



## Pengembangan Sistem Pendingin Ejector untuk Pendinginan Vakum Produk Sayuran-Sayuran

### *Development of Ejector Cooling System for Vegetables Products Vacuum Cooling*

Sulaiman <sup>1,\*</sup>, Desmi Asriandi <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang

<sup>2</sup> Undergraduate Program, Department of Mechanical Engineering, Institut Teknologi Padang  
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

Received 15 September 2016; Revised 23 September 2016; Accepted 25 September 2016, Published 25 October 2016

<http://dx.doi.org/10.21063/JTM.2016.V6.92-97>

Academic Editor: Putri Pratiwi (pratiwi009@yahoo.com)

Correspondence should be addressed to [sualeman.ali@yahoo.com](mailto:sualeman.ali@yahoo.com)

Copyright © 2016 Sulaeman. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

#### Abstract

Nowadays, the development of refrigeration technology is more rapidly, the adicted of people to refrigeration system from year to year is always rising, start from the simple scale (eg, refrigerator) in order to safe foods until the big scale such as in industry. The ejector designed will change the capillar tube function or TXV to improve the AC mechine performance. Theoretically, the use of ejector in this research will increase the effect of refrigeration and decrease compression performance. The increasing work of the system will decrease the electrical energy consumption at the time the air conditioner work. The test in the research is designed in such a manner, so that it can be operated in standard or conventional condition (the system operates normally by using capilar tube) and in the condition of using ejector and doing cooling vacuum. Based on the test by using AC in kind of split with 2 HP Compressor capacity, it is concluded that there has been increasing of COP (Coeficiant Of Performance) after using ejector in refrigeration system with vacuum cooling about 1,2 % and also there is retrenchment use of electricity about 0,01 %.

**Keywords:** ejector, refrigeration effect, compression work, electrical energy, COP.

#### 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi bidang refrigerasi saat ini semakin pesat. Ketergantungan manusia terhadap sistem refrigerasi dari tahun ke tahun terus meningkat, mulai dari skala kecil (misal refrigerator) untuk menyimpan bahan makanan hingga skala besar seperti pada industri. Karena itu kita perlu mempelajari system kerja pendingin dan sekaligus mengenal komponen-komponen mesin endinginan, pendinginan dapat berupa lemari es pada rumah tangga, mesin pembeku (*freezer*), pendingin sayur dan buah-buahan pada supermarket dan sebagainya. Ejector adalah alat yang digunakan untuk menggerakkan atau mengalirkan fluida dengan jalan memanfaatkan aliran fluida lain. Fluida

yang digunakan untuk mendorong aliran fluida lain disebut *motive fluid*, sedangkan fluida yang terdorong disebut fluida isap. Ejector digunakan secara luas dalam pabrik pembangkit tenaga dan banyak dijumpai dalam industri-industri kimia. Fluida yang digunakan dalam mengoprasikan ejector dapat berupa cairan, gas, atau uap. Fungsi utama alat ekspansi adalah menurunkan tekanan, yaitu dari tekanan tinggi dikondenser ke tekanan rendah di evaporator. Ejector yang dirancang akan menggantikan fungsi pipa kapiler ataupun TXV untuk meningkatkan kinerja mesin AC tersebut. Secara teori, penggunaan ejector pada penelitian ini akan dapat meningkatkan efek refrigerasi dan menurunkan kerja kompresi.

Peningkatan kinerja sistem akan mengurangi konsumsi energi listrik pada saat pengkondisi udara tersebut beroperasi.

Sejarah teknik pendinginan berkembang sejalan dengan perkembangan peradaban manusia di wilayah sub-tropik. Secara alamiah, manusia yang tinggal di wilayah sub-tropik menyadari bahwa bahan pangan yang mudah rusak ternyata dapat disimpan lebih lama dan lebih baik pada saat musim dingin dibandingkan dengan pada saat musim panas. Kesadaran inilah yang memandu manusia pada saat itu mulai memanfaatkan "es alam" untuk memperpanjang masa simpan bahan pangan yang mudah rusak.

