

PENGARUH STUDI EKSPERIMEN PEMANFAATAN PANAS BUANG KONDENSOR UNTUK PEMANAS AIR

Arif Kurniawan

Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang; Jl.Raya Karanglo KM. 2 Malang

¹Jurusan Teknik Mesin, FTI-Teknik Mesin ITN, Malang

e-mail: itsarif9@gmail.com

ABSTRAKSI

Pada bagian mesin pendingin (refrigerasi) terdapat peralatan yang dapat mengeluarkan panas yaitu kondensor, yang dihasilkan pada saat mesin pendingin bekerja. Panas yang dikeluarkan oleh kondensor dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan 3 variasi ukuran diameter pipa kondensor terhadap performa atau koefisien prestasi (COP) pada suatu mesin pendingin. Metode penelitian menggunakan studi eksperimen dengan parameter yang diuji adalah temperatur (T) dan tekanan (P) pada mesin pendingin yang diukur pada saat pipa kondensor dikenai pembebanan air. Variabel eksperimen adalah air pada pembebanan pipa kondensor dan diameter pipa kondensor (D). Hasil analisa data penelitian menunjukkan COP mesin pendingin semakin naik dengan bertambahnya ukuran diameter dan pembebanan air pada pipa kondensor, yang nilainya masing-masing: (1) D=0.00318 m, beban air 0 L, COP=1.96; beban air 0.6 L, COP=2.26; beban air 1.8 L, COP=2.28; beban air 3 L, COP=2.33; (2) D=0.00476 m, beban air 0 L, COP=2.18; beban air 0.6 L, COP=2.29; beban air 1.8 L, COP=2.38; beban air 3 L, COP= 2.46; (3) D=0.00635 m, beban air 0 L, COP=2.48; beban air 0.6 L, COP=2.56; beban air 1.8 L, COP=2.67; beban air 3 L, COP=2.74. Dari hasil penelitian ini dapat membuktikan dan menunjukkan hasil yang signifikan bahwa adanya pengaruh penggunaan diameter pipa kondensor dan pembebanan air terhadap performa mesin pendingin, yaitu adanya kenaikan nilai COP mesin pendingin.

Kata kunci: Beban air (liter), COP (Coefficient of performance), diameter pipa kondensor (D), temperatur (T), tekanan (P)

PENDAHULUAN

Pengaruh panas yang dikeluarkan kondensor dengan adanya mekanisme perpindahan panas secara konduksi dan konveksi (**Incropera, F. P. dan D. P. DeWitt, 1996**) maka dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air sebagai beban

kondensor pada bak penampungan air yang telah dirancang pada model eksperimen.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pembebanan kondensor terhadap COP mesin pendingin dan COP kondensor, dimana diameter pipa kondensor menggunakan 3 variasi ukuran yang berbeda.

KONSEP, PERSAMAAN DASAR TERMODINAMIKA DAN MODEL EKSPERIMEN

Mesin pendingin (refrigerasi) menggunakan siklus kompresi uap (Moran, M. J. dan H. N. Shapiro, 1996). Pada siklus ini uap ditekan, hingga mencapai tekanan, temperatur, entalpi yang tinggi dan diembunkan menjadi cairan di dalam kondensor dengan melepas kalor, setelah itu dialirkan melalui katup ekspansi yang berfungsi untuk menurunkan tekanan, agar cairan tersebut dapat menguap kembali di dalam evaporator untuk menyerap kalor dan kemudian ditekan kembali oleh kompresor. Model eksperimen yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan seperti pada gambar 1, yaitu terdiri dari: 1) kompresor, 2) kondensor, 3) katup ekspansi, 4) evaporator dan 5) bak air.

