

Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Ejektor Terhadap Kinerja Sistem Refrigerasi AC

Wardika^{1,2}, Suhanan², Prajitno²

¹Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Indramayu,
Jalan Raya Lohbener Lama No.8 Indramayu (0234) 706 3555

²Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.2 Yogyakarta, Indonesia (+62) 274 521 673

E-mail: wardika_polindra@yahoo.com

Abstrak

Studi eksperimental yang dilakukan pada penelitian ini adalah untuk mengestimasi kemampuan ejektor dalam meningkatkan efisiensi energi dari sistem refrigerasi yaitu dengan melakukan modifikasi yang menempatkan ejektor sebagai piranti langkah kompresi kedua.

Pengujian dilakukan terhadap dua macam siklus refrigerasi yaitu refrigerasi sistem konvensional dengan refrigerasi yang memanfaatkan ejektor sebagai kompresi kedua yang nanti akan dibandingkan untuk mengetahui karakteristik COP serta efisiensi energi masing-masing siklus. Adapun beban pendinginan yang akan dilakukan yaitu dengan mengatur temperatur T_{in} pada 30°C, 35°C, 40°C dan 45°C.

Hasil dari penelitian ini yaitu unjuk kerja yang diperoleh dari mesin AC untuk COP mengalami penambahan sebesar 0,814, kerja kompresor sendiri mengalami penurunan sebesar 5,284 kJ/kg, penghematan yang didapat sebesar 0,187 kW dan penambahan efisiensi 8%.

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan maka dengan adanya penambahan piranti ejektor pada mesin AC dapat memberikan kinerja yang lebih baik dan penghematan energi dibandingkan dengan yang tidak menggunakan ejektor (konvensional).

Kata kunci: sistem refrigerasi, ejektor, refrigeran

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini sistem refrigerasi memberikan pengaruh yang besar pada peningkatan kualitas hidup manusia. Ketergantungan manusia terhadap sistem refrigerasi dari tahun ke tahun terus meningkat, bahkan pada sarana transportasi juga telah sejak lama menggunakan sistem refrigerasi untuk menjaga kenyamanan (*comfortable*) yang ditimbulkan dari sistem refrigerasi AC juga sudah menjadi suatu kebutuhan yang sangat penting bagi manusia.

Dari kebutuhan tersebut muncul beberapa tuntutan yang menjadi pendorong utama yang menyebabkan perkembangan teknologi sistem refrigerasi terus mengalami peningkatan. Salah satu tuntutan yang muncul adalah untuk menemukan sistem refrigerasi yang memiliki efisiensi siklus yang tinggi tetapi sederhana dalam instalasinya yaitu sistem refrigerasi yang memiliki efek pendinginan yang besar tetapi tidak memerlukan input daya yang besar.

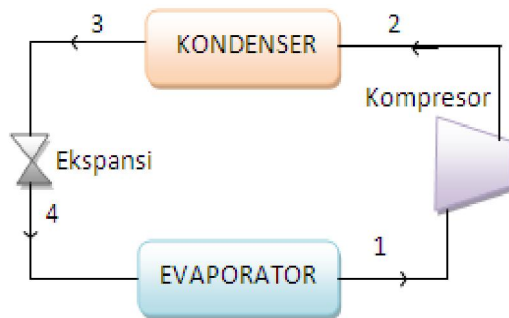
Asupan energi terbesar dari sebuah siklus refrigerasi adalah pada kompresor. Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk dapat mengurangi asupan energi pada kompresor, salah satunya adalah dengan memanfaatkan piranti ejektor. Piranti ejektor ini dimaksudkan sebagai kompresi non-mekanik yaitu sebagai kompresi langkah kedua, piranti ini memungkinkan kerja kompresor akan menjadi lebih ringan ($2/3$ dari tekanan akhir). Sehingga dengan penambahan piranti ejektor ini diharapkan mampu mengurangi input daya yang besar dalam sebuah mesin refrigerasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Teori

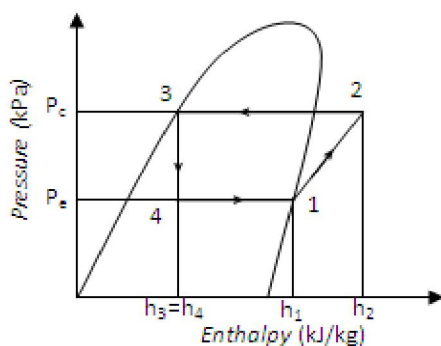
Pada sebuah mesin refrigerasi, kalor diserap di evaporator sehingga fluida kerja berubah phase cairan menjadi uap. Uap refrigeran yang berasal dari evaporator yang bertekanan dan bertemperatur rendah masuk ke kompresor melalui saluran hisap (*suction*). Di kompresor, uap refrigeran tersebut dimampatkan, sehingga ketika keluar dari

kompresor, uap refrigeran akan bertekanan dan bertemperatur tinggi. Kemudian uap refrigeran tersebut di alirkan ke kondensor melalui saluran tekan (*discharge*).



