

# STUDI TENTANG SISTEM REFRIGERASI DENGAN AIR SEBAGAI REFRIGERAN DAN EJEKTOR SEBAGAI PENGGANTI KOMPRESOR

**Muhammad Abdulkadir, Harianto**

Dosen Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta  
Jl. Babarsari Catur Tunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta  
E-mail : [makadir2011@gmail.com](mailto:makadir2011@gmail.com)  
harianto0304@yahoo.ca

## Abstrak

*Refrigeran CFC (chloro fluoro carbon) telah terbukti sebagai penyebab terjadinya penipisan lapisan ozon. Salah satu refrigeran alternatif yang ramah lingkungan adalah air. Dalam penelitian ini akan dilakukan suatu rekayasa mengganti kompresor dengan menggunakan ejektor pada sistem refrigerasi dengan refrigeran air. Sebagai fluida primer pada ejektor digunakan air yang dialirkan menggunakan pompa. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik sistem refrigerasi dengan air sebagai refrigeran dan ejektor sebagai pengganti kompresor, meliputi temperatur evaporator, hubungan antara COP dengan kapasitas refrigerasi, hubungan antara COP dengan temperatur beban dan hubungan antara kapasitas refrigerasi dengan temperatur beban.*

*Telah dilakukan penelitian dengan alat ejektor dengan ukuran nosel 7 mm dan pompa air merk Shimizu CM 100 BIT dan evaporator dengan ukuran diameter 1 inci dan panjang 2 inci serta dilakukan penelitian pada temperatur lingkungan 29 °C. diperoleh hasil penelitian yang menunjukkan bahwa temperatur evaporator 20 °C, COP maksimum 0,0172 dan kapasitas refrigerasi maksimum 29,87 pada temperatur beban 26 °C*

Kata kunci : refrigerasi, refrigeran, COP, ejektor, air.

## 1. Pendahuluan

Refrigerasi merupakan suatu kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan pada era modern. Sistem refrigerasi telah digunakan secara luas untuk berbagai keperluan, antara lain di perkantoran, rumah tangga, industri dan sebagainya. Teknologi di bidang refrigerasi telah berkembang secara pesat, baik dari segi mekanis, segi elektronis khususnya pada sistem kontrol, dan dari segi refrigeran.

Penemuan *Hydro Chloro Fluoro Carbons (HCFC)* atau yang lazim disebut Freon pada tahun 1928 oleh Charles Kettering dan Thomas Migley, Jr, sistem refrigerasi mampu menghasilkan unjuk kerja yang sangat baik, namun berdasarkan hasil kajian ilmiah pada dekade tahun 1970 terbukti bahwa Freon, khususnya yang mengandung unsur *Chlor*, merupakan penyebab terjadinya lubang ozon, atau memiliki potensi pengurangan ozon (*ozone depletion potential, ODP*). Ozon ( $O_3$ ) adalah unsur oksigen yang tersusun atas tiga atom oksigen. Unsur ini terbentuk secara alamiah selama jutaan tahun dan terakumulasi di lapisan stratosfir. Ozon terutama sangat berperan dalam memfilter radiasi sinar ultraviolet dari matahari. Penyebab terjadinya lubang ozon adalah karena adanya unsur khlor (Cl). Unsur Cl

bertindak sebagai katalisator terurainya ozon menjadi oksigen. Selain itu, Freon memiliki potensi penyebab pemanasan global (*global warming potential, GWP*) yang tinggi. Sebagai contoh R12 memiliki indek GWP sebesar 8500 dan R22 sebesar 1900 (Kilicarslan, 2005 dari Calm and Hourahan, 1999).

Upaya untuk mengganti CFC dengan refrigeran lain yang ramah lingkungan telah dilakukan sebagai pengganti CFC, antara lain dengan R134a dan *hydro carbon*, namun R13a masih memiliki indek GWP 1600 dan R290 (*propane*) memiliki indek GWP 20 (Kilicarslan, 2005 dari Calm and Hourahan, 1999). Salah satu refrigeran yang sangat potensial untuk digunakan adalah air ( $H_2O$ ). Keunggulan air sebagai refrigeran adalah sangat ramah lingkungan, tidak menyebabkan penipisan lapisan ozon dan pemanasan global, karena memiliki indek ODP dan indek GWP nol (Kilicarslan, 2005 dari Dincer 2003). Kelebihan lain dari air adalah mampu menghasilkan koefisien prestasi (*coefficient of performance, COP*) yang dapat menandingi koefisien prestasi R12 dan R22.

