

## PENGARUH *HEAT RECOVERY* PADA SISTEM REFRIGERASI PENGKONDISIAN UDARA TERHADAP PERFORMANSI SISTEM

**I Nengah Ardita\*, I Putu Sastra Negara**

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali  
Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan (0361) 701981

\* [arditainengah@yahoo.com](mailto:arditainengah@yahoo.com)

**Abstract.** Konservasi energi adalah suatu aktivitas rekayasa untuk penghematan energi, tanpa mengorbankan prinsip teknis, keamanan, kenyamanan. Yang menjadi *trend topic* saat ini adalah penghematan yang dilakukan pada peralatan refrigerasi dan pengkondisian udara, baik yang ada di industri, perhotelan dan rumah tangga. Salah satu yang dilakukan adalah pemanfaatan panas kondensator untuk memanaskan air keperluan mandi. Peralatan yang digunakan untuk memanfaatkan energi yang terbuang pada kondensator adalah *heat recovery* unit. Refrigeran yang digunakan pada sistem refrigerasinya beragam sehingga panas yang bisa dimanfaatkan juga bervariasi. Di samping itu, juga untuk mengetahui efek yang ditimbulkan akibat pemasangan HRU terhadap *performance* sistem. Kegiatan penelitian mencakup perancangan, pembuatan peralatan *heat recovery*, pengujian dan analisis. Adapun refrigeran yang digunakan adalah R-134a, R404a. Analisis data dilakukan dengan menggunakan kaidah-kaidah termodinamika untuk mendapatkan besaran-besaran yang diinginkan seperti efek refrigerasi, *heat recovery* dan COP. Dari hasil pengujian didapatkan besarnya *heat recover* pada masing-masing refrigeran berkisar 14÷20% dari total panas yang dilepas kondensator. Dengan *heat recovery* dapat meningkatkan COP sistem refrigerasi berkisar 10%.

**Kata Kunci;** *Heat recovery, efek refrigerasi dan COP*

## HEAT RECOVERY EFFECT ON THE SYSTEM PERFORMANCE OF THE AIR CONDITIONING REFRIGERATION SYSTEM

**Abstract;** *Energy conservation is an engineering activity for energy savings, without compromising technical principle, safety and comfort. Saving energy done on refrigeration and air conditioning in the industries, hotels and households is a trending topic nowadays. One of the activities is the utilization of condenser heat to heat bathing water. The equipment used to harness the energy wasted in the condenser is heat recovery unit. There is various refrigerant used in refrigeration system to produce various heat. In addition, it is done to see effect resulted by the use of HRU to system performance. The research involved designing, manufacture heat recovery equipment, testing and analyzing. Refrigerant used in this research are R-134a and R-404a. Data was analyzed with thermodynamic formula to obtain the desired quantities, such as refrigeration effect, heat recovery and COP. The examination result showed that heat recovery amount in each refrigerant is about 14÷20% of the total heat wasted by condenser. The heat recovery was able to increase COP of refrigeration system about 10%.*

**Keyword ;** *Heat Recovery, Refrigeration effect, and COP*

### I. PENDAHULUAN

Konservasi energi adalah suatu aktivitas rekayasa untuk penghematan energi, tanpa mengorbankan prinsip teknis, keamanan, kenyamanan sehingga diperoleh *cost* yang paling optimal dan efisien sesuai harapan. Yang menjadi latar belakang diperlukannya konservasi energi adalah adanya pemborosan pemakaian energi, terbatasnya ketersediaan energi dan adanya indikasi harga energi semakin mahal..

Energi listrik sangat penting dalam menunjang

operasional industri perhotelan. Peralatan seperti refrigerator dan pengkondisian udara merupakan peralatan yang banyak mengkonsumsi energi listrik. Hampir sekitar 60% penggunaan energi listrik digunakan untuk sistem ini [1,2].. Dalam hal ini bisa terjadi suatu pemborosan energi yang mengakibatkan semakin besar biaya yang harus dikeluarkan. Untuk menanggulangi masalah tersebut dilakukan efisiensi energi dengan jalan melalui konservasi energi. Salah satu bentuk efisiensi energi yang telah dilakukan adalah penggunaan peralatan *heat recovery unit*

(HRU) pada air conditioning untuk pemanasan air. Peralatan ini sekarang sudah banyak dipasarkan baik untuk kepentingan rumah tangga maupun untuk industri misalnya di bidang pariwisata.

