

Studi Eksperimental Performa Mesin Pendingin Pada Laboratorium Teknik Mesin Universitas Khairun Ternate.

Said Hi. Abbas, Lita A. Latif

Program Studi Teknik Mesin Universitas Khairun
Jl. Pertamina Kampus II Gambesi Kota Ternate Selatan
Email: saidhabbas@yahoo.com

Abstrak

Mesin pendingin merupakan salah satu elemen untuk kenyamanan dalam menunjang kegiatan di dalam gedung dan juga untuk industri. Dengan demikian penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengaplikasikan teori-teori teknik pendingin, mengetahui berapa besar beban pendingin, performa serta formula dasar mesin pendingin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis untuk mengolah data. Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan yaitu menambah beban pendingin dengan memvariasikan fluida pendingin (air). Penelitian tersebut dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Khairun. Dari hasil penelitian diperoleh laju perpindahan kalor yang dilepaskan kondensor maupun yang diserap oleh evaporator, pada pipa kapiler lebih besar yaitu $Q_{pK} = 2,5667$ kW dan $Q_{pE} = 2,1332$ kW, sedangkan katup ekspansi $Q_{eK} = 1,8695$ kW dan $Q_{eE} = 1,4361$ kW. *Coefficient of Performance* (COP) yang dihasilkan, pipa kapiler lebih besar dari pada katup ekspansi yaitu pipa kapiler COP = 4,92 sedangkan katup ekspansi COP = 3,31.

Kata kunci: Mesin Pendingin, Katup Ekspansi, Pipa Kapiler

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan manusia selalu berusaha memperbaiki keadaan sekitarnya agar dapat menyesuaikan untuk kemudahan dan kenyamanan hidupnya. Dengan akal pikirannya, manusia dapat mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi, sehingga dapat menemukan peralatan-peralatan yang dapat digunakan untuk memudahkan dan membuat nyaman kehidupannya. Sistem refrigerasi atau pendingin sudah dikenal manusia sejak zaman kuno yaitu dengan menggunakan gumpalan es pada musim dingin, disimpan pada tempat tertentu dan digunakan pada musim panas. Penemuan siklus refrigerasi dan perkembangan mesin refrigerasi merintis jalan bagi pembuatan mesin penyegaran udara yang diawali dengan ditemukannya mikroba yang tidak dapat hidup pada temperatur 50 °F. Dengan pengetahuan tersebut maka pada tahun 1834 dibuat mesin pembuat es pertama kali yang digunakan untuk pabrik pengalengan daging agar dapat menjaga makanan tetap segar dan awet. Dengan demikian siklus refrigerasi terus mengalami perkembangan, apalagi setelah dikenalnya cara untuk mencairkan gas amoniak yang dapat digunakan sebagai refrigeran. Amoniak merupakan refrigeran yang paling populer saat itu, sebelum

diketemukannya *freon* sebagai pengganti amoniak untuk bahan refrigeran.

1.2 Dasar Mesin Pendingin

Penemuan siklus refrigerasi dan perkembangan mesin refrigerasi merintis jalan bagi pembuatan dan penggunaan mesin penyegaran udara. Komponen utama dari sistem refrigerasi adalah kompresor, kondensor, katup ekspansi/pipa kapiler dan evaporator.

Instalasi pendingin yang pertama kali dibuat dan dipatenkan oleh seorang berkebangsaan Amerika yaitu Josep Mc. Creaty pada tahun 1987 yang dinamai mesin pencuci udara yaitu sistem pendinginan menggunakan air. Dan pada tahun 1906 Dr. Willis H Carrier kebangsaan Amerika Serikat merupakan orang pertama yang berhasil membuat alat pengatur temperatur dan kelembaban udara yang dapat mendinginkan dan menjernihkan udara sampai mencapai titik embun.