Sunanto, Suhanan, dan Fauzun menjelaskan tentang Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Ejektor Dua Fase terhadap Unjuk Kerja Siklus Refrigerasi Pada Mesin AC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan ejektor yang ditempatkan sebagai piranti ekspansi dalam peningkatan efisiensi sistem refrigerasi. Hasil dari penelitian ini didapat adanya peningkatan rata-rata COP sebesar 1,4, kerja kompresor sendiri mengalami penurunan sebesar 7 kJ/kg, penghematan energi setiap bulannya sebesar 0,189 kW, serta rata-rata efisiensi 0,67 % dari sistem yang menggunakan piranti ejektor sebagai pengganti ekspansi [1].

Markus dan Sutandi. T menjelaskan tentang Pengaruh Penggunaan Ejektor Pada Sistem Refrigerasi. Sistem refrigerasi yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin pengkondisi udara (AC) jenis split dengan kapasitas kompresor 1 HP. Ejector yang dirancang akan menggantikan fungsi pipa kapiler ataupun TXV untuk meningkatkan kinerja mesin AC tersebut Berdasarkan pengujian menggunakan AC jenis split dengan kapasitas kompresor 1 HP didapat hasil bahwa telah terjadi peningkatan efek refrigerasi dari 165,5 kJ/kg menjadi 169 kJ/kg, atau meningkat 2,1%, dan penurunan kerja kompresi yang ditunjukkan dengan penurunan konsumsi daya listrik dari 616 Watt menjadi 550 Watt, atau turun 10 % [2].

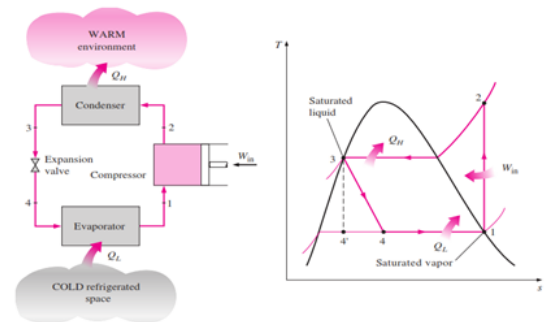
Sistem refrigerasi adalah suatu sistem yang menjadikan kondisi temperatur suatu ruang berada dibawah temperatur semula (menjadikan temperatur dibawah temperatur siklus), pada prinsipnya kondisi temperatur rendah yang dihasilkan oleh suatu sistem refrigerasi diakibatkan oleh penyerapan panas pada reservoir dingin (*low temperature source*) yang merupakan salah satu bagian sistem refrigerasi tersebut. Panas yang diserap bersama-sama energi (kerja) yang diberikan kerja luar dibuang

pada bagian sistem refrigerasi yang disebut reservoir panas (*high temperature sink*).

Siklus kompresi uap adalah suatu siklus dimana fluida kerja secara berganti-ganti diuapkan dan diembunkan, dengan suatu proses kompresi uap diantara kedua proses tersebut.

Proses yang menyusun siklus ini adalah :

- 1-2 Kompresi reversibel adiabatik dari uap jenuh ke tekanan kondensor.
- 2-3 Pembuangan panas pada tekanan konstan secara reversibel desuperheating dan kondensasi.
- 3-4 Ekspansi ireversibel pada enthalpi konstan dari cair-jenuh ke tekanan evaporatif.
- 4-1 Penyerapan panas reversibel pada tekanan konstan untuk penguapan ke uap jenuh.



Gambar 1. Siklus Kompresi Uap Ideal

Rumus-rumus perhitungan termodinamika seperti berikut ini:

#### Evaporasi (Penguapan) (4-1)

$$Q_e = h1 - h4 \quad (1)$$

Dimana :

$Q_e$  = Besarnya panas yang diserap evaporator, (kJ/kg)

$h1$  = Entalpi refrigeran saat keluar evaporator, (kJ/kg)

$h4$  = Entalpi refrigeran saat masuk evaporator, (kJ/kg)

Besarnya 1 evap ini disebut juga efek pendinginan.