Proses-proses yang membentuk siklus kompresi uap standar dan persamaan Termodinamika yang terjadi pada masing-masing proses adalah sbb (Moran, M. J. and H. N. Shapiro, 1996; Stoecker, W. F. dan J. W. Jones, 1996):

a). Proses 1-2 Kompresi

Kompresi isentropik dan adiabatik pada refrigeran dari uap jenuh kondisi 1 menuju ke tekanan kondensor pada kondisi 2.

$$W_c = h_2 - h_1 \quad (1)$$

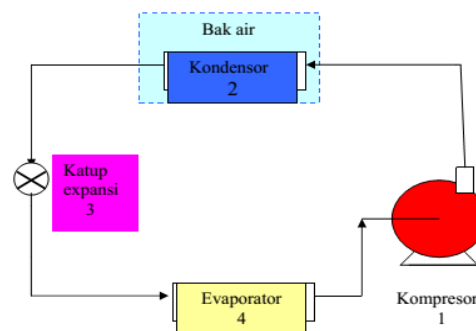
dimana: W_c : kerja kompresor ($^{\text{kJ}}/\text{kg}$),
 $h_2 - h_1$: perubahan entalpi di kompresor ($^{\text{kJ}}/\text{kg}$)

$$P = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (2)$$

dimana: P : daya kompresor (kW), $\dot{m}$: laju aliran massa ($^{\text{kg}}/\text{s}$)

$$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

dimana: η_c : efisiensi kompresor,
 $h_{2s} - h_1$: kerja isentropik kompresor ($^{\text{kJ}}/\text{kg}$)



Gambar 1. Sistem pendingin dengan kondensor dalam bak air

b). Proses 2-3 Kondensasi (pengembunan)

Sistem kondensasi adalah pelepasan kalor dari refrigeran ketika mengalir pada tekanan konstan melalui kondensor secara reversibel yang menyebabkan *desuperheating* (penurunan uap panas lanjut) dan pengembunan. Refrigeran menjadi cair jenuh pada kondisi 3.

$$\text{Heat rejektif} = q_{rej} = h_2 - h_3 \quad (4)$$

dimana: q_{rej} : pelepasan kalor pada kondensor ($^{kJ}/kg$), $h_2 - h_3$: perubahan entalpi di kondensor ($^{kJ}/kg$)

$$Q_k = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (5)$$

dimana: Q_k : laju kemampuan kondensor melepas panas ($^{kJ}/s$)

$$HRR = \frac{Q_k}{Q_{ref}} \quad (6)$$

dimana: HRR : Heat Rejection Rate Ratio (Nisbah Pembuangan Panas), Q_{ref} : kapasitas refrigerasi (kW)

c). Proses 3-4 Ekspansi

Ekspansi adiabatik *irreversibel* pada entalpi konstan, pada kondisi 3 menjadi 2 fase yaitu cair-uap tercampur pada kondisi 4 menuju tekanan evaporator. Pada saat refrigeran mengalir melalui pipa kapiler, tekanan dan suhu jenuhnya turun secara bertahap, dan fraksi uap (χ) naik secara kontinyu pada tiap titik.

$$h = h_f(1 - \chi) + h_g\chi \quad (7)$$

$$s = s_f(1 - \chi) + s_g\chi \quad (8)$$

dimana: h : entalpi ($^{kJ}/kg$), h_f : entalpi cairan jenuh ($^{kJ}/kg$), h_g : entalpi uap jenuh ($^{kJ}/kg$), s : entropi ($^{kJ}/kg.K$), s_f : entropi cairan jenuh ($^{kJ}/kg.K$), s_g : entropi uap jenuh ($^{kJ}/kg.K$), χ : fraksi uap dalam campuran cairan uap

d). Proses 4-1 Evaporasi

Sistem evaporasi merupakan pengambilan kalor oleh refrigeran yang mengalir di dalam evaporator (penambahan kalor *reversibel*) pada tekanan konstan, yang menyebabkan proses penguapan menuju uap jenuh.

$$q = h_1 - h_4 \quad (9)$$

dimana: q : laju perpindahan panas di evaporator ($^{kJ}/kg$), $h_1 - h_4$: perubahan entalpi di evaporator ($^{kJ}/kg$)

$$Q_{ref} = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (10)$$

dimana: Q_{ref} : kapasitas refrigerasi (kW)

$$COP = \frac{\text{Refrigerasi Bermanfaat}}{\text{Kerja Bersih}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (11)$$

dimana: COP : Coefisien of Performance (koefisien prestasi pada mesin pendingin)

$$COP_k = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (12)$$

dimana: COP_k : koefisien prestasi pada kondensor

METODE PENELITIAN

Metode penelitian menggunakan studi eksperimen dengan parameter yang diuji adalah temperatur (T) dan tekanan (P) pada mesin pendingin yang diukur pada saat pipa kondensor dikenai pembebanan air. Variabel eksperimen adalah air pada pembebanan pipa