Jenis dari tipe mesin pendingin disesuaikan dengan kegunaan dan yang dimilikinya. Misalnya AC untuk kantor-kantor besar di pasaran sudah tersedia berbagai jenis dan tipe mesin pendingin. Dari berbagai mesin pendingin yang ada, serta ditinjau dari segi kegunaan dan fungsinya, yang umum kita kenal ada 3 macam pendingin, antara lain :(Wiranto Arismunandar dan Heizo Saito, hal.1)

1. Mesin Refrigerasi

Jenis ini lebih di kenal dengan sebutan kulkas atau lemari es. Tipe dan kapasitasnya bermacam-macam dan umumnya digunakan untuk rumah tangga. Fungsinya untuk mendinginkan minuman, mengawetkan makanan, menghasilkan es. Suhu untuk lemari es dipertahankan 3°C - 10°C .

2. Freezer

Jenis yang satu ini tidak berbeda dengan kulkas, hanya saja kapasitas lebih besar, dan suhunya lebih rendah.

3. Air Conditioner (AC)

Manusia selalu berusaha untuk membuat keadaan disekelilingnya menjadi lebih baik dan suasana lebih nyaman. Air conditioner adalah salah satu yang dapat memenuhi kebutuhan itu dengan membuat keadaan menjadi lebih sejuk.

1.3 Definisi dari Penyegaran Udara

Penyegaran udara adalah suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan persyaratan kondisi udara dari suatu ruangan tertentu yang dapat mengatur aliran udara dan kebersihannya.

Sistem penyegaran udara pada umumnya dibedakan menjadi 2 (dua) jenis golongan, yaitu : (Wiranto Arismunandar dan Heizo Saito, hal.2).

a. Penyegaran udara untuk kenyamanan

Yaitu penyegaran yang fungsi utamanya mengatur suhu dalam ruangan yang memberikan kenyamanan bagi penghuni atau pemakainya dalam melakukan aktifitas tertentu.

b. Penyegaran udara untuk industri

Yaitu penyegaran udara dari ruangan yang difungsikan untuk mengontrol suhu suatu perangkat yang ada didalamnya. Biasanya peralatan-peralatan tersebut tidak kuat akan suhu yang terlalu tinggi.

Pada dasarnya teknik pendingin mempunyai pengertian, yaitu ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan proses menurunkan dan mempertahankan temperatur pada kondisi tertentu terhadap suatu ruangan yang dikondisikan.

Adapun siklus pendingin yang umum di pakai saat ini ada 3 macam sistem, yaitu : (Stoecker, W. F, hal.266).

• Sistem refrigerasi kompresi uap

Dalam siklus ini dinamakan saat refrigerasi melalui kompresor, refrigeran tersebut berada dalam keadaan uap. Uap refrigeran tersebut di kompresi dan membentuk uap basah/uap kering. Sistem ini dapat mencapai temperatur yang rendah, yaitu dibawah titik beku.

• Sistem refrigerasi siklus udara

Pada sistem ini menggunakan udara sebagai refrigeran dan siklus ini bekerja dengan sistem terbuka. Sistem terbuka banyak dipakai pada pendingin pesawat udara.

• Sistem refrigerasi absorpsi

Sistem pendingin absorpsi ini di gunakan untuk menyerap refrigeran yang ditiupkan didalam evaporator hingga menjadi larutan absorpsi. Kemudian larutan dimasukan kedalam generator guna memisahkan refrigeran dari larutan tersebut dengan cara memanas.

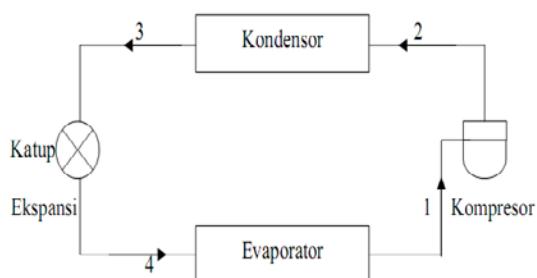
Siklus refrigerasi kompresi mengambil keuntungan dari kenyataan bahwa fluida yang bertekanan tinggi pada suhu tertentu cenderung menjadi lebih dingin jika dibiarkan mengembang. Jika perubahan tekanan cukup tinggi, maka gas yang ditekan akan menjadi lebih panas daripada sumber dingin daripada sumber dingin diluar (contoh udara diluar) dan gas yang mengembang akan menjadi lebih dingin daripada suhu dingin yang dikehendaki. Dalam kasus ini, fluida digunakan untuk mendinginkan lingkungan bersuhu rendah dan membuang panas ke lingkungan yang bersuhu tinggi.

