



Pemanfaatan Air Kondensat Untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Dan Efisiensi AC Split

Rudi Rustandi

Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds Ciwaruga, Bandung, Telp dan Fax (022) 2013789 dan 2013788

e-mail: rustandis@gmail.com

Abstrak

Sistem AC split banyak digunakan untuk pendinginan ruangan komersil atau rumah tinggal untuk memperoleh kenyamanan termal. Pada sistem AC split ketika bekerja selalu menghasilkan air kondensat yang berasal dari kondensasi uap air di evaporator. Air kondensat ini pada umumnya di buang melalui saluran drain, dan tidak dimanfaatkan. Padahal air tersebut temperaturnya cukup rendah, yaitu sekitar 5 – 10 °C, sehingga bisa digunakan untuk pendinginan. Pada penelitian ini dilakukan pemanfaatan air kondensat untuk mendinginkan saluran discharge kompresor, dimana menurut teori penurunan temperature discharge akan menaikkan unjuk kerja dari sistem refrigerasi. Pengujian dilakukan menggunakan AC split kapasitas kompresor 1 HP (746 Watt). Pada saluran discharge AC split dilakukan modifikasi dengan menambah pipa, sehingga pipa tersebut bisa direndam dalam bak penampung air kondensat dari evaporator. Pengamatan unjuk kerja dilakukan selama 3 jam, dimana data diambil setiap 10 menit. Berdasarkan data pengamatan dilakukan perhitungan unjuk kerja dan dilakukan perbandingan antara operasi AC split dengan dan tanpa pemanfaatan air kondensat. Dari hasil pengujian dan perhitungan didapat data sebagai berikut: COP actual rata-rata naik 2,6%, yaitu dari 6,12 menjadi 6,28. Sedangkan daya yang dikonsumsi kompresor turun sekitar 6%, yaitu dari 606,2 W menjadi 570 W. Hasil-hasil di atas menunjukan potensi penghematan energi listrik yang dikonsumsi oleh AC split.

Kata kunci: AC split, Air kondensat, pendinginan saluran discharge.

ABSTRACT

Split air conditioning system is used for achieving thermal comfort in residential and commercial rooms. This sistem produces water as by product of

room air cooling. The water usually just drained out without utilized for other purpose. However, the water temperature is low, so actually it is useful for cooling the discharge line of the refrigeration system for improving its efficiency. This research utilized condensat from evaporator for cooling discharge line of split type air conditioning system of 1 HP capacity. At the discharge line was added another line, paralel with the existing, immersed in a bath containing condensat from evaporator. Performance test is done for 3 hours operation, the data are taken for without and with condensat utilization. Results show there were some improvement in actual COP and kompresor consumed power. Average actual COP without and with condensat utylization are 6.12 and 6.28 respectively (2,6 % improvement). Meanwhile compressor consumed power decreased about 6 %, that was from 606.2 W to 570 W. The results showed that there are electrical energy saving potential by utilizing condensat for cooling discharge line of split type air conditioning system.

Keyword : Split type, Condensat, cooling discharge line.

1. PENDAHULUAN

AC split adalah alat pendingin ruangan yang banyak dijumpai penggunaannya di ruangan kantor atau ruangan komersial seperti hotel, restoran, dan toko-toko penjual kebutuhan sehari-hari[1]. Alat ini sangat vital dalam menciptakan kondisi nyaman yang bisa mendukung peningkatan produktivitas kerja dari penghuni, tetapi banyak mengkonsumsi energi listrik, sehingga usaha-usaha untuk meningkatkan kinerjanya, yang bisa menghemat penggunaan energi, sangatlah diperlukan. Salah satu cara untuk meningkatkan unjuk kerja adalah peningkatan pendinginan di daerah saluran discharge sampai kondenser.



Pada sistem AC split di bagian evaporator selalu terbentuk kondensat karena kondensasi uap air yang ada di udara ruangan yang dikondisikan. Air kondensat tersebut biasanya di buang ke luar ruangan melalui saluran drain, tanpa dimanfaatkan. Temperatur air kondensat cukup rendah biasanya sekitar 9 – 15 °C [7], sehingga bisa dimanfaatkan untuk membantu pendinginan refrigeran di daerah discharge kompresor.