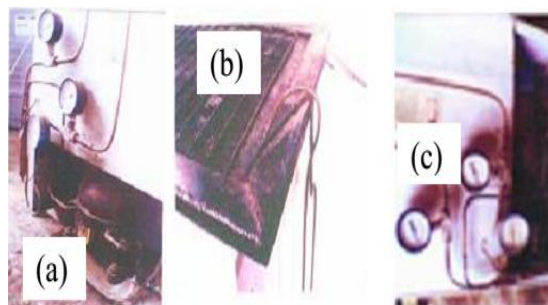
kondensor dan diameter pipa kondensor (D).

Prosedur eksperimen yang dilakukan ada 2 tahapan, yaitu:

1). Kondensor tanpa dibebani air
Mesin pendingin dihidupkan dan bekerja sampai pada keadaan *steady state* (berkisar antara 1 s.d. 2 jam), tanpa beban kondensor. Setelah sistem mencapai keadaan *steady state*, data diambil dari mesin pendingin saat kondensor tanpa beban.

2).Kondensor dibebani air

Dilakukan secara bertahap dengan volume air yang bertambah, dimana pada setiap kali penambahan volume air, air yang telah dipakai sebelumnya dibuang terlebih dahulu dan diganti dengan air yang baru. Proses pengambilan data dilakukan dengan 3 perlakuan sesuai dengan diameter pipa kondensor yang berbeda. ($D_1 = 0.00318$ m, $D_2 = 0.00476$ m, $D_3 = 0.00635$ m). Waktu masing-masing pengambilan data dilakukan dengan durasi 10 s.d. 20 menit. Bak air pada pembebanan kondensor ditempatkan pada keadaan tertutup. Data-data yang diambil berupa tekanan (P), temperatur (T) pada masing-masing alat mesin pendingin, dan temperatur ruang (T_R) pada bak air serta W_{input} kompresor (W_{ic}). Model eksperimen (benda uji) dan beberapa peralatan penelitian yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Peralatan eksperimen: (a) kompresor, (b) kondensor, (c) manometer

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan eksperimen maka diperoleh data-data hasil eksperimen seperti yang ditunjukkan pada tabel 1. Data-data ini kemudian dihitung, dianalisis dan dibuatkan grafik untuk memberikan rincian dan penjelasan terkait dengan maksud dan tujuan eksperimen.

Tabel 1. Data hasil eksperimen

Diameter [m]	No.	Beban Air [liter]	Tekanan [Mpa] dan Temperature [°C]							Temperatur Ruang [°C]
			P1	T1	P2	T2	P3	T3		
0.00318	1	0	0.1979	-14	1.6182	80	1.5492	Cat Jernih P1-P3 dan T1-T3 (suhu)	50	
	2	0.6	0.1841	-15	1.4458	73	1.3424		45	
	3	1.8	0.1772	-16	1.3079	72	1.2045		43	
	4	3	0.1703	-17	1.1700	69	1.1355		41	
0.00476	5	0	0.1772	-16	1.3768	70	1.3424		45	
	6	0.6	0.1634	-18	1.2528	69	1.2045		42	
	7	1.8	0.1565	-19	1.1907	66	1.1631		40	
	8	3	0.1496	-20	1.1355	63	1.1218		38	
0.00635	9	0	0.1634	-18	1.2045	65	1.1493		40	
	10	0.6	0.1496	-20	1.0666	60	1.0390		37	
	11	1.8	0.1427	-21	1.0114	58	0.9839		34	
	12	3	0.1358	-23	0.9563	56	0.9287		32	