Siklus refrigerasi kompresi uap memiliki dua keuntungan. Pertama, sejumlah besar energi panas diperlukan untuk merubah cairan menjadi uap, dan oleh karena itu banyak panas yang dapat dibuang dari ruang yang disejukkan. Kedua, sifat-sifat isothermal penguapan membolehkan pengambilan panas tanpa menaikkan suhu fluida kerja ke suhu berapapun didinginkan. Hal ini berarti bahwa salju perpindahan panas menjadi tinggi, sebab semakin dekat suhu fluida kerja mendekati suhu sekitarnya akan semakin rendah laju perpindahan panasnya.

1.4 Sistem Kompresi Uap

Dalam siklus ini, ketika refrigeran melalui kompresor, refrigeran tersebut dikompresikan sehingga tekanan dan temperaturnya naik, selanjutnya uap refrigeran didinginkan dan panasnya dibuang sehingga temperatur refrigeran mengalami penurunan dan menjadi cair. Selanjutnya untuk menurunkan tekanan cairan refrigeran digunakan katup ekspansi dan kemudian masuk ke evaporator lalu menyerap kalor air di dalam evaporator dan terjadi penguapan.

Siklus refrigerasi ditunjukkan dalam gambar 1 berikut dapat dibagi menjadi tahapan-tahapan berikut :



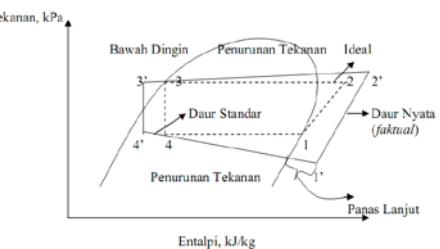
Gambar 1. Diagram aliran sistem refrigerasi kompresi uap

- **1 – 2.** Cairan refrigeran dalam *evaporator* menyerap panas dari sekitarnya, biasanya udara, air atau cairan proses lain. Selama proses ini cairan merubah bentuknya dari cair menjadi gas, dan pada keluaran *evaporator* ini diberi pemanasan berlebihan/*superheatedgas*.
- **2 – 3.** Uap yang diberi panas berlebih masuk menuju kompresor dimana tekanannya dinaikkan. Suhu juga akan meningkat, sebab bagian energi yang menuju proses kompresi dipindahkan ke refrigeran.
- **3 – 4.** Superheated gas tekanan tinggi lewat dari kompresor menuju kondensor. Bagian awal proses refrigerasi menurunkan panas superheated gas sebelum gas ini dikembalikan menjadi bentuk cairan. Refrigerasi untuk proses ini biasanya dicapai dengan menggunakan udara atau air. Penurunan suhu lebih lanjut terjadi pada pekerjaan pipa dan penerimaan cairan, sehingga cairan refrigeran didinginkan ke tingkat lebih rendah ketika cairan ini menuju alat ekspansi.
- **4 – 1.** Cairan yang sudah didinginkan dan bertekanan tinggi melintas melalui peralatan ekspansi, yang mana akan mengurangi tekanan dan mengendalikan aliran menuju kompresor.

1.5 Siklus Kompresi Uap Aktual

Siklus kompresi uap yang sebenarnya (*aktual*) berbeda dari siklus standar (*teoritis*). Perbedaan ini muncul karena adanya asumsi-umsi yang ditetapkan dalam siklus standar. Pada siklus aktual terjadi pemanasan lanjut uap refrigeran yang meninggalkan evaporator sebelum masuk ke kondensor. Pemanasan lanjut ini terjadi akibat tipe peralatan ekspansi yang digunakan atau dapat juga karena penyerapan kalor di jalur masuk (*suction line*) antara evaporator dan kompresor. Begitu juga dengan refrigeran cair mengalami pendinginan lanjut atau bawah dingin sebelum masuk ke katup ekspansi atau pipa kapiler. Keadaan di atas adalah