Untuk memanfaatkan air kondensat maka dibuat suatu wadah untuk menampung air tersebut, kemudian air kondensat disalurkan ke wadah tersebut. Saluran discharge dari kompresor dirubah supaya melewati wadah tersebut dan terendam oleh air kondensat, sehingga terjadi proses pendinginan. Untuk mengetahui peningkatan efisiensi yang bisa diperoleh maka dilakukan pengujian menggunakan AC split dengan kapasitas 1 PK.

LANDASAN TEORI

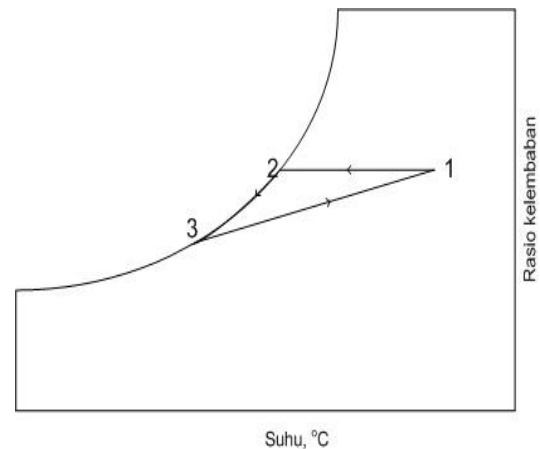
AC split terdiri dari dua bagian yaitu *indoor unit* dan *outdoor unit*. *Indoor unit* diletakan pada bagian dalam ruangan yang berfungsi untuk menyerap kalor dari ruangan, sedangkan *outdoor unit* diletakan diluar ruangan yang dikondisikan, berfungsi untuk melepas kalor keluar ruangan.

Sistem refrigerasi yang biasa digunakan pada AC split di Indonesia saat ini adalah sistem refrigerasi kompresi uap. Pada bagian *outdoor unit*, sistem refrigerasi kompresi uap memiliki saluran discharge yaitu saluran keluaran kompresor yang menuju ke kondensor. Pipa discharge merupakan pipa bertemperatur paling tinggi dari sistem refrigerasi. Pada bagian *Indoor unit*, sistem refrigerasi kompresi uap biasanya memiliki drainase atau saluran pembuangan air hasil kondensasi uap air di evaporator.

Kondensasi di Evaporator

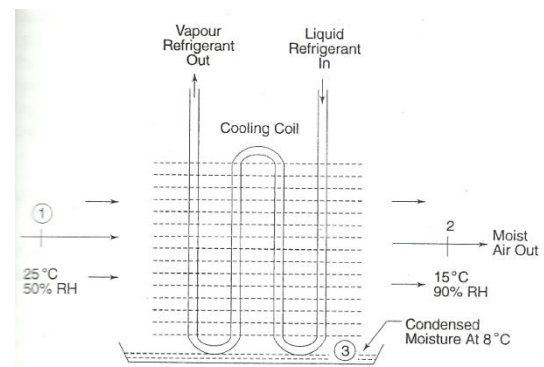
Terjadinya kondensat di evaporator bisa dijelaskan dengan bantuan diagram psikrometrik. Proses pendinginan udara ruangan yang dikondisikan bila digambarkan pada karta psikrometrik akan diperoleh gambar seperti pada Gambar 1 [1]. Penurunan temperatur akan menyebabkan temperatur udara mencapai temperatur *dew point*, 2, yaitu temperatur dimana uap air yang terkandung di udara tersebut mulai berkondensasi. Adanya kondensasi uap air yang dikandung udara menyebabkan turunnya rasio kelembaban udara tersebut (proses 2-3), beban kalor dari ruangan yang berupa kalor sensibel dan kalor laten menyebabkan udara keluaran koil

pendingin (evaporator) temperatur dan rasio kelembabannya naik (proses 3-1).



Gambar 1. Proses Pendinginan Udara pada AC split

Perpindahan kalor dan massa suatu koil pendingin (pipa evaporator) dan penurunan kelembaban bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses perpindahan panas dan massa pada pipa evaporator

Anggap udara lembab masuk pada kondisi (1) dan keluar pada kondisi (2), dan uap air yang berkondensasi keluar pada kondisi (3).