Dalam tabel dapat dilihat bahwa ada 3 variasi ukuran diameter yang digunakan dalam eksperimen, yaitu $D_1 = 0.00318$ m, $D_2 = 0.00476$ m, $D_3 = 0.00635$ m (standar pabrik). Beban air yang besarnya 0 liter berarti menunjukkan eksperimen menggunakan kondensor tanpa dibebani air. Sedangkan

beban air yang besarnya 0.6, 1.8, 3 menunjukkan bahwa eksperimen yang dilakukan dalam kondisi kondensor dibebani air. Beban air mengindikasikan bahwa panas buang dari kondensor dimanfaatkan untuk memanaskan air yang berada dalam bak air untuk dilihat pengaruhnya terhadap performa mesin pendingin (COP), apakah dengan adanya beban air dapat menurunkan performa mesin pendingin atau dapat menaikkan performa mesin pendingin.

Analisis Data dan Grafik Hasil Perhitungan

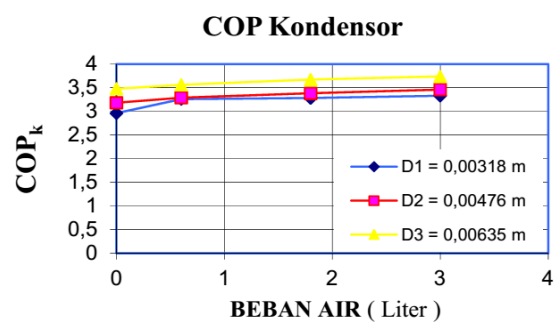
Data-data hasil eksperimen kemudian dihitung dan dianalisis berdasarkan persamaan dasar Termodinamika (1) s.d (12). Dari hasil perhitungan yang diperoleh kemudian dibuatkan grafik COP dan COP_k . Data hasil perhitungan dan grafik COP, COP_k dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada tabel 2, tabel 3, gambar 3 dan gambar 4.

Tabel 2. Data hasil perhitungan 1

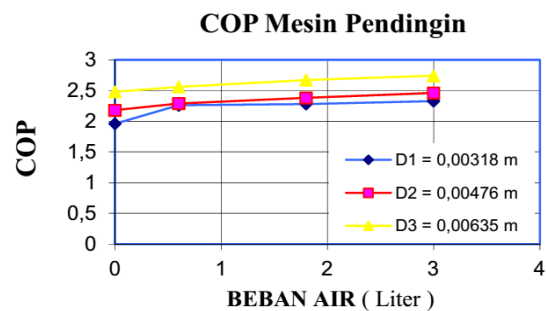
No.	Diameter [m]	Beban Air [liter]	W_c [kJ/kg]	η_c	P [kW]	q_{rej} [kJ/kg]	Q_k [kW]	T_R [°C]
1	0.00318	0	43.44	0.864	0.0610	128.81	0.1809	50
2		0.6	40.54	0.90	0.0610	132.19	0.1989	45
3		1.8	42.19	0.85	0.0610	138.44	0.2002	43
4	0.00476	3	42.26	0.80	0.0610	140.68	0.2031	41
5		0	41.83	0.88	0.0627	133.02	0.1995	45
6		0.6	41.55	0.875	0.0623	136.85	0.2053	42
7	0.00635	1.8	40.49	0.898	0.0610	136.84	0.2062	40
8		3	39.61	0.90	0.0610	137.07	0.2111	38
9		0	39.23	0.90	0.0610	136.61	0.2124	40
10	0.00635	0.6	39.34	0.86	0.0610	140.10	0.2172	37
11		1.8	38.36	0.90	0.0610	140.86	0.2240	34
12		3	38.04	0.90	0.0610	142.37	0.2283	32

Tabel 3. Data hasil perhitungan 2

No.	Diameter [m]	Beban Air [liter]	q [kJ/kg]	Q_{ref} [kW]	COP	COP_k	HRR	T_R [°C]
1	0.00318	0	85.37	0.1199	1.96	2.96	1.5088	50
2		0.6	91.65	0.1379	2.26	3.26	1.4423	45
3		1.8	96.25	0.1392	2.28	3.28	1.4382	43
4	0.00476	3	98.42	0.1421	2.33	3.33	1.4293	41
5		0	91.19	0.1368	2.18	3.18	1.4583	45
6		0.6	95.30	0.1429	2.29	3.29	1.4367	42
7	0.00635	1.8	96.35	0.1452	2.38	3.38	1.4201	40
8		3	97.46	0.1501	2.46	3.46	1.4064	38
9		0	97.38	0.1514	2.48	3.48	1.4029	40
10	0.00635	0.6	100.76	0.1562	2.56	3.56	1.3905	37
11		1.8	102.50	0.1630	2.67	3.67	1.3742	34
12		3	104.33	0.1673	2.74	3.74	1.3646	32