peristiwa yang normal dan melakukan fungsi yang diinginkan untuk menjamin bahwa seluruh refrigeran yang memasuki kompresor dalam keadaan 100% uap. Perbedaan yang penting antara daur nyata (*aktual*) dan standar terletak pada penurunan tekanan di dalam kondenser dan evaporator. Daur standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan pada kondensor dan evaporator, tetapi pada daur nyata terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan antara refrigeran dengan dinding pipa (*friksi*). Akibat dari penurunan tekanan ini, kompresi pada titik 1 dan titik 2 memerlukan kerja lebih banyak dibandingkan dengan daur standar



Gambar 2. Daur kompresi uap nyata dibanding daur standar. (Stoecker, W. F, hal.202).

Penjelasan gambar di atas adalah sebagai berikut : Garis 4-1' menunjukkan penurunan tekanan yang terjadi pada refrigeran saat melewati *suction line* dari evaporator ke kompresor. Garis 1-1' menunjukkan terjadinya panas lanjut pada uap refrigeran yang ditunjukkan dengan garis yang melewati garis uap jenuh. Proses 1'-2' adalah proses kompresi uap refrigeran di dalam kompresor. Pada siklus teoritis proses kompresi diasumsikan isentropik, yang berarti tidak ada perpindahan kalor antara refrigeran dan dinding silinder. Pada kenyataannya proses yang terjadi bukan isentropik tetapi politropik, yang berarti ada perpindahan kalor antara refrigeran dan dinding silinder. Garis 2'-3 menunjukkan adanya penurunan tekanan yang terjadi pada pipa-pipa kondensor. Sedangkan pada garis 3-3' menunjukkan penurunan tekanan yang terjadi di jalur cair (*liquid line*).

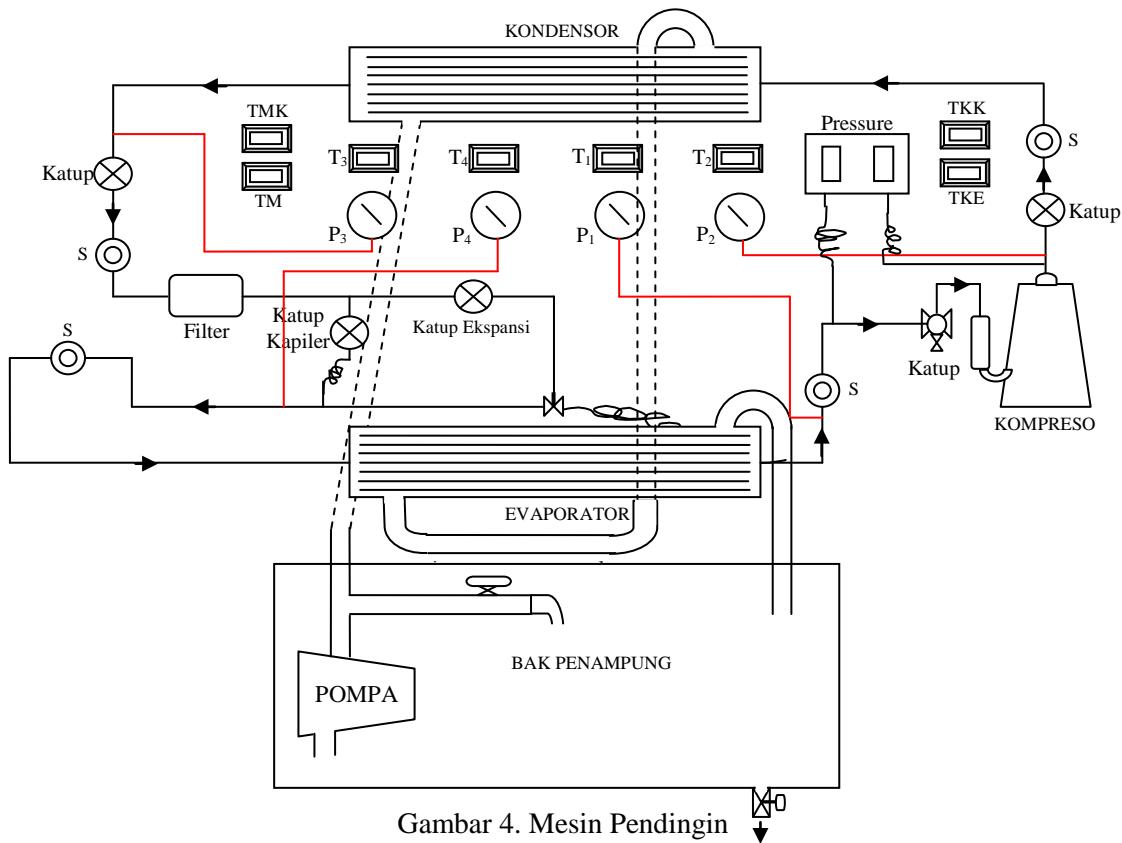
1.6 Analisis Termodinamika Siklus Kompresi Uap

