \text{ kJ/detik}$

Jadi daya yang dibuang di kondensor adalah 5,525 kJ/detik

3.2.2 Perhitungan COP sistem refrigerasi menggunakan R22 dengan menggunakan water heater

$$h_1 = 410 \text{ kJ/kg}; h_2 = 462 \text{ kJ/kg}; h_3 = h_4 = 239 \text{ kJ/kg}$$

- Efek Refrigerasi, (ER)
 $ER = h_1 - h_4 = (410 - 239) \text{ kJ/kg} = 171 \text{ kJ/kg}$

- Kerja Kompresi, (Wk)
 $Wk = h_2 - h_1 = (462 - 410) \text{ kJ/kg} = 52 \text{ kJ/kg}$

- Daya aktual Kompresor, (PK)
 $P_{aktual} = V \cdot I \cdot \cos \theta = 237 \cdot 8,38 \cdot 0,8$
 $= 1588,848 \text{ Watt} = 1,59 \text{ kW}$

- Kalor yang dibuang di Kondensor, (Qk)
 $Q_k = h_2 - h_3$
 $= (462 - 239) \text{ kJ/kg} = 223 \text{ kJ/kg}$

- Koefisien Prestasi, COP
 $COP = \frac{ER}{WK} = \frac{171 \text{ kJ/kg}}{52 \text{ kJ/kg}} = 3,29$

- Keseimbangan kalor di evaporator
 $m_{air} \cdot C_{air} \cdot (t_1 - t_2) = m_{ref} \cdot (h_1 - h_4)$
 $t_1 = 21,6^\circ\text{C} + 273 = 294,6 \text{ K}$

$$t_2 = 17,4 \text{ }^\circ\text{C} + 237 = 290,4 \text{ K}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{air} = 4190 \text{ J/kg K}$$

$$v_{air} = 12,39 \text{ L/menit} = 12,39$$

$$\text{L/menit} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{L} = 0,01239 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{maka : } m_{air} = \rho_{air} \cdot v_{air} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,01239 \text{ m}^3/\text{menit} = 12,39 \text{ kg/menit}$$

$$m_{ref} = \frac{12,39 \times 4,190 \times (294,6 - 290,4)}{(410 - 239)} = 0,021 \text{ kg/dt}$$

Jadi laju aliran massa refrigeran adalah 0,021 kg/detik.

- Daya yang dibuang di kondensor :

$$P_{kond} = m_{ref} \cdot (h_2 - h_3) = 0,021 \text{ kg/detik} \times (462 - 239) \text{ kJ/kg} = 4,683 \text{ kJ/detik}$$

Jadi daya yang dibuang di kondensor adalah 4,683 kJ/detik.

- Kalor yang diserap *water heater* :

$$P_{awh} = (v_{air} \cdot \rho_{air}) \cdot C_{air} \cdot \Delta t_{awh}$$

$$t_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C} + 237 = 262 \text{ K}$$

$$t_2 = 37 \text{ }^\circ\text{C} + 237 = 274 \text{ K}$$

$$v_{air} = 1,8 \text{ L/menit} = 0,0018 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\rho_{air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{wh} = (v_{air} \cdot \rho_{air}) \cdot C_{air} \cdot \Delta t_{awh}$$

$$= (0,0018 \text{ m}^3/\text{menit} \times 1000 \text{ kg/m}^3) \times 4190 \text{ J/kg K} \times 12 \text{ K}$$

$$= 90504 \text{ J/menit} = 1,508 \text{ kJ/detik}$$

Jadi kalor yang dapat diserap di *Water Heater* adalah 1,508 kJ/detik

3.3 Pembahasan

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan data spesifikasi alat penukar kalor *kondensor* untuk tipe *shell and tube* pada unit AC sentral yang ada di HBI didapat hasil

perhitungan diameter *shell*, $D_s = 815$ mm dan jumlah *tube*, $N_t = 245$ buah. AC sentral jenis *water chiller*, sebelum dengan setelah dilengkapi *water heater* mengalami penurunan efek refrigerasi dan kenaikan kerja kompresi. Sehingga menimbulkan terbentuknya kenaikan energi kompresor serta secara otomatis hendak menimbulkan penyusutan COP (Coefficient of Performance). Dalam penerapannya dilapangan, penyusutan dampak refrigerasi serta COP bisa dicegah dengan pengurangan panjang pipa serta belokan dan peniadaan pemasangan katup yang tidak dibutuhkan.

Kalor yang dibuang di kondensor 221 kJ/kg untuk AC yang tidak dilengkapi dengan *water heater* dan 223 kJ/kg buat AC yang dilengkapi dengan *water heater*, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi pelepasan panas yang lebih baik ke air dibandingkan dengan ke udara atau ke lingkungan, yang semestinya juga diikuti oleh kenaikan efek refrigerasi dan COP.

Daya yang di buang di kondensor 5, 525 kJ/ detik buat AC yang tidak dilengkapi dengan *water heater* serta 4, 683 kJ/ detik buat AC yang dilengkapi dengan *water heater*. Kalor yang sanggup diserap oleh AC yang dilengkapi dengan perlengkapan pemanas air merupakan 1, 508 kJ/ detik.

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan data spesifikasi alat penukar kalor *kondensor* untuk tipe *shell and tube* pada unit AC sentral yang ada di HBI didapat hasil perhitungan diameter *shell*, $D_s = 815$ mm dan jumlah *tube*, $N_t = 245$ buah.

Kalor yang dibuang di kondensor 221 kJ/kg untuk AC yang tidak dilengkapi dengan water heater dan 223 kJ/kg untuk AC yang dilengkapi dengan water heater, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi pelepasan panas yang lebih baik ke air dibandingkan dengan ke udara atau ke lingkungan, yang semestinya juga diikuti oleh kenaikan efek refrigerasi dan COP.

Daya yang dibuang di kondensor 5, 525 kJ/ detik buat AC yang tidak dilengkapi dengan water heater serta 4,683 kJ/ detik buat AC yang dilengkapi dengan water heater. Kalor yang sanggup diserap oleh AC yang dilengkapi dengan perlengkapan pemanas air merupakan 1, 508 kJ/ detik diakibatkan akumulasi panjang pipa, banyak konsumsi katup diiringi banyaknya belokan.

DAFTAR PUSTAKA

- Jurnal Kajian Teknik Mesin. Audri Deacy Cappenberg. Analisa Kinerja Alat Penukar Kalor Jenis Pipa Ganda. Vol. 1 No. 2.
- Artikel Teknik Mesin. Sugiyanto. Analisis Alat Penukar Kalor Tipe Shell And Tube Dan Aplikasi Perhitungan Dengan Microsoft Visual Basic 6.0. Universitas Gunadarma. Depok.
- Artikel Teknik Fisika. M. Fahmi Rizal, Gunawan N, Ir. Sarwono. Rancang Bangun Perangkat Lunak untuk Desain Alat Penukar Panas Tipe Shell dan Tube. ITS. Surabaya.
- Prosiding ITS. Grasiano Warakano dan Lailossa. Analisa Perbandingan Penggunaan Kompresor Tunggal dan Dua kompresor dengan sistem *individual expansion valve* untuk Cold Storage kapasitas 50 Ton untuk Pasar Ikan Lokal di Pulau Ambon. Surabaya 2009.
- Kreith, Frank. 1986. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*. Edisi Ketiga. Erlangga: Jakarta.
- Sitompul, Tunggal M. 1993. *Alat Penukar Kalor*. Raja Grafindo Persada.