#### Kompresi (1-2)

$$Q_w = h2 - h1 \quad (2)$$

Dimana :

$Q_w$  = Besarnya kerja kompresor, (kJ/kg)

$h1$  = Entalpi refrigeran saat masuk kompresor, (kJ/kg)

$h2$  = Entalpi refrigeran saat keluar kompresor, (kJ/kg)

#### Kondensasi (2-3)

$$Q_c = h3 - h2 \quad (3)$$

Dimana :

$Q_c$  = Besarnya panas dilepas di kondensor, (kJ/kg)

$h_2$  = Entalpi refrigeran saat masuk kondensor, (kJ/kg)  
 $h_3$  = Entalpi refrigeran saat keluar kondensor, (kJ/kg)

**Proses ekspansi (3-4)**

$$h_3 = h_4 \tag{4}$$

Dimana :

$h_3$  = Entalpi refrigeran saat keluar kondensor, (kJ/kg)  
 $h_4$  = Entalpi refrigeran saat masuk evaporator, (kJ/kg)

**Keseimbangan Panas (Heat Balance)**

Untuk proses ideal adibatis, kerja ekspansi sama dengan nol. Keseimbangan panas dalam sistim akan dicapai dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{evap} + W_{comp} = q_{cond}(kj/kg) \tag{5}$$

**Laju aliran massa refrigerant ( $m_{ref}$ )**

$$\dot{m} = \frac{Q}{ER} \tag{6}$$

Dimana :

$\dot{m}$  = Laju aliran massa refrigerant, (kg/jam)  
 $Q$  = Kapasitas pendingin, (BTU/jam)  
 $ER$  = Efek Refrigerant, (kj/kg)

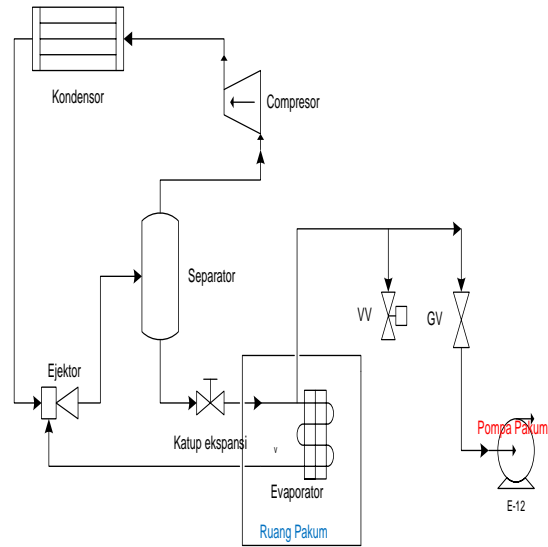
**Coefficient Of Performance (COP)**

Coefficient of performance dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$COP = \frac{Efek pendinginan(q_{evap})}{Kerja kompresor (Q_{comp})} \tag{7}$$

**2. Metode Penelitian**

Mesin pendingin merupakan salah satu mesin yang mempunyai fungsi utama untuk mendinginkan zat sehingga temperaturnya lebih rendah dari temperatur lingkungan. Komponen utama dari mesin pendingin pada penelitian ini adalah kompresor, kondensor, katup ekspansi, ejektor, separator, evaporator, serta refrigeran sebagai fluida kerja yang bersirkulasi pada bagian-bagian tersebut. Pada penelitian ini katup ekspansi akan diganti perannya dengan ejektor, dan skema pendinginan penelitian bisa dilihat pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Skema Pendinginan ejector dengan pendinginan vakum

**3. Hasil dan Pembahasan**

**- Data Sistem Refrigerasi Konvensional Dengan Pendinginan Vakum.**

Tabel 1 Data sistem refrigerasi Konvensional

No	t (menit)	P <sub>Komp</sub> (Psi)	T <sub>Komp</sub> (°C)		T <sub>Kond</sub> (°C)		T <sub>Evap</sub> (°C)		T <sub>o</sub> (°C)	I (A)	T <sub>uangam</sub> VAKUM (°C)	P VAKUM (Psi)	Q (kj/jam)
			in	out	in	out	in	out					
1	15	55	8,8	33,9	33,9	29,8	27,8	8,8	28,5	1,77	12,7	-11	5275
2	30	55	10,5	33,7	33,7	29,7	27,3	10,5	29,4	1,73	12,1	-12	5275
3	45	55	10,9	34,5	34,5	29,6	27	10,9	28,5	1,74	12,1	-12	5275
4	60	55	9	33,6	33,6	29,5	27,1	9	28,8	1,75	12,1	-12	5275
5	75	55	9,8	32,5	32,5	29,3	26,7	9,8	28,9	1,76	13,3	-10	5275