Pada sistem refrigerasi yang digunakan pada refrigerator maupun pada AC, menggunakan berbagai refrigeran. Misalnya untuk AC refrigeran yang digunakan; R22, R134a, R410a dll, sedangkan untuk refrigerator misalnya; R134a, R407c, R404a dll. Masing-masing refrigeran yang digunakan baik untuk AC maupun untuk refrigerator memiliki peluang *heat recovery* yang berbeda-beda. Untuk itu pada penelitian ini akan dibuat sebuah sistem refrigerasi untuk mengkaji besaran *heat recovery* yang bisa didapatkan pada berbagai refrigeran yang sejenis. Di samping itu, juga untuk mengetahui efek yang ditimbulkan akibat penambahan alat *heat recovery* pada sistem refrigerasi terhadap performansi dari sistem.

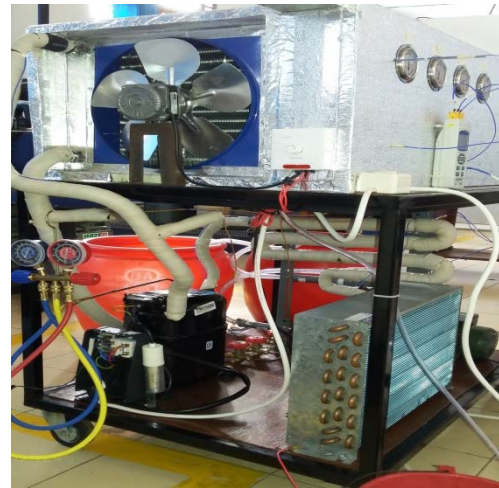
*Heat recovery* adalah suatu metode pengurangan penggunaan energi secara keseluruhan karena itu akan mengurangi biaya operasional. *Heat recovery* dalam konteks bangunan dan servis adalah pengambilan dan penggunaan kembali panas yang dihasilkan dari proses yang ada yang biasanya terbuang begitu saja. Pada sistem refrigerasi dan pengkondisian udara, panas yang terbuang terjadi pada komponen kondensator. Sekitar 20% panas yang terbuang di kondensator terjadi pada proses *desuperheating* dan sebagian besar pada proses kondensasi [3,4]. Panas yang terbuang ini punya potensi untuk dimanfaatkan kembali, misalnya untuk memanaskan air keperluan mandi. Proses *heat recovery* pada AC dapat dibagi menjadi dua yaitu; proses langsung (*direct*) yang juga disebut dengan *high-grade heat recovery* dan proses tidak langsung (*indirect*) yang juga disebut dengan *low-grade heat recovery*. Pada kajian ini akan dipilih jenis *high-grade heat recovery* [5].

## II. METODE PENELITIAN

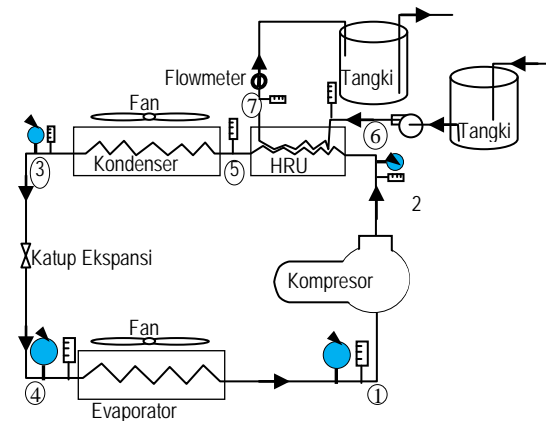
Penelitian ini dilaksanakan secara bertahap, yang mencakup: persiapan, studi literatur, perancangan dan pembuatan peralatan eksperimen, pengambilan data eksperimen, pengolahan data dan pembuatan laporan

### Perancangan Peralatan Eksperimen

Adapun peralatan penelitian menggunakan rangkaian seperti AC Split yang diletakkan di atas stand (rangka penyangga) termasuk *ducting*-nya. Kapasitas kompresor sistem yang digunakan adalah 1 Pk, sedangkan alat ukur yang digunakan berupa satu set thermocouple, RH meter, Tang Ampere, Avometer, Anemometer dan pressure gauge. Adapun peralatan eksperimen dan sketsa penempatan alat ukur pada peralatan penelitian seperti pada Gambar 2.1. dan Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Peralatan Pengujian



Gambar 2.2 Sketsa Penempatan Alat Ukur

### Metode Pengambilan Data

Semua data diambil setelah sistem dalam keadaan *steady state*. Jumlah data yang diambil sebanyak 8 jenis data dan masing-masing data dilakukan pengukuran sebanyak lima kali. Data yang diambil di antaranya: Data tanpa menggunakan HRU dan data dengan HRU untuk masing-masing refrigeran yaitu R134a, R404a.