Gambar 3. Grafik COP kondensor (COP_k)



Gambar 4. Grafik COP mesin pendingin (COP)

Dari data hasil perhitungan diketahui bahwa COP dan COP_k nilainya mengalami peningkatan pada saat kondensor dibebani air dibandingkan dengan kondisi saat kondensor tanpa dibebani air.

Begitu juga COP mesin pendingin (COP) dan COP kondensor (COP_k) untuk ukuran diameter yang lebih besar nilainya juga mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan panas buang kondensor untuk pemanas air dapat diaplikasikan karena menunjukkan peningkatan nilai COP dan COP_k yang signifikan.

Nilai COP dan COP_k mengalami peningkatan karena pada saat kondensor dibebani air, mekanisme terjadinya perpindahan panas baik secara konduksi dan konveksi menjadi semakin intens. Sehingga hal ini mengakibatkan turunnya temperatur pada kondensor. Pada tabel 1 bisa dilihat kondisi pada T_2 , dimana nilainya semakin turun saat beban air dinaikkan. Dengan turunnya temperatur T_2 , maka nilai entalpi pada kondensor (h_2) juga akan turun. Dengan turunnya nilai h_2 maka kerja bersih mesin pendingin juga turun. Berdasarkan persamaan (11) dan persamaan (12), turunnya nilai kerja bersih (kerja bersih = $h_2 - h_1$) dapat menaikkan nilai COP dan COP_k .

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran dari hasil studi eksperimen ini adalah sbb:

- 1). Panas buang kondensor dari mesin pendingin dapat diaplikasikan dan dimanfaatkan untuk pemanas air. Hal dapat dibuktikan dari hasil eksperimen bahwa performa mesin pendingin dengan perlakuan

kondensor yg dibebani air (dalam hal ini kondensor yang dimanfaatkan sebagai pemanas air), nilai COP mesin pendingin maupun COP kondensor mengalami peningkatan dibandingkan jika kondensor tanpa dibebani air. Karena tidak menurunkan performa dari mesin pendingin maka aplikasi panas buang kondensor sebagai pemanas air bisa digunakan.

- 2). Eksperimen ini dilakukan pada mesin kulkas rumah tangga (skala kecil). Dari hasil eksperimen ini pemanfaatannya bisa diterapkan untuk skala yang lebih besar, misalkan sistem pendingin di dunia industri. Pemanfaatan panas buang kondensor untuk skala besar tidak terbatas hanya untuk memanaskan air, tapi bisa juga untuk dimanfaatkan sebagai alat pengering material padat. Misalnya digunakan sebagai alat pengering pakaian, bahan-bahan makanan dsb.

- 3). Eksperimen ini menggunakan ukuran diameter kondensor standar pabrik (yang ada di pasaran) yaitu ukurannya 0.00635 m dan ukuran diameter dibawahnya yaitu 0.00318 m dan 0.00476 m. Perlu dilakukan eksperimen lanjutan yang menggunakan ukuran diameter di atas standar pabrik, misalkan menggunakan kondensor dengan ukuran diameter 0.007 m s.d. 0.01 m.

DAFTAR PUSTAKA

Incropera, F. P. and D. P. DeWitt, 1996.
“Fundamental of Heat and Mass

Transfer”, 4nd ed., John Wiley & Sons, Inc..

Moran, M. J. and H. N. Shapiro, 1996, “*Fundamental of Engineering Thermodynamics*”, 3th ed., John Wiley & Sons, Inc.

Stoecker, W. F. dan J. W. Jones, 1996, “*Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*”, Hara, Supratman, (ter.), Edisi Kedua, Penerbit Erlangga