Gambar 1. Skema Sistem Refrigerasi

Di kondensor, uap tersebut akan melepaskan kalor, sehingga terjadi perubahan fase dari uap menjadi cair (terkondensasi). Cairan refrigeran yang bertekanan tinggi mengalami ekspansi pada katup ekspansi. Sehingga keluar dari katup ekspansi tekanan dan temperaturnya berubah menjadi rendah. Fluida kerja pada saat itu menjadi cairan jenuh sehingga mampu menyerap kalor dari udara sekitarnya dan penyerapan kalor mengakibatkan perubahan fase dari cairan menjadi uap proses ini berlangsung pada evaporator. Kemudian uap refrigeran akan dihisap oleh kompresor dan demikian seterusnya dimana proses-proses tersebut berulang kembali.



Gambar 2. Diagram tekanan-entalpi siklus refrigerasi

Proses-proses yang terjadi pada siklus refrigerasi kompresi uap seperti pada gambar 2. diatas adalah sebagai berikut:

a. Proses kompresi (1-2)

Proses ini dilakukan oleh kompresor dan berlangsung secara *isentropik*.

$$= \dot{V} (p_2 - p_1) \quad (1)$$

b. Proses kondensasi (2-3)

Refrigeran yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi yang berasal dari kompresor akan membuang kalor sehingga fasenya berubah menjadi cair, Proses ini berlangsung pada kondensor.

$$= \dot{V} (p_2 - p_1) \quad (2)$$

c. Proses ekspansi (3-4)

Proses ekspansi ini berlangsung secara *isentalpik*. Hal ini berarti tidak terjadi perubahan entalpi tetapi terjadi *drop* tekanan dan penurunan temperatur, atau dapat dituliskan dengan:

$$= \dot{V} (p_2 - p_1) \quad (3)$$

d. Proses evaporasi (4-1)

Proses ini berlangsung secara *isobar* (tekanan konstan) di dalam evaporator.

$$= \dot{V} (p_2 - p_1) \quad (4)$$

Kemampuan kerja/ performansi sistem

Kemampuan kerja sistem refrigerasi dinyatakan oleh besaran yang dinamakan COP (*Coefficiens Of Performance*). Untuk mengetahui nilai COP, digunakan persamaan:

$$\text{Efek refrigerasi, (kJ/kg), RE} = h_1 - h_4 \quad (5)$$

$$\text{Kerja kompresor, (kJ/kg), Wk} = h_2 - h_1 \quad (6)$$

$$= \frac{\text{RE}}{\text{Wk}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (7)$$

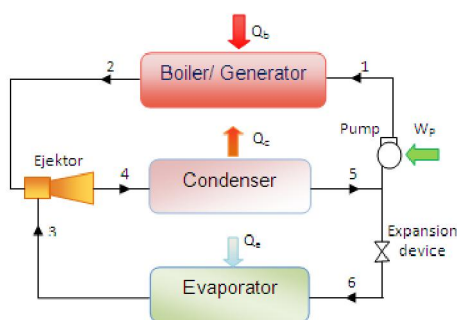
$$= \frac{\text{RE}}{\text{Wk}} \quad (8)$$