Dalam sistem refrigerasi, laju aliran massa dianggap tetap. Keseimbangan energi menyatakan bahwa besarnya energi yang masuk dititik 1 ditambah besarnya energi yang ditambahkan berupa kalor, dikurangi dengan energi yang keluar dalam bentuk kerja yang meninggalkan sistem pada titik 2 sama dengan besarnya perubahan energi didalam volume kendali. Gambar 3 menunjukkan keseimbangan energi di dalam volume kendali.

- Ukuran pipa= $\frac{1}{4}$ '
- Susunan pipa= Segitiga (triangular pitch)
- Panjang pipa= 81 cm
- Aliran = Silang (berlawanan)
- c. Katup ekspansi
- Jenis katup ekspansi= Therm.Exp.Valve (TXV)
- e. Evaporator
- Jenis evaporator = Shell and Tube
- Ukuran shell = 4'
- Jumlah pipa (tube) = 21 buah
- Ukuran pipa = $\frac{1}{4}$ '
- Susunan pipa= Baris sejajar (square pitch)
- Panjang pipa = 49 cm
- Aliran = Searah

d. Pipa kapiler

- Ukuran Pipa =0,3 mm
- Panjang pipa = 1 m



3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian

Tabel 1. Hasil perhitungan Entalpi dan Entropi untuk proses katup ekspansi dan pipa kapiler

Proses	Entalpi			Entropi			
	h_1	h_2	$h_3 = h_4$	s_1	s_2	s_3	s_4
	(kJ/kg)			(kJ/kg ^0K)			
Eksapsansi	435.29	494.08	240.51	2.026	1.933	1.1377	1.1752
	435.29	496.46	241.36	2.026	1.937	1.1404	1.1812
	435.29	497.48	241.83	2.026	1.938	1.1419	1.1826
	435.63	497.82	242.48	2.027	1.937	1.1439	1.1848
	435.63	499.17	243.07	2.027	1.940	1.1458	1.1869
Kapiler	433.59	473.01	239.58	2.021	1.879	1.1347	1.1685
	433.59	482.18	240.64	2.021	1.903	1.1381	1.1715
	433.59	486.60	241.96	2.021	1.911	1.1423	1.1758
	433.59	493.74	243.26	2.021	1.926	1.1464	1.1800
	433.59	498.83	244.90	2.021	1.936	1.1516	1.1852

Tabel 2. Hasil perhitungan untuk katup Ekspansi

No	Qa	Temperatur Refrigeran ($^{\circ}\text{C}$)				Tekanan Refrigeran (Bar)				$Q_{\text{K.ref}}$	$Q_{\text{E.ref}}$	COP
		ltr/det	T_1	T_2	T_3	T_4	P_1	P_2	P_3	P_4		
E1	0.361	33.02	128.04	33.24	-31.86	0.784	12.924	11.924	0.784	1.8695	1.4361	3.31
E2	0.322	33.4	131.3	33.66	-31.56	0.784	13.179	12.179	0.784	1.8076	1.3741	3.17
E3	0.226	33.46	132.86	34.02	-31.24	0.784	13.356	12.316	0.784	1.7818	1.3484	3.11
E4	0.189	33.8	133.38	34.52	-30.88	0.784	13.630	12.512	0.784	1.7796	1.3462	3.11
E5	0.176	33.9	135.38	34.98	-30.58	0.784	13.728	12.709	0.784	1.7470	1.3135	3.03

