



## Peningkatan Kinerja Sistem Pendingin Kompresi Uap Menggunakan Gabungan Kondensor-Pendingin Evaporatif

### *Improved Performance of the Vapor Compression Cooling System Using A Combination of Condensers-Evaporative Cooling*

Arfidian Rachman<sup>1,\*</sup>, Sulaiman<sup>1</sup>, Syafrul Hadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang  
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

Received 26 March 2018; Revised 26 April 2018; Accepted 29 April 2018, Published 30 April 2018  
<http://dx.doi.org/10.21063/JTM.2018.V8.22-26>

Academic Editor: Asmara Yanto ([asmarayanto@yahoo.com](mailto:asmarayanto@yahoo.com))

\*Correspondence should be addressed to [mr.arfidian.rachman@gmail.com](mailto:mr.arfidian.rachman@gmail.com)

Copyright © 2018 A. Rachman. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

#### Abstract

Energy use is a major problem in the vapor compression air cooling system, especially in areas with very hot weather conditions. In hot weather conditions, the performance of the system has decreased dramatically and electricity consumption has increased significantly. Combined Condenser with evaporative cooling will increase the heat removal process by using an evaporative cooling effect that will increase the efficiency of energy use. This paper presents the study of the use of evaporative cooling and condenser. This paper mainly calculated energy consumption in steam compression cooling systems and related problems. From the results of this study, the use of condensers with evaporative cooling, power consumption can be reduced to 46% and performance coefficient (COP) can be increased by about 12%, with 1,2 kW cooling capacity.

**Keywords:** Energy saving, Condenser, Evaporative cooling, COP.

### 1. Pendahuluan

Energi adalah faktor yang sangat penting dalam mendorong perkembangan ekonomi yang kuat untuk pertumbuhan di negara mana pun. Dengan meningkatnya harga bahan bakar fosil [1-2]. Penghematan dan pengurangan konsumsi energi ini, membantu mengurangi pemanasan global.

Peningkatan standar hidup dan permintaan untuk kenyamanan manusia telah menyebabkan peningkatan konsumsi energi. Jumlah energi yang dikonsumsi oleh AC, lemari es, dan pemanas air meningkat dengan cepat, dan menempati sekitar 30% dari total konsumsi daya [3]. Konsumsi listrik untuk sistem pendingin udara telah diperkirakan sekitar 45% untuk bangunan perumahan dan komersial [4]. Karena pertumbuhan pesat dalam populasi dunia dan ekonomi, total konsumsi energi dunia diproyeksikan meningkat sekitar 71% dari 2003 hingga 2030 [5]. Oleh karena itu, setiap upaya

untuk mengurangi konsumsi energi sistem pendingin secara keseluruhan akan berkontribusi pada penghematan energi skala besar di tingkat internasional. Pengurangan konsumsi energi unit pendingin dapat dicapai dengan meningkatkan kinerja. Hal ini dapat dilakukan dengan menurunkan konsumsi daya kompresor, meningkatkan kapasitas pembuangan panas kondensor, atau mengurangi perbedaan antara tekanan kondensor dan evaporator.

Suhu kondensasi yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan rasio tekanan di seluruh kompresor, sehingga meningkatkan kerja kompresor dan dengan demikian mengurangi umur kompresor dan koefisien kinerja (COP). Suhu udara luar ruangan yang tinggi di atas 35°C di musim panas adalah salah satu alasan, yang menyebabkan penurunan koefisien kinerja (COP) sebagian besar unit berpendingin udara ke kisaran 2,2-2,4 [6]. Selain

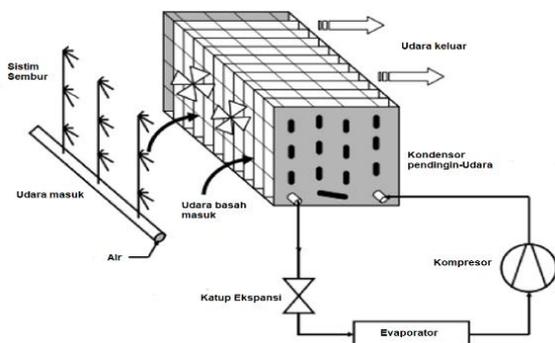
itu, jika suhu ini tetap di atas 45°C untuk jangka waktu yang lama, AC akan *over trip* karena tekanan kerja kondensor yang berlebihan. Chow dan Cengel [7-8] menyebutkan bahwa koefisien kinerja pendingin udara menurun sekitar 2-4% untuk setiap 1°C peningkatan suhu kondensor.