$$= \frac{\text{RE}}{\text{Wk}} \times 100\% \quad (9)$$

2.2 Kajian Pustaka

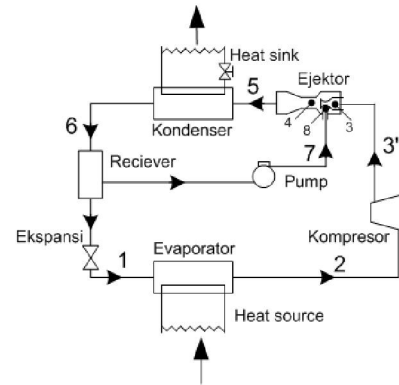
Sebuah siklus refrigerasi dasar dengan ejektor secara skematik ditunjukkan pada gambar 3. Siklus secara garis besar terdiri dari sebuah generator (pembangkit), ejektor, kondensor, pompa sirkulasi, katup ekspansi, dan evaporator. Berbeda dari siklus refrigerasi kompresi uap siklus refrigerasi dengan ejektor sebagai sebuah piranti kompresi kedua. Mengacu pada siklus refrigerasi dasar dengan ejektor, sistem terdiri dari dua siklus, siklus daya dan siklus refrigerasi. Di dalam siklus daya, kalor

dengan temperatur rendah (Q_b), diberikan pada sebuah ketel uap atau pembangkit untuk menguapkan refrigeran cair bertekanan tinggi (proses 1-2). Uap refrigeran bertekanan tinggi dihasilkan yang disebut sebagai fluida utama. Aliran utama akan dipercepat ke kondisi supersonik ketika melewati nosel *converging-diverging* di dalam ejektor. Dimana suatu medan tekanan yang rendah dihasilkan di dalam ruang hisap (*suction chamber*) yang mampu menarik uap refrigeran dari evaporator. Penurunan tekanan yang terjadi mempengaruhi uap refrigeran dari evaporator, yang disebut sebagai fluida sekunder (pada titik 3). Kedua fluida tercampur di dalam ruang campur sebelum memasuki bagian diffuser di mana aliran akan diperlambat dan tekanan meningkat kembali. Campuran fluida lalu dialirkan ke kondensor di mana panas dilepas ke lingkungan (Q_c). Sebagian refrigeran cair yang meninggalkan kondensor (pada titik 5) kemudian dipompa ke boiler kembali untuk melengkapi satu siklus daya. Sebagian refrigeran cair yang lainnya diekspansikan melalui sebuah katup ekspansi dan masuk ke evaporator (pada titik 6) sebagai suatu campuran cair-uap. Refrigeran menguap di dalam evaporator menghasilkan suatu pengaruh refrigerasi (Q_e), dan uap yang dihasilkan kemudian tertarik ke dalam ejektor (pada titik 3). Uap refrigeran (*fluida sekunder*) bercampur dengan fluida utama di dalam ejektor dan termampatkan di dalam diffuser sebelum memasuki kondensator (pada titik 4). Campuran fluida terkondensasi di dalam kondensor dan keluar (pada titik 5) untuk pengulangan siklus refrigerasi.



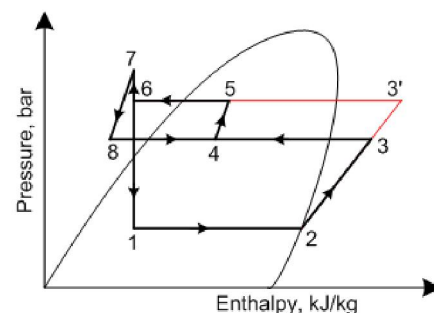
Gambar 3. Siklus refrigerasi dasar dengan ejektor

Mark. J. Bergander, (2006) menyelidiki sebuah siklus refrigerasi kompresi uap dengan menggunakan sebuah peranti novel untuk menghasilkan kompresi non-mekanis dari refrigeran yang disebut sebagai “Kondensing ejektor”.



Gambar 4. Siklus refrigerasi dengan langkah kompresi kedua oleh ejektor

Kondensing ejektor adalah suatu peranti jet dua fasa dengan fluida kerja *sub-cooled homogen* dalam fasa cair yang bercampur dengan fase uapnya, akan menghasilkan suatu aliran cairan dengan tekanan yang lebih tinggi dibanding tekanan masing-masing aliran pada saluran masuknya. Pencampuran pertama berlangsung di bagian konvergen selanjutnya pada bagian yang konstan dari ejektor. Prinsip dari kondensing ejektor, yang diperkenalkan di atas selanjutnya digunakan untuk membangun sistem refrigerasi seperti ditunjukkan di dalam Gambar 4. Di dalam sistem baru ini, kompresor mekanis mengkom-presikan uap refrigeran sekitar 2/3 tekanan akhir. Kompresi tambahan dilakukan oleh peranti ejektor, oleh karena itu jumlah energi mekanik yang diperlukan oleh kompresor dapat dikurangi.