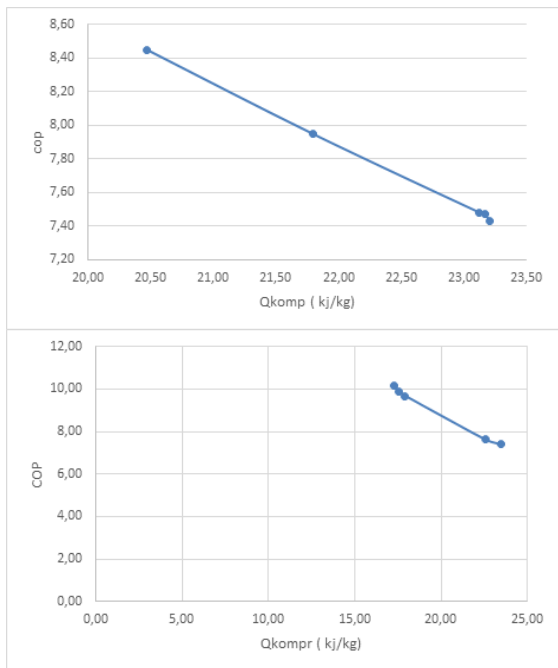
No	t (menit)	P <sub>Komp</sub> (kPa)	I (A)	Daya (kW)	Q (kWh/jam)	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub> = h <sub>4</sub>	Q <sub>comp</sub>	Q <sub>kond</sub>	ER	COP	m	Kap. Evap.	P VAKUM
						(kj/kg)	(kj/kg)	(kj/kg)	(kj/kg)	(kj/kg)	(kj/kg)	(kj/kg)	(kj/kg)	(kj/kg)	(kj/kg)
1	15	379,21	1,77	0,389	8,49	408,030	431,233	235,560	23,20	195,67	172,47	7,43	30,585	1,465	-75,8423
2	30	379,21	1,73	0,381	8,46	408,590	430,383	235,333	21,79	195,05	173,26	7,95	30,446	1,465	-82,7371
3	45	379,21	1,74	0,383	8,45	408,632	431,818	235,305	23,17	196,51	173,35	7,48	30,430	1,465	-82,7371
4	60	379,21	1,75	0,385	8,48	408,069	431,189	235,301	23,12	195,89	172,77	7,47	30,532	1,465	-82,7371
5	75	379,21	1,71	0,376	8,47	408,280	428,754	235,300	20,47	193,45	172,98	8,45	30,495	1,465	-68,9476

**- Data Sistem Refrigerasi Ejector Dengan Pendinginan Vakum.**

Tabel 2 Data sistem refrigerasi ejector

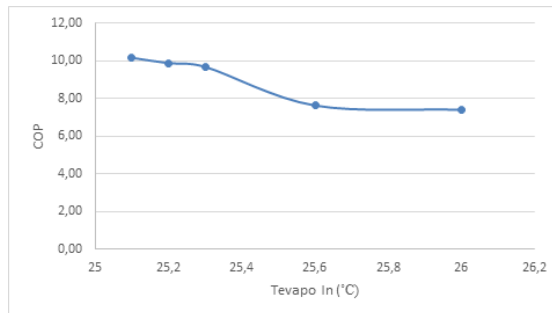
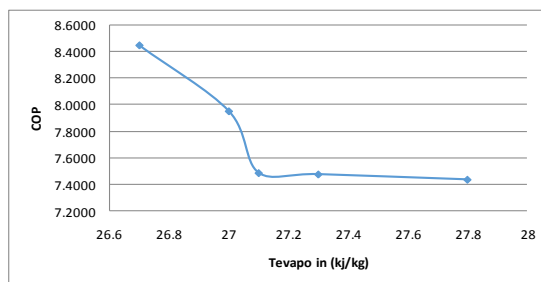
No	t (menit)	P <sub>Komp</sub> (Psi)	T <sub>Komp</sub> (°C)		T <sub>Kond</sub> (°C)		T <sub>Evap</sub> (°C)		T <sub>o</sub> (°C)	I (A)	T <sub>uangam</sub> VAKUM (°C)	P VAKUM (Psi)	Q (kj/jam)
			in	out	in	out	in	out					
1	15	55	10,6	31,3	31,3	29,1	26	10,6	28,3	1,72	9,6	-14	5275
2	30	55	9,6	30,7	30,7	28,9	25,6	9,6	27,6	1,70	9,4	-15	5275
3	45	55	9,1	30	30	28,5	25,3	9,1	27,8	1,70	9,2	-16	5275
4	60	55	8,9	30	30	28,3	25,2	8,9	27	1,72	8,9	-12	5275
5	75	55	8,5	29,2	29,2	26,5	25,1	8,5	26,2	1,70	9,4	-15	5275