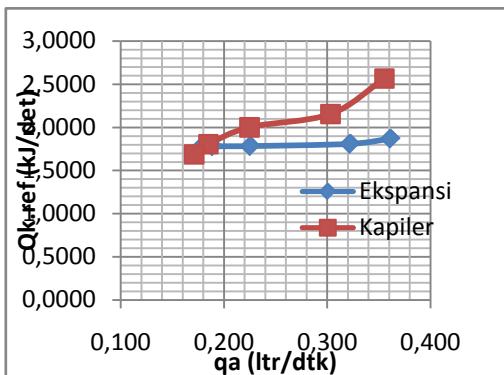
Tabel 3. Hasil perhitungan untuk pipa Kapiler

No	Qa	Temperatur Refrigeran ($^{\circ}\text{C}$)				Tekanan Refrigeran (Bar)				$Q_{\text{K.ref}}$	$Q_{\text{E.ref}}$	COP
		ltr/det	T_1	T_2	T_3	T_4	P_1	P_2	P_3	P_4		
K1	0.355	30.8	102.33	32.28	-27.33	0.784	12.699	11.718	0.784	2.5667	2.1332	4.92
K2	0.303	30.8	113.16	33.1	-26.26	0.784	12.885	11.904	0.784	2.1546	1.7212	3.97
K3	0.225	30.8	119.44	34.12	-25.38	0.784	13.356	12.316	0.784	2.0003	1.5669	3.62
K4	0.185	30.8	128.64	35.12	-24.46	0.784	13.748	12.669	0.784	1.8050	1.3715	3.16
K5	0.171	30.8	135.22	36.38	-23.24	0.784	14.238	13.042	0.784	1.6870	1.2536	2.89

3.2. Pembahasan

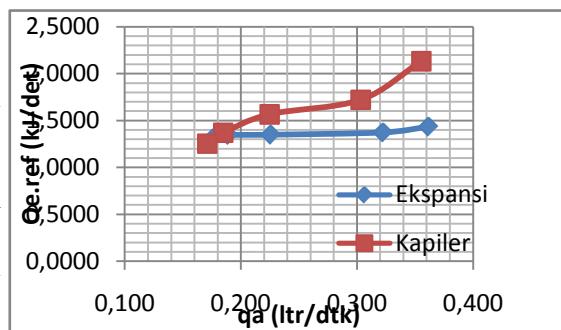
Dari hasil penelitian diperoleh berdasarkan gambar diagram P-h dan T-s pada siklus refrigerasi kompresi uap sebagai berikut:

1. Refrigeran keluar evaporator dalam kondisi kondisi uap kering, hal ini disebabkan debit air sebagai beban penyerapan kalor terlalu besar.
2. Tekanan refrigeran yang masuk dan keluar pada kondensor maupun evaporator mengalami penurunan tekanan hal ini disebabkan adanya kerugian mayor sepanjang pipa dan kerugian minor akibat perbaian luas penampang pipa pada instalasi.



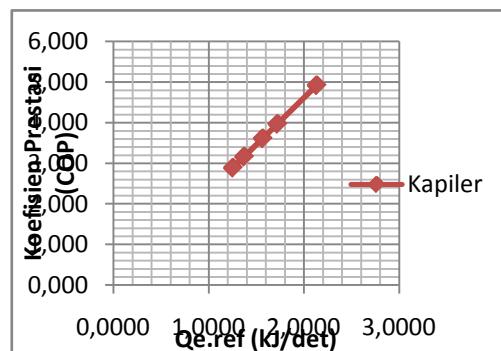
Gambar 5. Grafik hubungan antara debit air dengan laju perpindahan kalor pada kondensor

Dari grafik diatas menunjukan bahwa untuk debit air sebagai media pada pendingin yang sama, besarnya pelepasan laju perpindahan kalor kondensor pada pipa kapiler lebih besar dari pada katup ekspansi. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan energi untuk merubah refrigeran dari keadaan fase uap dipanaskan lanjut (uap kering) keadaan fase cairan jenuh pada proses Isobar pada kondensor, penggunaan katup ekspansi lebih kecil dari pada pipa kapiler.