Kelemahan penggunaan air sebagai refrigeran adalah bahwa volume spesifik uap air pada suhu refrigerasi, misalkan 10 °C, sangat besar bila dibandingkan dengan volume spesifik CFC. Sebagai ilustrasi, pada suhu evaporator 10 °C, volume spesifik

uap air adalah 106.4 m<sup>3</sup>/kg, sedangkan R12 hanya 0.0409 m<sup>3</sup>/kg dan R22 hanya 0.0347 m<sup>3</sup>/kg. Hal ini menyebabkan ukuran kompresor menjadi relatif sangat besar bila dibandingkan dengan kompresor sistem refrigerasi dengan refrigeran CFC. Dengan ukuran kompresor yang sangat besar, maka konstruksinya menjadi lebih berat dan lebih mahal.

Refrigerasi adalah cara untuk mendinginkan temperatur suatu ruangan hingga di bawah temperatur udara di sekelilingnya. Sistem refrigerasi yang paling banyak digunakan adalah sistem kompresi uap. Pesawat refrigerasi kompresi uap terdiri dari kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Media kerja sistem refrigerasi dinamakan refrigeran. Refrigeran yang baik harus memenuhi beberapa syarat, antara lain tekanan penguapan tinggi, kalor laten penguapan tinggi, dan volume spesifik yang kecil (Wiranto, 1986). Freon atau HCFC adalah salah satu refrigeran yang memenuhi persyaratan tersebut, namun telah terbukti bahwa HCFC memiliki potensi penyebab terjadinya lubang ozon dan berpotensi menimbulkan pemanasan global, seperti telah diuraikan di Pendahuluan. Sebagai pengganti refrigeran HCFC adalah air (H<sub>2</sub>O) atau R718 yang sangat ramah lingkungan, karena memiliki ODP dan GWP nol (Kilicarslan, 2005 dari Dincer 2003).

Analisis yang dilakukan oleh Riffat dkk (1995) pada pompa kalor yang menggunakan ejektor sebagai pengganti kompresor, dengan menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD) menunjukkan bahwa densitas refrigeran sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja pompa kalor. Semakin besar densitas refrigeran akan menghasilkan unjuk kerja yang semakin baik.

Simulasi yang dilakukan oleh Zhang dan Wang (2001) pada sistem refrigerasi hibrid adsorpsi-ejektor dengan menggunakan tenaga matahari menunjukkan bahwa penggunaan ejektor sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja termodinamis sistem.

Simulasi yang dilakukan oleh Alexis dan Rogdakis (2002) terhadap sistem refrigerasi dengan ejektor uap menunjukkan bahwa sistem tersebut mampu menghasilkan COP maksimum sebesar 0,9580.

Hubungan antara kapasitas pendingin dengan debit air refrigeran, yaitu :

$$P_{ref} = P_{ref} (Q_{ref}) \dots\dots\dots(1)$$

$P_{ref}$  : kapasitas refrigerasi (Watt).

$Q_{ref}$  : debit air refrigeran (cc/s).

Kapasitas refrigerasi dicari dengan persamaan :

$$P_{ref} = \rho_w Q_{cl} C_p (T_{cli} - T_{clo}) \cdot 10^{-3} \text{ Watt} \dots(2)$$

Dengan :

- $\rho_w$  : densitas air, kg/m<sup>3</sup>
- $Q_{cl}$  : debit air beban, cc/s
- $T_{cli}$  : temperatur air beban masuk evaporator, °C
- $T_{clo}$  : temperatur air beban keluar

evaporator, °C

$C_p$  : kalor spesifik air, kJ/kg.°C

Hubungan koefisien prestasi (COP, *coefficient of performance*) dengan debit air refrigeran, yaitu :

$$COP = COP(Q_{ref}) \dots\dots\dots(3)$$

COP dihitung berdasarkan persamaan :

$$COP = \frac{P_{ref}}{P_{in}} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan :

$P_{in}$  : daya input, W

$P_{in}$  dapat dicari dari daya motor penggerak pompa, yaitu :

$$P_{in} = P_{mot} = V.I \dots\dots\dots(5)$$

Dengan V : tegangan listrik (volt), dan I kuat arus listrik pada motor (ampere).