Gambar 5. Perbandingan diagram p-h dari siklus refrigerasi dengan ejektor

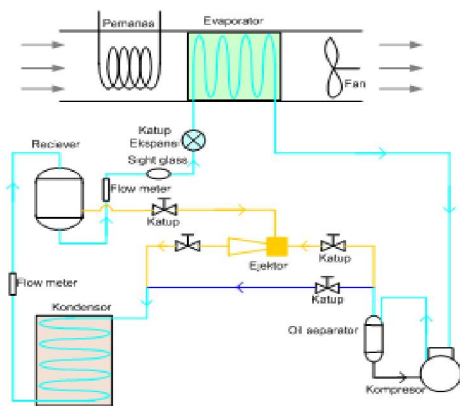
Pada gambar 5. tersebut di atas, siklus 1 (titik: 1-2-3-4-5-6-1 dan 6-7-8-4) dan siklus 2, siklus refrigerasi konvensional (titik: 1-2-3'-6-1). 1-2: proses evaporasi dari fluida kerja; 2-3: kompresi uap refrigeran oleh kompresor (langkah kompresi pertama); 3-4-8: bagian-bagian pencampuran uap dan cairan dari fluida kerja di dalam ejektor; 4-5: kompresi fluida kerja di dalam ejektor (langkah

kompresi kedua); 5-6: pendinginan secara isobar terhadap fluida kerja; oleh kondensor; 6-7: bagian kompresi terhadap sebagian cairan fluida kerja oleh pompa; 7-8: bagian ekspansi terhadap cairan refrigeran di dalam ejektor; 6-1: bagian throttling (katup ekspansi) dari fluida kerja.

3. METODELOGI

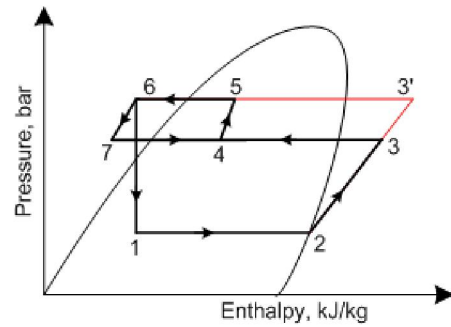
Penelitian ini dilakukan dengan metode perbandingan secara langsung terhadap COP dari sebuah sistem refrigerasi konvensional standard dengan sistem refrigerasi yang memanfaatkan ejektor sebagai piranti kompresi non-mekanis. Perbandingan dilakukan dengan mengukur variabel tekanan dan temperatur pada sistem refrigerasi yang selanjutnya digunakan untuk menentukan kinerja dari sistem tersebut.

Pengujian dilakukan terhadap dua macam siklus refrigerasi yaitu refrigerasi sistem konvensional dengan refrigerasi yang memanfaatkan ejektor sebagai kompresi kedua yang nanti akan dibandingkan untuk mengetahui karakteristik COP serta efisiensi energi masing-masing siklus. Adapun beban pendinginan yang akan dilakukan yaitu dengan mengatur temperatur T_{in} pada 30 °C, 35 °C, 40 °C dan 45 °C.



Gambar 6. Instalasi pengujian

Refrigeran yang dipakai dalam penelitian ini adalah *hydrocarbon* dari type R290/M22. Refrigeran ini dipilih karena memiliki keunggulan dari jenis refrigeran yang dipakai AC pada umumnya. Keunggulan tersebut adalah *zero ozone depletion potential*, *very low global warming potential* (<4).



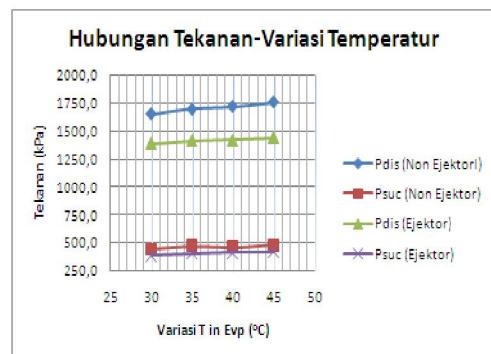
Gambar 7. Diagram p-h dari siklus refrigerasi dengan ejektor

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tabel 1, perbandingan performansi mesin AC menggunakan ejektor lebih besar yaitu dengan rata-rata kenaikan COP sebesar 0,814, penyebabnya karena pengaruh adanya fluida kerja yang diumpan balik ke dalam kondensor melalui saluran skunder yang mengakibatkan terjadinya pendinginan awal pada fluida kerja didalam kondensor.