No	$t$ (menit)	$Q_{komp}$ (kJ)	$I(A)$	Daya (kW)	$h_1$ (kJ/kg)	$h_2$ (kJ/kg)	$h_3 = h_4$ (kJ/kg)	$Q_{komp}/k$ (kJ/kg)	$Q_{kond}$ (kJ/kg)	ER (kJ/kg)	COP	$m$ (kg/menit)	Kap. (kW)	$P$ Vakum (kPa)
1	15	379,21	1,72	0,378	408,7290	431,2900	236,4930	22,5610	194,7970	172,2360	7,6342	30,63	1,4653	-96,527
2	30	379,21	1,70	0,374	408,2200	431,7100	234,2200	23,4900	197,4900	174,0000	7,4074	30,32	1,4653	-103,42
3	45	379,21	1,70	0,374	408,3330	425,9120	234,7000	17,5790	191,2120	173,6330	9,8773	30,38	1,4653	-110,32
4	60	379,21	1,72	0,378	407,9790	425,9120	234,3400	17,9930	191,5720	173,6390	9,6827	30,38	1,4653	-82,737
5	75	379,21	1,70	0,374	407,9850	425,2299	232,1500	17,2949	193,0799	173,7850	10,1164	30,01	1,4653	-103,42



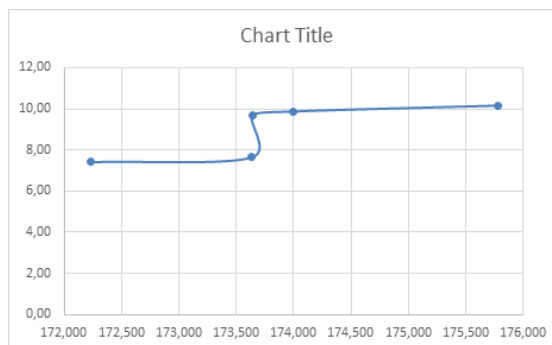
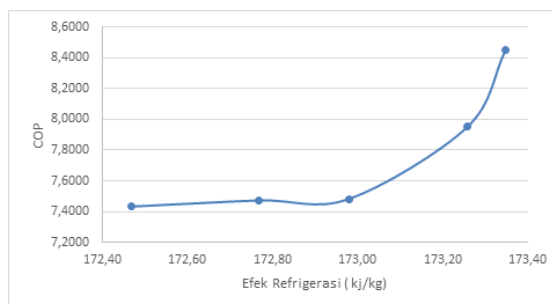
Gambar 3 Grafik hubungan COP terhadap  $Q_{komp}$

Pada gambar 3 merupakan grafik hubungan COP terhadap  $Q_{komp}$  terlihat bahwa pengaruh penggunaan ejektor pada sistem refrigerasi dapat menurunkan temperatur refrigerant yang keluar dari ejector sehingga dapat menurunkan kerja kompresi yang mengakibatkan meningkatnya nilai COP. Semakin kecil nilai kerja kompresi semakin besar nilai COP yang didapat, peningkatan COP akan mengakibatkan kerja kompresor menjadi lebih ringan.



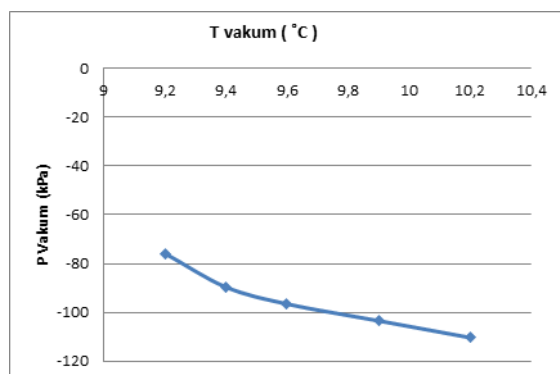
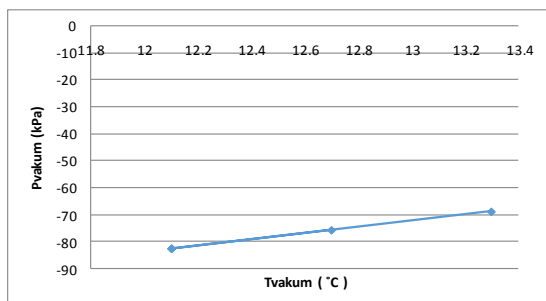
Gambar 4 Grafik hubungan perbandingan COP terhadap Tevapo In