Hubungan temperatur evaporator dengan debit air refrigeran, yaitu :

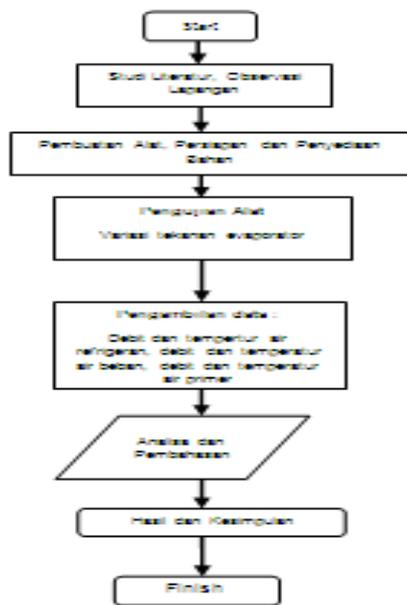
$$T_{ref} = P_{ref}(Q_{ref}) \dots\dots\dots(6)$$

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik sistem refrigerasi dengan air sebagai refrigeran dan ejektor sebagai pengganti kompresor. Karakteristik ini meliputi capaian temperatur evaporator, hubungan antara kapasitas refrigerasi dengan temperatur evaporator, hubungan antara COP dengan temperatur beban, hubungan antara kapasitas refrigerasi dengan COP, dengan ukuran ejektor dan ukuran pompa tetap.

## 2. Metode

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan eksperimen dengan membuat alat uji untuk mendapatkan data pengukuran guna melakukan proses analisa dan pengambilan kesimpulan.

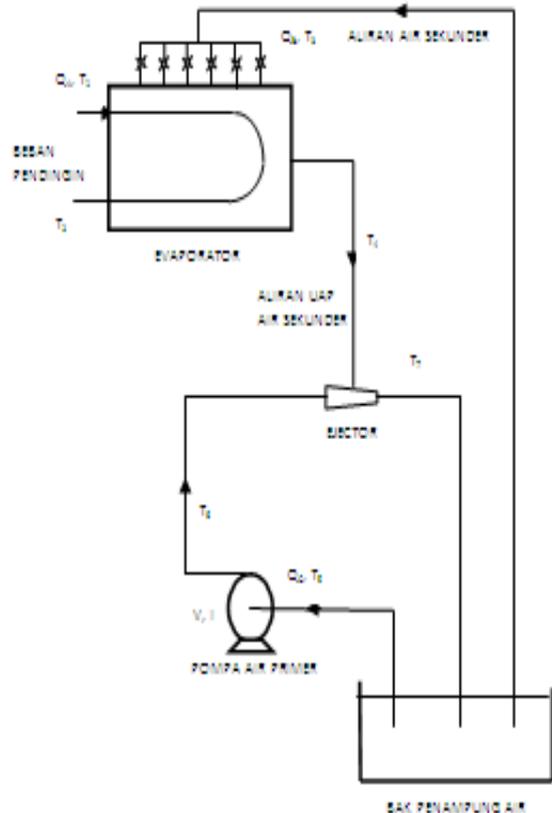
Secara garis besar, tahapan penelitian adalah seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Prosedur Penelitian

### 2.1 Metode Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengukuran dengan menggunakan alat ukur yang telah dikalibrasi yang terpasang pada seksiuji. adapun seksi uji yang digunakan secara scematis dapat dilihat pada gambar 1. Hasil pengukuran eksperimen ini dicatat dan menjadi data primer. Rangkaian alat penelitian yang direncanakan, secara skematis diperlihatkan pada Gambar 2. Sistem ini merupakan sistem terbuka, yaitu bahwa fluida penggerak (*motive fluid*) diambil dari bak yang terhubung langsung dengan atmosfer.