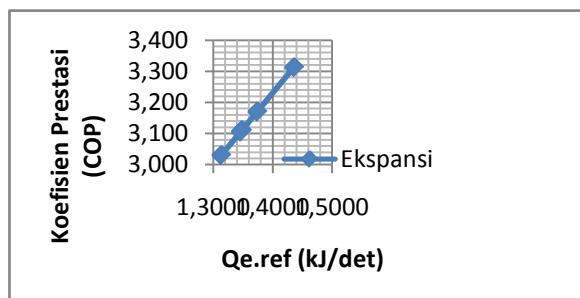


Gambar6. Grafik hubungan antara debit air dengan laju perpindahan kalor Pada Evaporator

Dari grafik. diatas menunjukan bahwa untuk debit air sebagai media pada pendingin yang sama, besar penyerapan laju perpindahan kalor evaporator pada pipa kapiler lebih besar dari pada katup ekspansi. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan refrigeran dari keadaan fase campuran ke keadaan fase uap dipanaskan lanjut pada proses Isobar pada evaporator energi yang dihasilkan penggunaan pipa kapiler lebih besar dari pada katup ekspansi.



Gambar 7. Grafik hubungan antara COP dengan laju perpindahan kalor Evaporator pada pipa kapiler.



Gambar 8. Grafik hubungan antara COP dengan laju perpindahan kalor Evaporator pada katup ekspansi.

Dari gambar 7 dan 8 diatas menunjukan bahwa laju perpindahan kalor evaporator berbanding lurus dengan Coefficient of Performance (COP). Hal ini terlihat semakin besar penyerapan laju perpindahan kalor pada evaporator semakin besar COP. Berdasar tren secara umum terlihat bahwa pada pipa kapiler dan katup ekspansi COP yang dihasilkan dari keduanya hampir sama antara 2,89 sampai 4,92.

2. J.P Holman dan E.Jasjfi, 1981, *Perpindahan Kalor (Heat Transfer)*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
3. Michael J. Moran dan Howard N.Shapiro, 2001, *Termodynamika Teknik Edisi 4 Jilid 1*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
4. Richard C.Jordan and Gayde B. Priester, 1985, *Refrgeration and Air Conditioning*, Prentice Hall of India Private Limited. New Delhi.
5. Stoecker, W. F. 1992, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara* Edisi kedua. Erlangga. Jakarta.
6. Victor L. Streeter dan E. Benjamin Wylie, 1985, *Mekanika Fluida Edisi Delapan Jilid 1*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
7. William C.Reynolds and Henry C.Perkinns, 1989, *Termodynamika Teknik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
8. Wiranto Arismunandar dan Heizo Saito, 1980, *Penyegaran Udara*, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta.

4. PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa pada debit air yang sama:

- a. Besarnya laju perpindahan kalor yang dilepaskan kondensor maupun yang diserap oleh evaporator, pada pipa kapiler lebih besar yaitu $Q_{pK} = 2,5667$ kJ/det dan $Q_{pE} = 2,1332$ kJ/det, sedangkan pada katup ekspansi $Q_{eK} = 1,8695$ kW dan $Q_{eE} = 1,4361$ kW.
- b. Besarnya *Coefficient of Performance* (COP) yang dihasilkan, pipa kapiler lebih besar dari pada katup ekspansi yaitu pipa kapiler COP = 4,92 sedangkan katup ekspansi COP = 3,31.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. C.P.Arora, 2000, *Refrgeration and Air Conditioning*, Secon edition, Mc Graw – Hill International Edition Company Ltd. New Delhi.