Pada gambar 4 memperlihatkan secara keseluruhan COP dari mesin pendingin dengan menggunakan ejektor lebih besar dibandingkan dengan mesin pendingin konvensional, hal ini disebabkan karena pada mesin pendingin yang menggunakan ejektor refrigerant yang keluar dari kondensor memasuki dua saluran katup ekspansi 2 tingkat, karena katup ekspansinya 2 tingkat sehingga mengalami 2 proses ekspansi secara bersamaan kemudian masuk ke saluran evaporator, jadi refrigeran yang masuk ke evaporator suhunya lebih rendah dan tekanannya lebih rendah.



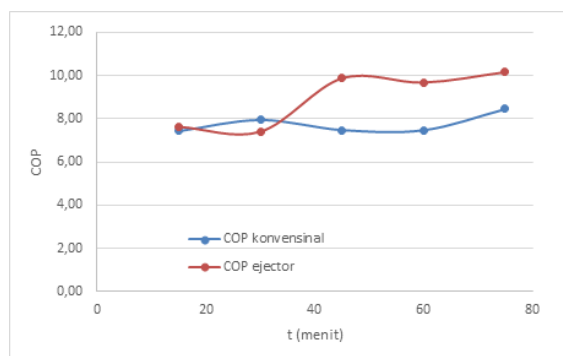
Gambar 5 Grafik hubungan COP terhadap efek refrigerasi

Pada gambar 5 hubungan COP terhadap efek refrigerasi dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi COP maka efek refrigerasi semakin tinggi begitu sebaliknya karena nilai COP adalah pembading dari efek refrigerasi dibagi kerja kompresor.



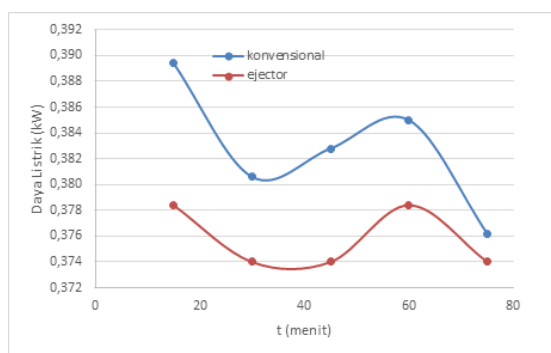
Gambar 6 Grafik hubungan tekanan ruangan vakum terhadap temperatur ruang vakum

Pada gambar 6 hubungan tekanan ruangan vakum terhadap temperature ruang vakum, memperlihatkan bahwa pada tekanan -75,84 kPa memiliki temperature vakum sebesar 12,7 dan pada tekanan - 82,73 kPa memiliki temperature vakum sebesar 12,1, dapat disimpulkan bahwa jika tekanan naik pada ruang vakum maka temperature pada ruang vakum akan naik begitu sebaliknya, karena tekanan berbanding lurus terhadap temperatur.



Gambar 7 Grafik perbandingan COP Sistem Refrigerasi Konvensional dan Ejector Pada Pendinginan Vakum.

Pada gambar 7 perbandingan COP sistem refrigerasi konvensional dan ejector pada pendinginan Vakum dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan ejector pada sistem referigerasi dengan pendinginan vakum dapat terlihat pada penelitian pertama pada 15 menit pertama sistem refrigerasi konvensional memiliki COP sebesar 7,43 sedangkan refrigerasi ejector memiliki COP sebesar 7,63 jadi COP sistem refrigerasi konvensional mengalami peningkatan COP sebesar 0,2 pada penelitian menit ke 45 sistem refrigerasi konvensional memiliki COP sebesar 7,48 sedangkan refrigerasi ejector memiliki COP sebesar 9,88 jadi COP sistem refrigerasi konvensional mengalami peningkatan COP sebesar 2,4.