Persamaan kontinuitas dan kesetimbangan udara kering dengan uap air :

$$m_{a1} = m_{a2} = m_a \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$m_{w3} = m_a(w_1 - w_2) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan energi steady :

$$Q + m_a h_1 = m_a h_2 + m_{w3} h_{w3}$$

$$Q + m_a h_1 = m_a h_2 + m_a (w_1 - w_2) h_{w3}$$

Dengan:

m_{a1} = massa udara kering 1

m_{a2} = massa udara kering 2

w = rasio kelembaban

Q = kapasitas pendinginan

h = entalpi.



Sehingga kondensat yang dihasilkan bisa dihitung dengan persamaan :

$$m_a (w_1 - w_2) h_{w3} = Q + m_a h_1 - m_a h_2$$

$$m_{w3} = (Q + m_a h_1 - m_a h_2) / h_{w3}$$

Besarnya kalor yang bisa diambil oleh air kondensat dari refrigeran di saluran discharge bisa dihitung dengan persamaan:

$$Q_p = m c_p (t_2 - t_1) \dots\dots\dots (6)$$

dengan :

Q_p = kalor yang diambil dari saluran discharge

m = massa air kondensat

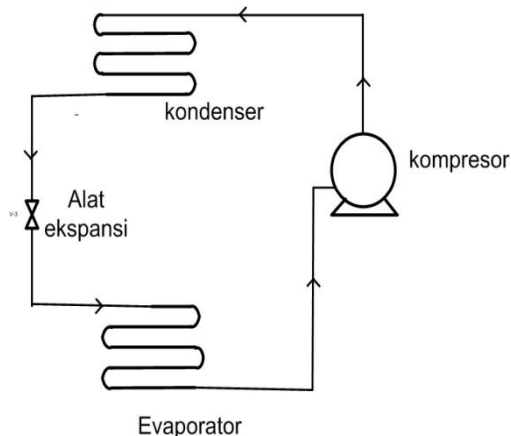
c_p = kalor spesifik air

t_2 = temperatur air kondensat akhir

t_1 = temperatur air kondensat awal.

Sistem Refrigerasi kompresi uap

Sistem refrigerasi untuk AC split umumnya adalah sistem refrigerasi kompresi uap. Diagram pemipaan untuk sistem refrigerasi kompresi uap sederhana adalah seperti Gambar 2.3.

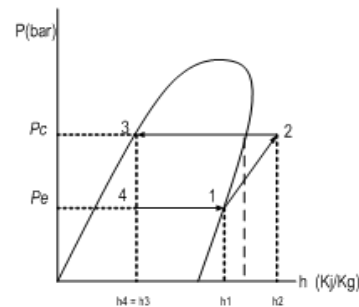


Gambar 3. Diagram pemipaan Sistem Refrigerasi kompresi uap sederhana

Komponen utama dari sistem refrigerasi kompresi uap ada 4, yaitu :

1. Kompresor
2. Kondenser
3. Alat ekspansi
4. Evaporator.

Proses yang dialami refrigeran bila digambarkan pada diagram Molier adalah seperti gambar 4.



Gambar 4. Siklus Refrigerasi kompresi uap Sederhana

Untuk sistem refrigerasi kompresi uap kemampuan kerja dinyatakan oleh koefisien yang dinamakan *Coefficient of performance (COP)*, dan efisiensi sistem.

COP dari sistem refrigerasi terdiri dari COP ideal , dikenal dengan nama COP Carnot, dan COP aktual. COP Carnot adalah nilai teoritis maksimal yang bisa dicapai suatu sistem refrigerasi, sedangkan COP aktual adalah COP sebenarnya yang dihasilkan suatu sistem refrigerasi. Efisiensi refrigerasi adalah perbandingan antara COP aktual dengan COP carnot.

COP Carnot sistem refrigerasi dihitung dengan persamaan :

$$COP_C = T_2 / (T_1 - T_2) \dots\dots\dots (7)$$

dengan : COP_C = COP Carnot

T_2 = Temperatur Evaporasi refrigeran (Kelvin)

T_1 = Temperatur kondensasi refrigeran (Kelvin)

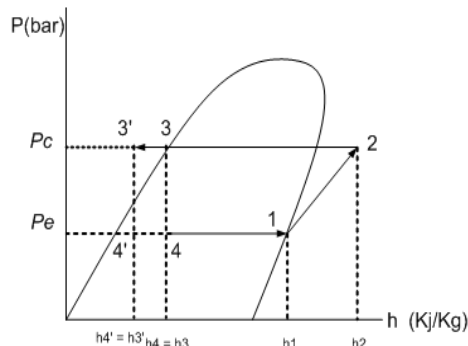
$$COP \text{ aktual} : COP_{\text{aktual}} = Q_E / W_K \dots\dots\dots (8)$$

dengan :