Di negara Timur Tengah, suhu atmosfer selama musim panas mendekati 40–45°C kadang-kadang lebih tinggi. Selama kondisi ini, kompresor AC bekerja terus menerus dan mengkonsumsi lebih banyak daya listrik dan COP menurun [9]. Oleh karena itu, diperlukan untuk menurunkan suhu udara sekitar sebelum melewati koil kondensor, untuk menurunkan suhu dan tekanan kondensor. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan pendinginan evaporatif, yang menurunkan suhu kondensasi dari suhu bola kering di luar ruangan hingga mendekati suhu bola basah [10]. Efisiensi pendinginan evaporatif pada dasarnya tidak terpengaruh oleh suhu lingkungan yang tinggi di iklim kering. Manfaat pendingin evaporatif paling signifikan selama periode puncak utilitas ketika perbedaan antara suhu bola kering dan basah terbesar [11]. Ini dapat menghasilkan penghematan energi dan permintaan secara keseluruhan secara signifikan karena setiap pengurangan kecil dalam konsumsi listrik di sektor perumahan dapat menghemat sejumlah besar energi [12-13].

## 2. Bahan dan Metode

### A. Alat Eksperimen

Sistem pendingin udara baru dengan gabungan kondensor dan pendinginan evaporative independen ditunjukkan secara skematik pada Gambar 1. Ini terutama terdiri dari pendingin evaporatif dan sistem pendingin kompresi uap, alat ukur, dan perangkat kontrol.



Gambar 1. Gabungan pendingin evaporatif-kondensor

### B. Pengukuran

Laju aliran air dari pendingin evaporatif jenis *sheel* dan *tube* diukur menggunakan pengukur aliran volume dengan akurasi  $\pm 0,5\%$ , total laju aliran udara kipas evaporatif dikontrol oleh konverter frekuensi. Anemometer digunakan untuk mengukur laju aliran udara (maksimum 4,8 m/s). Kelembaban relatif diukur menggunakan psikrometer dengan akurasi 1%. *Termogun* digunakan untuk mengukur berbagai suhu, dan data yang dikumpulkan dianalisa.

### C. Analisa Teoritis

Komponen sistem pendingin yang terdiri dari satu kompresor, pompa air pendingin evaporatif, dan kipas daya satu fase diukur dengan secara terpisah. Kapasitas pendinginan dapat dihitung dengan menerapkan persamaan keseimbangan energi sebagai berikut:

$$Q_c = \dot{m}_w C_{pw} (T_{in} - T_{out}) \quad (1)$$

Kapasitas pendinginan dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_c = \dot{m}_r (h_1 - h_3) \quad (2)$$

Selanjutnya, daya input kompresor dan kapasitas pemanasan juga dihitung dalam Persamaan 3 dan Persamaan (4):

$$W_{Komp} = \dot{m}_r (h_2 - h_1) \quad (3)$$

$$Q_h = \dot{m}_r (h_2 - h_3) \quad (4)$$

Kinerja keseluruhan dari sistem pendingin udara dievaluasi oleh koefisien kinerja (COP), yang dapat diperoleh dengan persamaan

$$COP_c = \frac{Q_c}{W_{Komp} + W_{pump,e} + W_{pump,c} + W_{fan,c}} \quad (5)$$

Sedangkan untuk kumparan kondensasi pada kondensor, pertukaran panas dari kondensor dipengaruhi oleh koefisien perpindahan panas ( $K_o$ ), yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$K_o = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k F_i} + \frac{1}{\alpha_{wa}}} \quad (6)$$

Menurut Prinsip dan Peralatan Pendinginan (Zhang 1987), koefisien perpindahan panas ( $k$ ) refrigeran di dalam kumparan kondensasi dihitung dalam Persamaan. (7).

$$\alpha_k = 0.683 r_s^{1/4} C_m (t_k - t_w)^{-1/4} d_i^{-1/4} \quad (7)$$

Nilai dari  $r_s^{1/4}$  dan  $C_m$  dengan perbedaan suhu yang dapat dilihat pada Tabel 1 (Zhang, 1987).