Gambar 8 Grafik perbandingan pemakaian daya listrik terhadap waktu

Pada gambar 8 perbandingan pemakaian daya listrik terhadap waktu dapat dilihat pada menit ke 15 terjadi penghematan sebesar 0,011 kW dari pemakaian daya listrik sistem referigerasi konvensional 0,3894 kW sedangkan pemakaian daya listrik pada sistem referigerasi ejector 0,3784 kW dan pada menit ke 30 pemakaian daya listrik sistem referigerasi konvensional 0,3806 kW sedangkan pemakaian daya listrik pada sistem referigerasi ejector 0,3740 kW terjadi penghematan daya listrik sebesar 0,0066 kW, namun pada menit ke 75 terjadi penurunan pemakaian daya listrik pada sistem referigerasi konvensional sebesar 0,3762 dan pemakaian daya listrik pada sistem referigerasi ejector yang mengalami kenaikan 0,3784 kW, ini dikarenakan tidak stabilnya voltase arus listrik.

#### 4. Simpulan

Dari serangkaian, penelitian, perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penggunaan ejector pada sistem refrigerasi dengan pendinginan vakum dapat meningkatkan COP ( Coeficient Of Performance) sistem referigerasi, penggunaan



ejector pada sistem referigerasi dengan pendinginan vakum dapat terlihat COP sistem referigerasi konvensional memiliki rata-rata COP sebesar 7,75 sedangkan COP sistem referigerasi ejector memiliki rata-rata COP sebesar 8,95, jadi setelah menggunakan ejector pada sistem referigerasi dengan pendingin vakum terjadi peningkatan rata-rata COP sebesar 1,2 %.

Hasil perhitungan penghematan konsumsi daya listrik dengan pemakaian sistem referigerasi ejector pada pendinginan vakum dan dibandingkan dengan sistem referigerasi konvensional pada pendinginan vakum terlihat bahwa terjadi penghematan konsumsi daya listrik akibat pemakaian ejector. Pemakaian daya listrik sistem referigerasi konvensional rata-rata sebesar 0,38 kW sedangkan sistem referigerasi ejector pemakaian daya listrik rata-rata sebesar 0,39 Kw, jadi telah terjadi penghematan konsumsi daya listrik sebesar 0,01 kW atau sebesar 0,01 % karena pemakaian ejector pada sistem referigerasi dengan pendinginan vakum.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada seluruh Staf Teknik Mesin Institut Teknologi Padang yang telah memberikan kontribusi sehingga artikel ini dapat diselesaikan.

### References

- [1] S. Sunanto, S. Suhanan and F. Fauzun, "Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Ejektor Dua Fase Terhadap Unjuk Kerja Siklus Refrigerasi Pada Mesin AC," 2012.
- [2] Markus and S. T, "Pengaruh Penggunaan Ejektor Pada Sistem Refrigerasi," ed. Bandung: Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara – Politeknik Negeri Bandung, 2012.
- [3] Wardika, Suhanan dan Prajitno, "Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Ejektor Terhadap Kinerja Sistem Refrigerasi AC". Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, 2012.
- [4] B. Budiwantoro, I. D. Nengah, dan R. S. H. Sahat, "Analisis Tegangan Pada Beberapa Jenis Ejektor Uap", UNDIP, Semarang, 2015.
- [5] J. Chen, B. Palm dan P. Lundqvist, "Ejector Sistem Pendingin", [http://juurnal of menchanical enggneering](http://juurnal.of.menchanical.enggneering), 2013.
- [6] C. Sunardi, "Analisis termodinamika penggunaan ejector sebagai alat ekspansi pada pengondisian udara mobil", Jurusan Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2014.
- [7] Wardika, Suhanan dan Prajitno, "Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Ejektor Terhadap Kinerja Sistem Refrigerasi AC", Universitas Indonesia, Depok, 2012.
- [8] W. F. Stoecker dan J. W. Jones, "Refrigrasi dan pengkondisian udara", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1992.
- [9] A. Pudjanarsa dan D. Nursuhut, 'Mesin konversi energy', Andi Offset, Yogyakarta, 2013.
- [10] N. Bilir and H. K. Ersoy, "Performance improvement of the vapour compression refrigeration cycle by a two-phase constant area ejector", *International Journal of Refrigeration*, vol 33, no 5, 469-480, 2009.