Q_E : Kalor yang diserap evaporator

W_K : Kerja yang diberikan ke kompresor

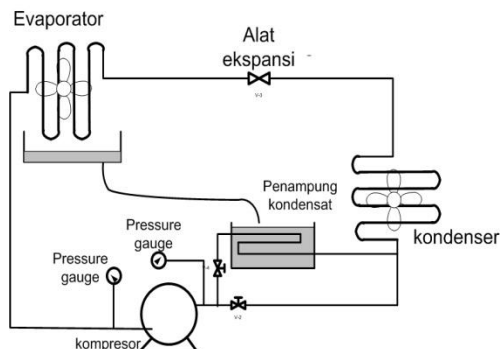
Pemanfaatan kondensat untuk pendinginan pada saluran discharge, bisa membantu pendinginan di kondenser, hal ini bisa menyebabkan terbentuknya cairan refrigeran *subcooled* pada keluaran kondenser. Adanya kondisi *subcooled* bisa menyebabkan unjuk kerja (COP) sistem meningkat karena efek pendinginannya bertambah. Hal ini terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh penambahan pendinginan pada saluran discharge

2. METODOLOGI

Skema Instalasi pemanfaatan air kondensat terlihat pada gambar 6. Pada saluran discharge kompresor yang sudah ada ditambahkan saluran baru yang dilewatkan ke dalam penampung air kondensat, sehingga saluran discharge menjadi ada dua. Untuk mengatur saluran mana yang beroperasi pada ke dua saluran tersebut dipasang katup manual.



Gambar 6. Diagram pemipaan pemanfaatan kondensat untuk pendinginan saluran discharge

Penentuan Panjang Pipa yang direndam di bak kondensat

Untuk menentukan panjang pipa yang direndam di dalam bak penampung kondensat, data perancangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Pipa 3/8"	: 3/8"
Diameter luar pipa (D_o)	: 9.53×10^{-3} m
Diameter dalam pipa (D_i)	: 9.00×10^{-3} m
Temperatur discharge	: 60 °C
Temperatur evaporasi	: 2 °C
Temperatur air	: 25 °C
Temperatur drain	: 18 °C
ΔT Precooler	: 5 °C
Kapasitas pendinginan	: 10000 Btu/H.

Dengan menggunakan persamaan-persamaan perpindahan kalor konveksi di dalam pipa diperoleh panjang pipa, $L = 1.346$ m

PENGUJIAN

Pengujian dilakukan dengan dan tanpa pemanfaatan air kondensat dari evaporator, besaran-besaran yang diukur adalah:

1. Suhu dan tekanan isap kompresor
2. Suhu dan tekanan discharge kompresor
3. Suhu refrigeran masuk dan keluar kondenser
4. Suhu rata-rata evaporator
5. Suhu air kondensat
6. Suhu ruangan
7. Arus listrik kerja kompresor
8. Tegangan listrik.
9. Suhu lingkungan

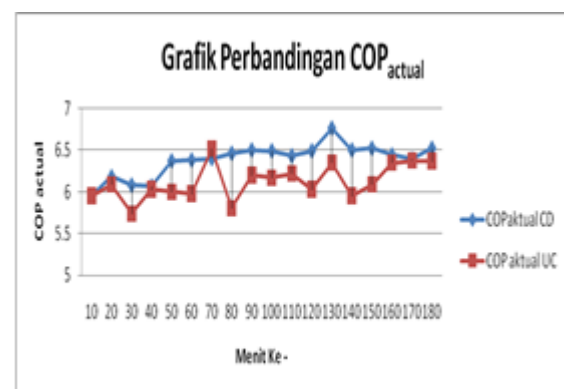
Pengukuran suhu evaporator, ruangan, dan air kondensat dilakukan setiap 5 menit

Pada pengujian dengan pemanfaatan air kondensat selain besaran di atas, dilakukan pengukuran temperatur air kondensat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

*COP*actual Sistem

Perbandingan *COP*actual UNTUK kedua sistem terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini :



Gambar 7. Grafik Perbandingan *COP*actual Sistem Tanpa Pendinginan (UC) dan Sistem yang Menggunakan Pendinginan Drain (CD) Pada Saluran Discharge.