Tabel 1. Nilai dari  $r_s^{1/4}$  dan  $C_m$

T (°C)	0	10	20	30	40	50
$r_s^{1/4}$	21.26	21.039	20.792	20.513	20.192	19.811
$C_m$	86.68	83.30	79.65	75.81	71.65	66.84

Koefisien perpindahan panas untuk air ( $\alpha_w$ ) keluar dari koil kondensor dapat dihitung dalam persamaan (8) menurut referensi (Parker and Treybal, 1962).

$$\alpha_w = [982 + 15.58t_w] \left(\frac{\Gamma}{d_o}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

Koefisien perpindahan panas untuk udara ( $\alpha_{wa}$ ) keluar dari koil kondensor dihitung dalam persamaan (9) menurut referensi (Zhang, 1987).

$$\alpha_{wa} = 0.88 \frac{c\lambda_{wa}Re_{wa}^m Pr_{wa}^{0.36}}{d_o} \quad (9)$$

Nilai dari parameter  $C$  dan  $m$  dalam perbedaan suhu ditampilkan dalam Tabel 2

Tabel 2. Nilai dari parameter  $C$  dan  $m$

Re	Susunan tabung segaris		Susunan tabung bertingkat		S1/S2
	$C$	$m$	$C$	$m$	
<200-10 <sup>3</sup>	0.52	0.50	0.6	0.5	-
=10 <sup>3</sup> -2x10 <sup>5</sup>	0.27	0.63	0.35 (S1/S2) <sup>0.2</sup>	0.6	<2
>2x10 <sup>5</sup>	0.02	0.84	0.021	0.84	-

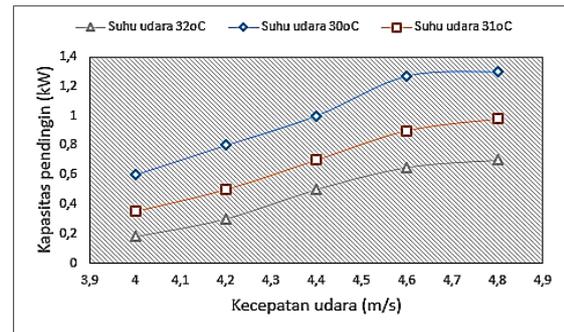
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### A. Pengaruh Suhu Udara Masuk Bola Kering

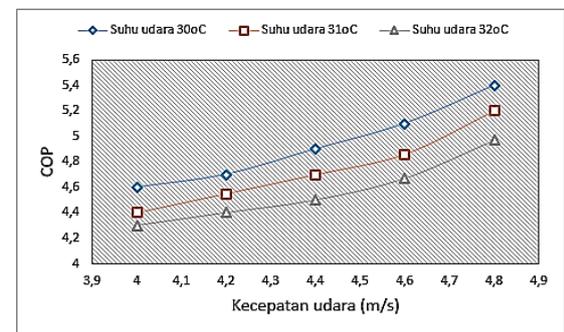
Untuk meningkatkan kinerja pendinginan sistem pendingin udara dengan pendingin evaporatif, banyak faktor yang mempengaruhinya. Sementara itu, untuk membatasi jumlah pengujian, hanya empat parameter kunci yang telah diuji: suhu air masuk pendingin evaporatif, suhu udara bola kering, kecepatan udara dan laju semprotan air. Oleh karena itu, pengujian eksperimental dilakukan dalam kondisi yang berbeda. Berdasarkan hasil eksperimen, sifat termodinamika dari refrigeran pada titik-titik yang berbeda dari siklus pendinginan diperoleh (gambar1) dan parameter seperti laju aliran massa, kapasitas pendinginan, daya input kompresor dan COP dari sistem juga dihitung.