### Parameter yang Diamati

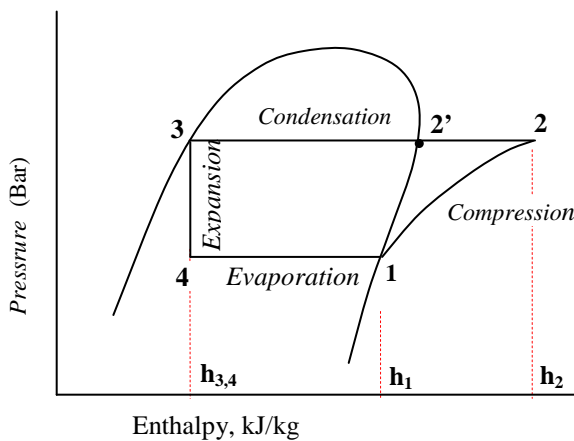
Ada dua data sistem yang diamati yaitu pada unit sistem refrigerasinya dan pada sistem tata udaranya. Pada sistem refrigerasi data yang diamati adalah tekanan dan temperatur disetiap *state* seperti terlihat pada Gambar 2.2, arus dan voltase listrik yang digunakan kompresor .

Pada sistem tata udaranya data yang diamati adalah kecepatan aliran udara melewati evaporator, kelembaban udara pada sisi masuk dan keluar evaporator. Waktu pengambilan data dilakukan tiap hari pada jam yang sama untuk menjamin kondisi pengujian yang sama. Data yang diambil untuk setiap variabel bebas adalah sebanyak 5 kali. Dari data yang didapatkan selanjutnya dihimpun ke dalam suatu tabel pengamatan data.

**Analisis Data**

Dari data eksperimen yang didapat, kemudian dilakukan pengolahan data dengan menggunakan kaidah-kaidah termodinamika untuk mendapatkan besaran-besaran yang diinginkan. Data sistem refrigerasi rata-rata nantinya diplot ke dalam p-h diagram untuk mendapatkan besaran enthalpy pada masing-masing state yang nantinya digunakan untuk menghitung besaran; efek refrigerasi, daya yang dibutuhkan, COP dan *Q heat recovery* sistem. Kemudian dari besaran-besaran yang didapat dilakukan analisis dengan statistik deskriptif kuantitatif.

P-h Diagram Siklus Kompresi Uap menyangkut empat hal pokok yaitu penguapan – kompresi – pengembangan dan ekspansi, begitu seterusnya [6,7]. Hal ini dapat digambarkan seperti pada Gambar-2.3, untuk mempermudah perhitungan perancangan ataupun pemeriksaan terhadap kondisi operasinya.



Gambar-2.3 P-h Diagram Siklus Refrigerasi Kompresi.

**Efek Refrigerasi (Refrigeration Effect)**

Efek refrigerasi (ER) merupakan jumlah kalor yang diserap oleh refrigeran di dalam evaporator untuk setiap satu satuan massa refrigeran, terjadi pada proses 4 ke 1.

$$ER = h_1 - h_4 \quad (\text{kJ/kg}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana;

$h_1$  = enthalpy refrigeran pada sisi ke luar evaporator, (kJ/kg).

$h_4$  = enthalpy refrigeran pada sisi masuk evaporator, (kJ/kg).

Dengan mengetahui harga ER dan besarnya massa refrigeran yang dapat diupkan tiap satu satuan waktu pada evaporator, maka dapat ditentukan besarnya kapasitas pendinginan (*Cooling Capacity*) dari sistem refrigerasi tersebut.

$$KR = ER \cdot \dot{m}_r \quad (\text{kJ/s}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

$\dot{m}_r$  = laju aliran massa refrigeran (kg/s).

**Kerja Kompresi ( $W_k$ )**

Kerja kompresi ( $W_k$ ) yang dibutuhkan pada proses kompresi uap refrigeran di dalam kompresor yang berlangsung secara *adiabatic reversible* ( $q = 0$ ), maka

$$W_k = h_2 - h_1 \quad (\text{kJ/kg}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

dimana;  
 $h_2$  = enthalpy refrigeran pada sisi ke luar kompresor, (kJ/kg).