Semakin tingginya *COP*actual mengindikasikan semakin baiknya performansi atau kinerja dari suatu sistem refrigerasi. Grafik perbandingan *COP*actual diatas menunjukkan bahwa *COP*actual sistem yang

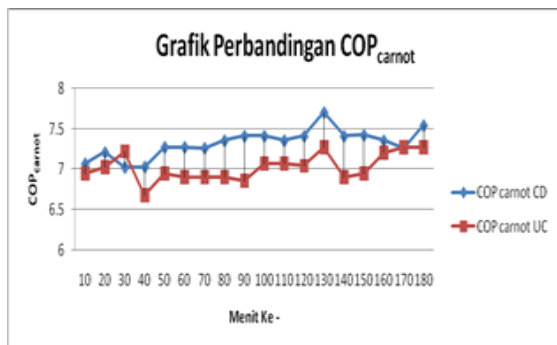


memanfaatkan drain evaporator untuk mendinginkan saluran *discharge* rata-rata lebih tinggi jika dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan pendinginan pada saluran *discharge*. *COP_{actual}* sistem sangat dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur, dengan mendinginkan saluran *discharge*, maka temperatur dan tekanan *discharge* akan turun, sehingga *COP_{actual}* sistem akan naik jika tekanan suction tetap.

Rata – rata *COP_{actual}* sistem yang tidak memanfaatkan drain evaporator untuk mendinginkan saluran *discharge* adalah 6,123, sedangkan rata – rata *COP_{actual}* sistem yang memanfaatkan pendinginan pada saluran *discharge* memiliki rata-rata *COP_{actual}* yang lebih besar yaitu 6,385.

4.4.2 *COP_{carnot}* Sistem

Perbandingan *COP_{carnot}* dari sistem yang tidak memanfaatkan drain evaporator dengan sistem yang memanfaatkan drain evaporator untuk mendinginkan saluran *discharge*nya terlihat pada Gambar 8.

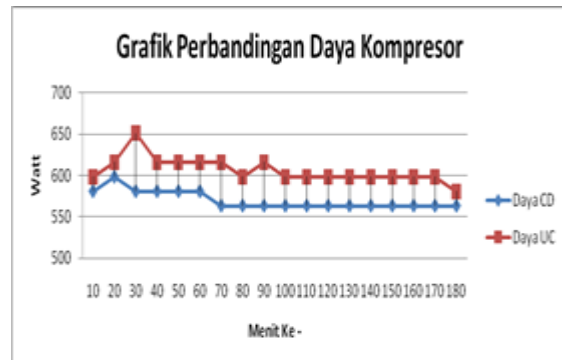


Gambar 8. Grafik Perbandingan *COP_{carnot}* Sistem Tanpa Pendinginan (UC) dan sistem yang Menggunakan Pendinginan Drain (CD) Pada Saluran *Discharge*-nya.

Rata – rata *COP_{carnot}* sistem yang memanfaatkan drain evaporator sedikit lebih tinggi dibandingkan tanpa pemanfaatan, yaitu 7,317 untuk yang memanfaatkan dan 7,022 yang tidak memanfaatkan. Hal ini disebabkan oleh turunnya temperatur kondensasi pada kondenser dengan adanya pendinginan saluran *discharge* oleh kondensat.

Daya Kompresor

Perbandingan konsumsi daya yang dibutuhkan kompresor terlihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Daya Kompresor Tanpa Pendinginan (UC) dan dengan Pendinginan Drain (CD) Pada Saluran *Discharge*-nya.