Kerja kompresor lebih ringan dengan menggunakan ejektor yaitu rata-rata sebesar 5,284 kJ/kg ini dipengaruhi akibat sebagian refrigeran atau fluida kerja yang diumpan balik tersebut, maka refrigeran yang masuk ke kompresor melalui *suction line* lebih kecil, kemudian refrigeran yang masuk ejektor dikompresikan secara non mekanis didalam diffuser sehingga kompresor hanya bekerja 2/3 dari tekanan akhir saja.

Penghematan yang diperoleh pada mesin AC dengan menggunakan ejektor pada masing variasi temperatur masuk yaitu sebesar 5,284 kJ/kg penghematan yang terjadi karena adanya pengurangan kerja kompresor. Efisiensi yang diperoleh pada eksperimen mengalami peningkatan rata-rata sebesar 8%.

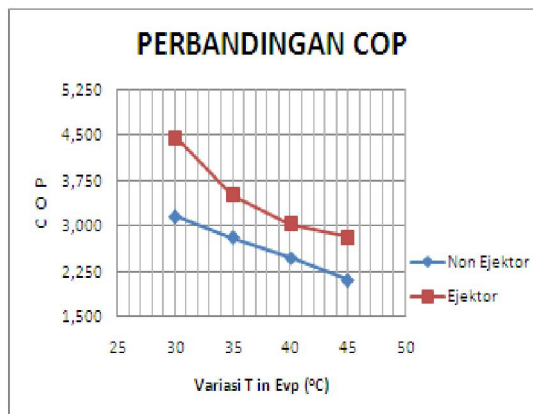


Gambar 8. Hubungan tekanan terhadap variasi temperatur

Tabel 1. Kinerja mesin AC dengan ejektor dan tanpa ejektor

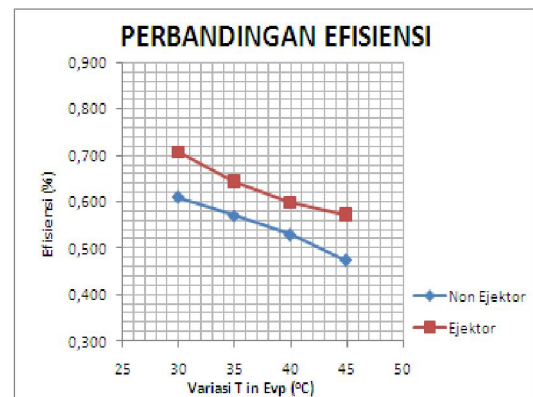
Peformansi Mesin AC	Non Ejektor				Ejektor			
	30°C	35°C	40°C	45°C	30°C	35°C	40°C	45°C
COP	3,152	2,797	2,479	2,101	4,45	3,503	3,024	2,807
Kerja Kompresor (kJ/kg)	58,19	60,56	62,53	65,05	49,6	55,86	59,24	60,47
Efisiensi (%)	0,61	0,571	0,53	0,474	0,71	0,643	0,598	0,572
Saving Energi (kJ/kg)	-	-	-	-	8,58	4,694	3,285	4,574

Gambar 8. Memperlihatkan hubungan antara tekanan pada kompresor terhadap variasi temperatur masuk evaporator, penurunan tekanan pada mesin AC terjadi pada siklus yang menggunakan ejektor terlihat bahwa tekanan *discharge* pada ejektor. Besarnya ratio yang diperoleh sebesar 1,23 perbedaan tersebut disebabkan karena adanya sebagian refrigeran cair bersirkulasi kembali didalam ejektor.



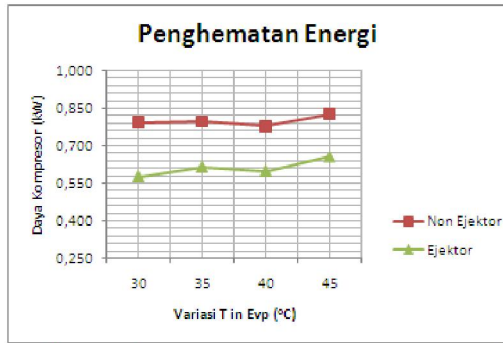
Gambar 9. Perbandingan COP

Pada gambar 9 di atas secara keseluruhan COP dari mesin AC dengan menggunakan ejektor lebih besar dibandingkan dengan yang tidak menggunakan ejektor, ini disebabkan karena pada mesin AC yang menggunakan ejektor sebagian refrigeran cair yang temperaturnya sebagian sudah diturunkan diumpan balik sehingga refrigeran yang bercampur mengalami pendinginan awal, kemudian praktis sebagian refrigeran yang lain yang masuk ke *suctin line* menjadi lebih ringan. Secara keseluruhan rata-rata kenaikan COP yang dihasilkan pada mesin AC dengan menggunakan piranti ejektor sebesar 0,814.