Untuk kondisi suhu bola kering 30°C sampai 32°C, dengan kelembapan relatif 80%, pendingin evaporatif dengan variasi laju semburan 0,03kg/m.s sampai 0,05 kg/m.s, kecepatan udara 4 m/s sampai 4,8 m/s, dan di bawah kondisi frekuensi kompresor 50Hz variasi

kapasitas pendinginan dengan suhu air masuk evaporator diplot dalam Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Variasi kapasitas pendinginan dengan suhu bola kering dan kecepatan udara

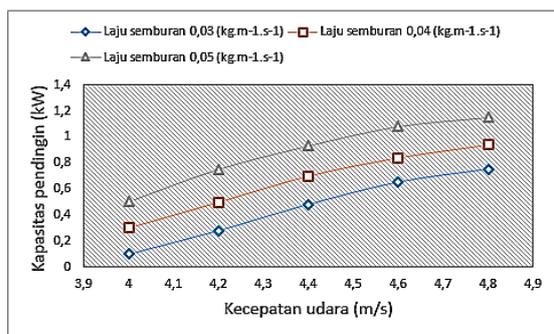


Gambar 3. Variasi COP dengan suhu udara bola kering dan kecepatan udara

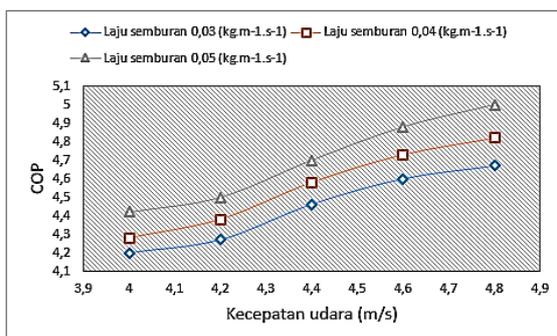
Dapat dilihat bahwa kapasitas pendinginan dan COP sistem pendingin udara dengan pendingin evaporatif akan meningkat ketika kecepatan udara meningkat dari 4 m/s hingga 4,8 m/s, namun kapasitas pendinginan dan COP dari sistem pendingin evaporatif menurun ketika suhu bola-kering meningkat dari 30°C menjadi 32°C Hal ini disebabkan bahwa suhu dan tekanan kondensasi meningkat dengan meningkatnya suhu bola kering, sehingga kapasitas pendinginan spesifik menurun dan spesifik daya kompresor meningkat.

#### B. Pengaruh Kecepatan Udara dan Laju Air Semprot

Di bawah kondisi frekuensi kompresor 70Hz, kelembapan relatif 80%, suhu udara bola kering 32°C dan suhu air masuk pendingin evaporatif 27°C. Variasi kapasitas pendinginan dan COP dengan laju semprotan air dan kecepatan udara diplot dalam Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Variasi kapasitas pendinginan dengan laju air semprotan dan kecepatan udara



Gambar 5. Variasi kapasitas pendinginan dengan laju air semprotan dan kecepatan udara

Seperti yang terlihat pada Gambar 4 dan 5, ketika kecepatan udara 4,0 m/s dan laju air semprot meningkat dari 0,03 ke 0,05 kg/m-s, kapasitas pendinginan dan COP meningkat dari 0,4 menjadi 1,2 kW dan 4,4 hingga 4,9, masing-masing. Alasan utamanya adalah bahwa air pendingin membasahi gulungan kondensasi lebih baik dengan meningkatnya laju air semprot dari 0,03 hingga 0,05 kg/m-s, dan uap air yang menguap juga meningkat. Oleh karena itu, koefisien perpindahan panas dan transfer massa yang lebih tinggi akan meningkat karena laju semprotan yang lebih tinggi. Selanjutnya, perbedaan suhu antara air pendingin dan refrigeran menurun dengan meningkatnya laju air semprot, dan suhu kondensasi juga menurun. Jadi, kapasitas pendinginan dan COP meningkat dengan meningkatnya semprotan air.