**Coefficient of Performance (COP)**

Koefisien prestasi (COP) adalah suatu koefisien yang besarnya sama dengan efek refrigerasi (ER) dibagi dengan kerja kompresi ( $W_k$ )

$$COP = (ER) / (W_k) \quad \dots\dots\dots (4)$$

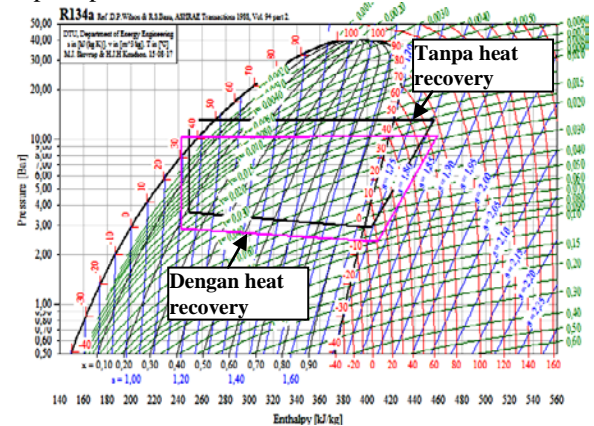
**High grade heat recovery ( $Q_r$ )**

$$Q_r = \dot{m}_r \cdot (h_2 - h_2') \quad (\text{kW}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari tahapan yang telah dilakukan, berhasil dibuat peralatan simulasi *heat recovery* seperti terlihat pada Gambar 2.1. Peralatan eksperimen dibuat dengan menggunakan kompresor kapasitas 1 Pk. HRU menggunakan heat exchanger jenis tube in tube dengan air sebagai media pendingin.

Pengujian dilakukan terhadap beberapa refrigeran yaitu R134a, R404a. Sebagai contoh hasil floting data ke dalam p-h diagram untuk R134a seperti pada Gambar-3.1.

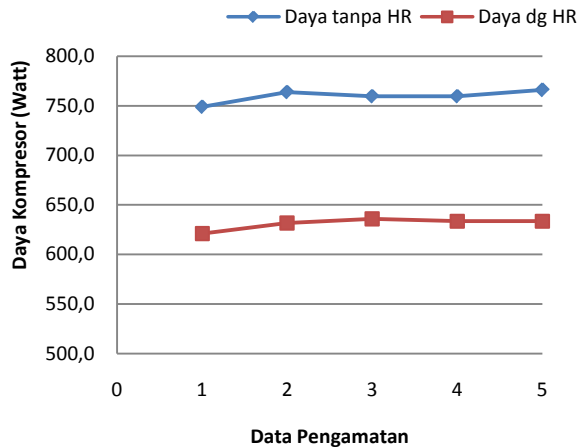


Gambar-3.1 Hasil Floting Data untuk R134a

Untuk diagram sistem tanpa *heat recovery* ditunjukkan dengan garis warna hitam, sedangkan sistem dengan *heat recovery* ditunjukkan dengan garis warna pink. Pada gambar dapat dilihat bahwa dengan menambahkan *heat recovery* pada sistem, maka akan bisa menurunkan temperatur kondenser, menurunkan temperatur evaporator, dan dapat menambah derajat *sub-cooling* refrigeran keluar kondenser. Dengan bertambah *sub-cool* refrigeran yang keluar kondenser menyebabkan bertambahnya efek refrigerasi (ER) sistem yang pada akhirnya diharapkan dapat meningkatkan COP sistem. Pada proses *heat recovery*, temperatur evaporator juga mengalami

penurunan sehingga dapat meningkatkan kecepatan pendinginan dalam ruangan.

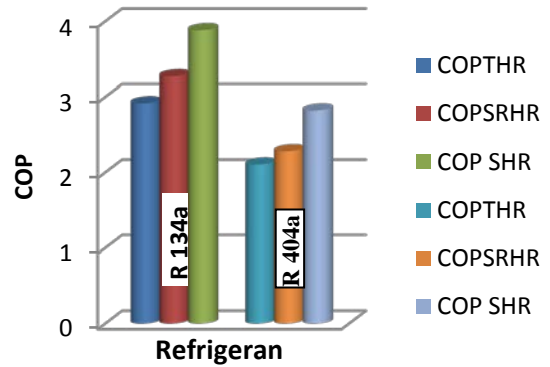
Berdasarkan data pengujian yang dilakukan, sistem dengan *heat recovery* terjadi penurunan konsumsi listrik (daya) yang dibutuhkan kompresor seperti terlihat pada Gambar-3.2.