Gambar 10. Perbandingan efisiensi

Gambar 10. Efisiensi dengan menggunakan ejektor lebih besar dibandingkan dengan yang tidak dilengkapi ejektor ini disebabkan pengaruh adanya pendinginan awal pada kondensor melalui aliran sekunder.. Refrigeran yang mempunyai fasa gas yang bertekanan dan temperatur tinggi masuk ke *nozzle* menjadikan tekanannya rendah namun memiliki kecepatan *sonic* sehingga akan menarik refrigeran cair dari saluran sekunder yang memiliki fasa cair yang temperaturnya sudah sedikit berkurang, kemudian terjadi pencampuran refrigeran diarea *mixing chamber*, selanjutnya refrigeran campuran itu masuk ke kondenser untuk proses kondensasi dan pelepasan kalor berikutnya. Besarnya efisiensi mesin AC dengan menggunakan piranti ejektor secara keseluruhan memiliki rata-rata kenaikan sebesar 8,4%.



Gambar 11. Penghematan energi listrik

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan dengan adanya penambahan piranti ejektor maka mesin AC memiliki penghematan energi listrik yang berbeda-beda tergantung dari variasi beban pendinginannya. Pada pengaturan temperatur udara masuk 30 °C perhitungan yang dilakukan berdasarkan tarif PLN Rp.605,- per kWh dan pemakaian rata-rata selama 6 jam per hari. Penghematan yang di peroleh dengan menggunakan ejektor sebesar 0,215 kW sehingga jika di rupiahkan sebesar Rp. 23.389,98 per bulan. Pada beban pendinginan berikutnya penghematan yang dihasilkan sebesar 0,182 kW atau setara dengan Rp. 19.825,03. Pada variasi temperatur yang lebih tinggi penghematan yang dihasilkan dengan menggunakan piranti ejektor sebesar 0,180 atau setara dengan Rp. 19.622,91. Kemudian 0,169 kW penghematan untuk beban variasi temperatur udara masuk sebesar 45 °C yang setara dengan Rp. 18.433,20. Sehingga secara keseluruhan mesin AC dengan menggunakan piranti ejektor dapat menghasilkan penghematan energi listrik yang rata-ratanya sebesar 0,187 kW atau setara dengan Rp. 20.317,78.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan maka dengan adanya penambahan piranti ejektor pada mesin AC dapat memberikan peformansi yang lebih baik dibandingkan dengan yang tidak menggunakan ejektor (konvensional). Peformansi yang lebih tersebut seperti penambahan COP rata-rata sebesar 0,814 kerja kompresor lebih ringan rata-rata sebesar 5,284 kJ/kg penghematan yang dihasilkan dari penambahan piranti ejektor sebesar 0,187 kW atau sebesar Rp. 20.317,78 per bulan serta efisiensi yang dihasilkan sebesar 8%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Bergander Mark J., 2006. "Refrigeration cycle with two-phase condensing ejector", International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue.
- Nugraha Bachtar S., 2010. "Analisa pengaruh variasi sudut mixing chamber inlet terhadap entrainment ratio pada steam ejector dengan menggunakan CFD kodus" Jurnal Sains.
- Margana A.S, 2010, Desain dan Studi Eksperimental Mesin Refrigerasi Siklus Jouel-Thomson Menggunakan refrigerant Campuran, Universitas Gadjah Mada.
- Selvaraju, A., Mani, A., 2006. "Experimental investigation on R134a vapor ejector refrigeration system" International Journal of Refrigeration.
- Venkatarathnam., G., 2009. "The Coefficient of Performance of an ideal air conditioner", International Journal of Refrigeration.
- Zhu Yin Hai., Yan Zhong Li., 2008. "Novel ejector model for performance evaluation on both dry and wet vapors ejectors", International Journal of Refrigeration