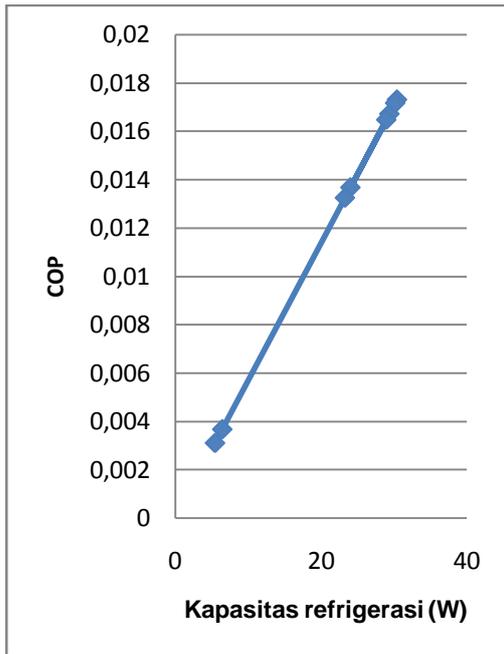
Gambar 2. Rangkaian alat penelitian

### 2.2. Metode Analisis data

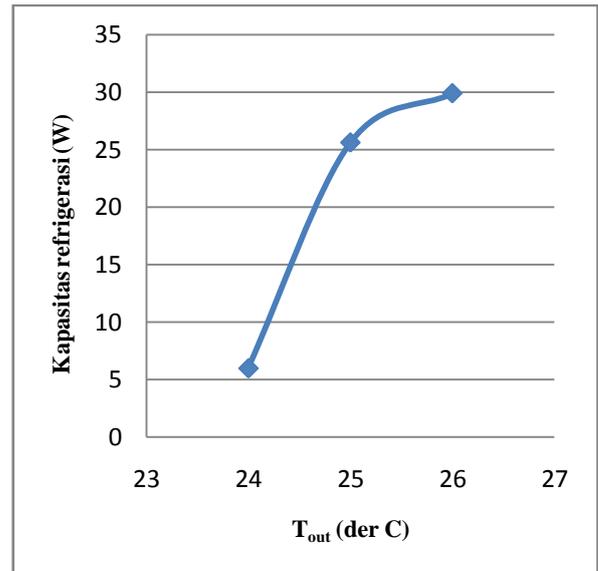
Analisis data dilakukan dengan perhitungan-perhitungan terhadap data primer untuk memperoleh data sekunder, berdasarkan persamaan-persamaan yang relevan. Dari hasil tersebut kemudian dibuat grafik korelasi antara unjuk kerja yang meliputi hubungan antara COP dengan debit air umpan, temperatur evaporator dengan debit air umpan, kapasitas pendinginan dengan debit air umpan. Dari garfik tersebut kemudian dilakukan pembahasan dan ditarik kesimpulan.

### 3. Hasil dan pembahasan.

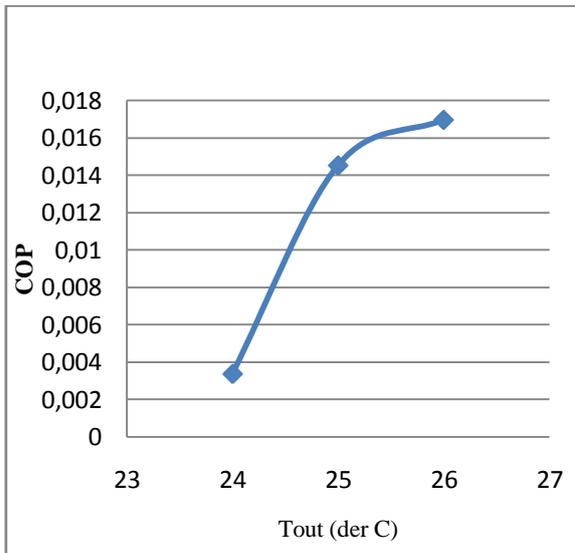
Dari hasil pengujian dan pengolahan data diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar 3. Hubungan kapasitas refrigerasi dengan COP W, pada temperatur lingkungan 29 °C dan temperatur evaporator 20 °C



Gambar 5. Hubungan kapasitas refrigerasi dengan T output, pada temperatur lingkungan 29 °C dan temperatur evaporator 20 °C



Gambar 4. Hubungan temperatur output dengan COP, pada temperatur lingkungan 29 °C dan temperatur evaporator 20 °C

Refrigerasi dimaksudkan untuk mendapatkan pendinginan suatu ruangan agar temperaturnya turun hingga di bawah temperatur udara lingkungan. Dari hasil penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 5 menunjukkan bahwa sistem yang diteliti telah menunjukkan adanya fenomena refrigerasi. Hal ini ditandai dengan terjadinya penurunan temperatur beban pendingin, dalam hal ini air, yang turun temperaturnya hingga di bawah temperatur lingkungan, yaitu antara 24 °C hingga 26 °C, dengan temperatur lingkungan 29 °C. Temperatur evaporator yang dapat dicapai adalah 20 °C. Hal ini bersesuaian dengan tekanan uap air jenuh pada 2,33 kPa absolut atau sama dengan tekanan relatif (*gage*) – 74 cm Hg.

Dari Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur beban pendingin akan semakin besar *Coefficient of Performance (COP)* sistem refrigerasi. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor, antara lain kerugian pendinginan yang lebih besar pada temperatur beban yang rendah, laju penguapan rendah pada temperatur evaporator yang rendah. Harga COP yang rendah tentunya akan memperkecil kapasitas refrigerasi, seperti terlihat pada Gambar 5.