Gambar-3.2 Daya Kompresor Sistem dengan HR dan tanpa HR dengan R134a

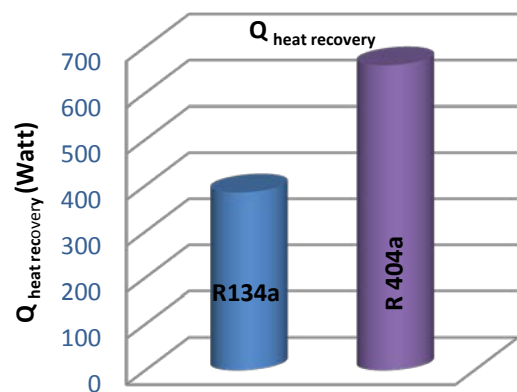
Besarnya penurunan konsumsi daya kompresor berkisar 17%. Adanya penurunan ini karena sistem dengan *heat recovery*, terjadi penurunan temperatur kondensasi refrigeran pada kondenser. Dengan kata lain bahwa sistem dengan *heat recovery* dapat ditingkatkan kapasitas pendinginannya. Untuk sistem dengan pipa kapiler dapat dilakukan dengan menambah refrigeran ke dalam sistem sampai konsumsi dayanya sama seperti sistem tanpa *heat recovery*.

Dari hasil analisis data yang dilakukan terhadap performansi sistem (COP) didapatkan bahwa terjadi peningkatan performansi berkisar 10% setelah sistem dilengkapi dengan *heat recovery* ( $COP_{SRHR}$ ). Hal ini terjadi karena selama sistem dilengkapi dengan *heat recovery*, derajat sub-cooling refrigeran keluar kondenser meningkat. Makin besar *sub-cooling* refrigeran keluar kondenser akan meningkatkan efek refrigerasi pada sistem. Efek refrigerasi meningkat sedang konsumsi daya menurun maka akan dapat meningkatkan COP sistem. Peningkatan COP sistem dengan menggunakan beberapa refrigeran seperti terlihat pada Gambar-3.3.



Gambar-3.3 COP Sistem dengan HR dan tanpa HR

Pada sisi *heat recovery* dengan sistem *High grade heat recovery*, besarnya energi panas yang didapat pada masing-masing refrigeran seperti terlihat pada Gambar-3.4.



Gambar-3.4  $Q_{heat\ recovery}$  pada beberapa Refrigeran

Makin besar temperatur keluaran kompresor suatu refrigeran, makin besar energi panas yang bisa didapat dari proses *heat recovery*. Besarnya energi panas ( $Q_{heat\ recovery}$ ) pada masing-masing refrigeran berkisar 14÷20% dari total panas yang dilepas pada kondenser.

#### IV. Simpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem refrigerasi yang dilengkapi dengan *heat recovery* dapat meningkatkan *coefficient of performance* (COP) sistem refrigerasi sampai 10%, menurunkan konsumsi daya listrik berkisar 17% dan tentunya dapat menambah manfaat pada air panas yang didapatkan. Besarnya energi panas ( $Q_{heat\ recovery}$ ) pada masing-masing refrigeran berkisar 14÷20% dari total panas yang dilepas pada kondenser.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Kami sebagai peneliti dan penulis tak lupa menyampaikan rasa terima kasih kepada:

- P3M Politeknik Negeri Bali yang telah memberikan kesempatan dan peluang kepada penulis untuk melakukan penelitian
- Panitia jurnal LOGIC, yang telah bersedia memuat artikel ini

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Agus Rianto. 2007. *Audit Energi dan Peluang Penghematan Konsumsi Energi pada Sistem Pengkondisian Udara di Hotel Santika Premiere Semarang*, Thesis, Universitas Negeri Semarang.
- [2] Deng Shiming, John Burnet. 2002. *Energy Use and Management in Hotels in Hongkong*, Int. J. Hospitality Management; 21, pp.371-380
- [3] Michael Guglielmono, Fred Scheideman, Yogesh Magar. 2008. *Heat Recovery from Vapor Compression Air Conditioning A Brief Introduction*, form <http://www.turbotecproducts.com>.
- [4] R.B.Lokapure, J.D.Joshi. 2012. *Waste Heat Recovery Through Air Conditioning System*, International Journal of Engineering Research and Development, vol.5, pp.87-92
- [5] Carbon Trust, Making business sense of climate change. 2011. *Heat Recovery*, form <http://www.carbontrust.co.uk>.
- [6] Arora,C.P. 2001. *Refrigeration and Air Conditioning*, Second Edition, International Edition, Mc.Graw-Hill
- [7] Moran, Sapiro. 2004. *Fundamental of Engineering Thermodynamic*. 5<sup>th</sup> edition. New York. John Wiley & Sons, Inc.