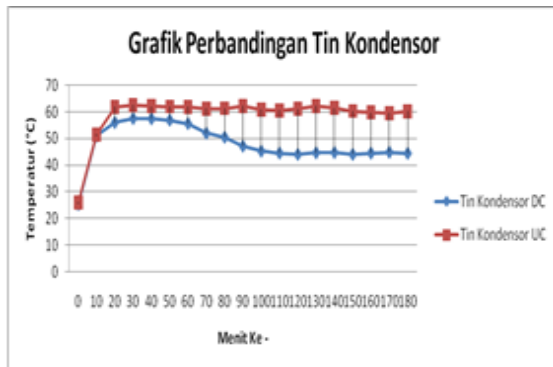
Daya yang dibutuhkan kompresor untuk sistem yang tidak menggunakan pendinginan pada saluran *discharge*nya relative lebih besar jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan pendinginan drain evaporator pada saluran *discharge*nya. Rata – rata daya sistem tanpa pendinginan saluran *discharge* adalah 606.2 W, sedangkan rata – rata daya kompresor sistem yang salurannya didinginkan dengan menggunakan drain evaporator adalah sebesar 570 W. Dari percobaan ini terjadi penghematan penggunaan energi listrik rata-rata sebesar:

$$606,2 - 570 = 36,2 \text{ watt, atau sebesar sekitar } 6 \text{ \%}.$$

Temperatur Masuk Kondensor

Grafik perbandingan temperatur pipa refrigeran masuk kondensor dapat dilihat pada gambar 11.

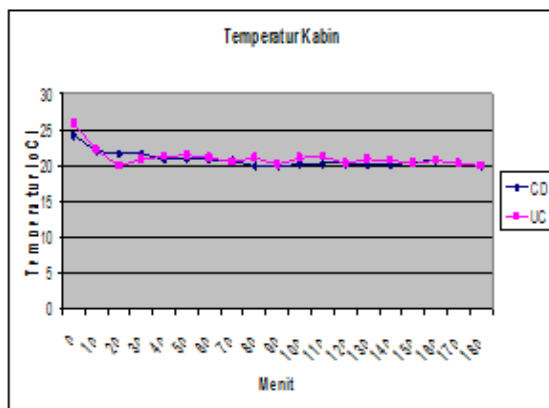
Temperatur refrigeran masuk kondensor sistem dengan memanfaatkan Pendinginan drain evaporator lebih rendah jika dibandingkan dengan Temperatur refrigeran masuk kondensor sistem yang tidak menggunakan pendinginan drain. Pada sistem yang menggunakan pendinginan drain evaporator sejumlah kalor dari refrigeran yang akan masuk ke kondensor telah dilepas ke drain, sehingga temperatur masuk kondensor-nya lebih rendah.



Gambar 10. Gambar Perbandingan Tin Kondensor Sistem Tanpa Pendinginan (UC) dan Sistem dengan Pendinginan Drain (CD) Pada Saluran *Discharge*-nya.

Temperatur ruangan

Dari data yang hasil pengukuran, diperoleh kondisi perubahan temperatur ruangan seperti Gambar 4.7



Gambar 11. Grafik Temperatur ruangan/kabin terhadap waktu

Dari gambar di atas terlihat bahwa pengaruh pada temperatur ruangan tidak jauh berbeda, antara kondisi pemanfaatan dengan tidak, karena dipengaruhi oleh seting termostat.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian diperoleh kesimpulan :

1. COP aktual sistem dengan pemanfaatan kondensat dari evaporator untuk mendinginkan saluran discharge sedikit lebih tinggi daripada tanpa pemanfaatan, yaitu masing-masing 6,385 dan 6,123.
2. Kerja kompresor sistem dengan pemanfaatan kondensat lebih rendah dari sistem tanpa pemanfaatan yaitu masing-masing 570 W dan 606,2 W, atau dengan pemanfaatan kondensat untuk pendinginan saluran discharge terjadi penurunan kerja kompresor sekitar 6%.
3. Temperatur ruangan untuk kedua sistem yang diuji menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda.

Daftar Pustaka

- [1] **Stoecker, WP, dan Hara, S.,** *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga,
- [2] Jakarta, 1996
- [3] **Arora, CP,** *Refrigeration and Air Conditioning*, Tata McGraw-Hill Publishing Co. Ltd, New Delhi, 1984
- [4] *ASHRAE Handbook of Refrigeration*, American Society Of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 1999
- [5] *ASHRAE Handbook of Fundamental*, American Society Of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2001
- [6] **Dossat, Roy J.,** *Principles of Refrigeration*, 2nd. Ed., John Willey & Sons, New York, 1981
- [7] **Whitman W.C., and W.M. Johnson,** *Refrigeration an Air Conditioning Technology*, Delmar Publishers Inc., Albany NY, 1988
- [8] **7. Althouse,** *Modern Refrigeration and Air Conditioning*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1988