Dari hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa harga COP masih sangat rendah, yaitu 0,0034 pada temperatur beban 24 °C dan maksimum 0,017 pada 26 °C. Nilai ini masih lebih rendah dari pada COP sistem refrigerasi dengan ejector yang menggunakan uap sebagai *motive fluid*, yang mampu menghasilkan COP maksimum sebesar 0,9580 (Alexis dan Rogdakis, 2002)

Secara teoritis, untuk siklus refrigerasi kompresi uap air yang ideal, nilai COP dapat mencapai sekitar 16, maka nilai COP yang dapat dicapai penelitian ini masih jauh dari yang diharapkan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Ukuran evaporator dan ejektor yang terlalu kecil. Hal ini menyebabkan debit volumetris uap air yang terhisap dari evaporator oleh ejektor terlalu kecil. Sedangkan uap air pada kondisi jenuh pada 20 °C memiliki volume spesifik yang sangat besar, yaitu 57,84 m<sup>3</sup>/kg. Sebagai perbandingan adalah R22, pada 20 °C memiliki volume spesifik 26, l/kg (0,026 m<sup>3</sup>/kg). Jadi volume spesifik uap air jenuh pada 20 °C adalah 2.224,615 kali volume spesifik R22 pada temperatur dan tekanan yang sama. Hal ini berakibat debit massa uap air yang mengalir juga sangat kecil, sehingga efek refrigerasi yang dihasilkan juga sangat kecil.

2. Tekanan keluar ejektor terlalu besar, yaitu 1 atm, atau sama dengan tekanan udara luar, karena dalam penelitian ini menggunakan siklus terbuka. Hal ini menyebabkan beban ejektor terlalu berat, sehingga tidak mampu menghasilkan tekanan evaporator yang rendah. Dalam hal ini hanya mencapai sekitar -74 cm Hg, atau sama dengan tekanan jenuh air pada 20 °C. Akibat lain adalah kecepatan alir uap air yang mengalir ke ejektor menjadi rendah.

Untuk mengatasi hal ini, pada penelitian selanjutnya akan dirancang dengan menggunakan ukuran ejektor dan evaporator yang lebih besar, dan menggunakan siklus tertutup. Dengan menggunakan siklus tertutup, tekanan keluar ejektor dapat diatur lebih rendah, disesuaikan dengan tekanan jenuh uap air pada temperatur air primer. Tekanan air keluar ejektor, yang harganya hampir sama dengan tekanan masuk pompa, dijaga sedikit lebih tinggi dari pada uap air jenuh pada temperatur yang bersangkutan. Hal ini untuk mencegah terjadinya kavitasi pada pompa. Misalkan pada temperatur 30 °C, tekanan uap jenuhnya adalah 4,24 kPa, maka tekanan air keluar ejektor dapat diambil sekitar 7 kPa. Bila tekanan uap air jenuh pada 20 °C sebesar 2,5 kPa, maka perbandingan antara tekanan keluar ejektor dengan tekanan evaporator hanya sekitar 2,8. Sedangkan pada siklus terbuka, tekanan keluar kompresor adalah 1 atm atau sekitar 100 kPa. Maka perbandingan tekanan keluar ejektor dengan tekanan evaporator adalah 40. Hal ini menyebabkan efisiensi ejektor menjadi sangat rendah.

### 3. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan menggantikan kompresor dengan ejektor dapat terjadi proses refrigerasi dengan menggunakan air sebagai refrigeran. Ukuran ejektor yang terlalu kecil menghasilkan kapasitas refrigerasi

yang sangat kecil, yaitu hanya maksimum 29,87 Watt dan COP sebesar 0,0172.

### Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan ukuran dan model ejektor yang dapat menghasilkan kapasitas pendinginan yang memadai.

### Ucapan Terimakasih

Terimakasih disampaikan kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Kemenristekdikti, yang telah mendanai penelitian ini melalui skim dosen pemula tahun anggaran 2015.

### Daftar Pustaka

- Alexis, G.K. and Rogdakis, E.D., (2003), *A Verification Study of Steam-Ejector Refrigeration Model*, Applied Thermal Engineering 23, 29–36
- Ali Kilicarslan and Norbert Muller (2005), *A Comparative Study of Water as a Refrigerant with Some Current Refrigerants*, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH, Int. J. Energy Res. 2005; 29:947–959, Published online 18 July 2005 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/er.1084.
- Riffat, S.B., dan Smith, S.,(1996), *Computational Fluid Dynamics Applied to Ejector Heat Pumps*, Applied Thermal Engineering Vol. 16, No 4, pp 291-297
- Zhang, X.J. dan Wang, R.Z. (2005), *A New Combined Adsorption-Ejector Refrigeration and Heating Hybrid System Powered by Solar Energy*, Energy Conversion and Management 46, 3117–