Di sisi lain, kapasitas pendinginan dan COP dari sistem pendingin udara dengan kondensor-pendingin evaporatif meningkat dengan kecepatan udara meningkat dari 4 m/s menjadi 4,8 m/s. Dengan kondisi semprotan air adalah 0,04 kg / m-s, kapasitas pendinginan dan COP meningkat dari 0,23 menjadi 0,8 kW dan 4,2 menjadi 4,8 berturut-turut. Ini terutama karena kecepatan udara yang lebih tinggi meningkatkan koefisien penukar panas, dan suhu kondensasi dan menurunkan tekanan.

## 4. Simpulan

Dari penelitian telah dilakukan, peningkatan kinerja sistem pendingin udara dengan gabungan kondensor-pendingin evaporatif, dan variasi antara faktor-faktor yang dipengaruhi, seperti suhu masuk air evaporator, suhu bola-bola kering, kecepatan udara dan tingkat semprotan air, kapasitas pendinginan, COP telah dianalisis. Kesimpulan utama didapatkan sebagai berikut.

Uji eksperimental menunjukkan bahwa kapasitas pendinginan dan COP dari sistem pendingin udara dengan gabungan kondensor-pendingin evaporatif meningkat secara signifikan dengan meningkatnya suhu masuk air evaporator, kecepatan udara dan laju semprotan air. COP meningkat 12% dengan kecepatan udara meningkat dari 4,0 menjadi 4,8 m/s dan dengan laju semprotan meningkat dari 0,03 sampai 0,05 kg/m-s.

Juga ditemukan bahwa peningkatan suhu udara bola kering akan menurunkan COP.

## Referensi

- [1] B. Choudhury, P. K. Chatterjee and J.P. Sarkar, "Review paper on solar-powered air conditioning through adsorption route," *Renew Sustain Energy*, Rev 2010; 14:2189–95.
- [2] M. M. Rahman and H. Y. Rahman, "Performance of newly developed integrated space conditioning and domestic water heating device," *J Energy Environ*, 2011; 5:23–7.
- [3] K. A. Jahangeer, A. O. Andrew and Md. Raisul, "Numerical investigation of transfer coefficients of an evaporatively cooled condenser," *Appl Therm Eng*, 2011; 31:1655–6.
- [4] N. Kalkan, E. A. Young, A. Celestas, "Solar thermal air conditioning technology reducing the footprint of solar thermal air conditioning," *Renew Sustain Energy*, Rev 2012; 16:6352–63.
- [5] P. Wimolsiri, "Solar cooling and sustainable refrigeration," <http://www.egi.kth.se/proj/courses/4A1623/files/ARHPTSustainRefrig2005.pdf>.
- [6] J. C. Lam, "Residential sector air-conditioning loads and electricity use in HongKong," *Energy Convers Manag*, 2000; 41:1757–68.
- [7] T. T. Chow and X. Y. Yang, "Placement of condensing units of split-type air conditioners at low-rise residences," *Appl Therm Eng*, 2002; 22:143–14.

- [8] Y. A. Cengel and M. A., “*Boles Thermodynamics: An Engineering Approach*,” 3<sup>rd</sup> Edition.
- [9] S. Nikhil, “Study and optimization of performance parameters of air-conditioner by using waste water of water-cooler,” *Int J Emerg Technol Adv Eng*, 2014; 4:2250-24. Boston: McGraw-Hill; 1998.
- [10] R. J., “*Dossat Principal of refrigeration*,” New Jersey: Prentice Hall; 1991. Christine B. Evaporative condenser lab and field-test results; 2012.
- [11] H. M. Ettouney, H. El-Dessouky, W. Bouhamra and B. Al-Azmi, “*Performance of evaporative condensers*,” *Heat Transf Eng*, 2001; 22:41–55.
- [12] H. Hajidavalloo, “Application of evaporative cooling on the condenser of window-air-conditioner,” *Appl Therm Eng*, 2007; 27:1937-19.
- [13] W. K. Brown, “*Fundamental concepts integrating evaporative techniques in HVAC systems*,” ASHRAE Trans 1990; 96(Part1):1227–35.