

ANALISIS KINERJA MESIN PENDINGIN UDARA ALTERNATIF YANG MEMANFAATKAN ENERGI LATEN PENCAIRAN ES DENGAN UJI SESAAT

Jamal¹⁾

Abstrak: Indonesia sebagai sebuah negara tropis memiliki iklim dengan suhu cukup tinggi, sehingga kebutuhan mesin pendingin udara (AC) sangat tinggi. Tetapi timbul permasalahan akibat penggunaan mesin pendingin udara yaitu menggunakan energi yang besar, pencemaran lingkungan dari penggunaan freon yang dapat merusak ozon dan harga pengadaannya yang mahal. Dengan meningkatnya kebutuhan mesin pendingin udara maka perlu untuk melakukan analisis kinerja dari mesin pendingin udara yang memanfaatkan energi laten pencairan es dengan uji sesaat, yang merupakan tujuan jangka pendek dari penelitian ini, sedangkan tujuan jangka panjang penelitian ini adalah mengatasi permasalahan global yaitu penggunaan energi yang sangat besar serta pemanasan global akibat penggunaan mesin pendingin ruangan yang tidak ramah lingkungan. Metode yang digunakan dalam penyelesaian masalah di atas adalah dengan melakukan uji sesaat dari mesin pendingin alternatif yang tidak menggunakan freon sebagai fluida kerja tetapi menggunakan es sebagai sumber energi pendingin. Penggunaan kompresor dalam penelitian ini digantikan dengan penggunaan pompa. Hasil pengujian yang dilakukan adalah mesin pendingin udara yang mampu mendinginkan ruangan, tidak menggunakan freon sebagai fluida kerja hingga aman bagi lingkungan dan mesin pendingin udara yang memiliki biaya pengadaan dan pemeliharaan serta perbaikan yang lebih rendah dibandingkan AC berfreon tetapi memiliki biaya operasional yang lebih tinggi. Dari hasil penelitian uji sesaat diperoleh pada debit air konstan diperoleh hubungan efisiensi HE (η_{HE}) dengan kecepatan udara (v_{ud}) adalah berbanding terbalik, demikian pula hubungan efisiensi sistim (η_{sys}) dengan kecepatan udara. Hasil penelitian uji sesaat diperoleh pada kecepatan udara fan pada heat exchanger konstan diperoleh hubungan efisiensi HE (η_{HE}) dengan debit air (Q_{air}) adalah berbanding lurus demikian pula hubungan efisiensi sistim (η_{sys}) dengan debit air. Hasil penelitian uji sesaat diperoleh efisiensi HE (η_{HE}) maksimum 72,66% dan minimum 22,54%, dan efisiensi sistem (η_{sys}) maksimum 11,09% dan minimum 7,1%.

Kata Kunci: AC, alternatif, non freon.

I. PENDAHULUAN

Saat ini pemakaian energi sangat meningkat sedangkan sumber-sumber energi semakin menipis utamanya minyak bumi. Dampak dari meningkatnya konsumsi energi adalah harga bahan bakar meningkat. Produk teknologi yang memerlukan banyak energi adalah mesin pendingin udara.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

Efek lain penggunaan produk teknologi adalah berdampak buruk teknologi terhadap lingkungan, diantaranya terjadinya pemanasan global akibat semakin menipisnya lapisan ozon. Perusakan ozon disebabkan penggunaan freon yang tidak ramah lingkungan, sehingga perlu untuk mengurangi penggunaan freon atau mengganti dengan freon yang ramah lingkungan hingga mengembangkan sistem yang tidak menggunakan freon sebagai fluida kerja.

Berbagai penelitian telah dilakukan antara lain Pengaruh Kecepatan Putar Poros Kompresor Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin AC (Effendi, 2005), Pengaruh Variasi Massa Refrigeran R-12 dan Putaran Blower Evaporator Terhadap COP pada Sistem Pengkondisian Udara Mobil (Wibowo dan Subri, 2006), dan Penghematan Energi pada Sistem Pendingin Bangunan dengan Menggunakan Kendali Logika Fuzzy (Nasution, 2007).

Penelitian di atas berupaya untuk melakukan penghematan energi pada mesin refrigeran tetapi masih sekitar bagaimana meningkatkan kinerja mesin refrigerasi, penghematan penggunaan energinya belum signifikan dan masih tetap menggunakan kompresor (freon) sehingga tidak ramah lingkungan, sehingga perlu dilakukan penelitian "*Analisis Kinerja Mesin Pendingin Udara Alternatif yang Memanfaatkan Energi Laten Pencairan Es dengan Uji Sesaat*". Penelitian ini tidak menggunakan kompresor dan freon sebagai fluida kerja sehingga ramah lingkungan dan diharapkan memiliki kinerja yang dapat mendinginkan udara.

a. Prinsip Kerja Mesin Pendingin Ruangan

Mesin pendingin merujuk pada siklus kompresi uap standar. Dalam mesin pendingin, refrigeran dialirkan dalam saluran pipa. Sebelum masuk kompresor, dengan kondisi uap jenuh dikompresikan sehingga keluar kompresor menjadi uap panas lanjut. Uap mengalir pada kondensor untuk melepaskan kalor ke lingkungan sehingga terjadi kondensasi. Uap berubah menjadi cair jenuh kemudian melewati dryer, selanjutnya menuju katup ekspansi dan mengalami penurunan sampai tekanan evaporator. Pada evaporator cairan dari katup ekspansi mengalami evaporasi sehingga berubah menjadi uap jenuh dan masuk ke dalam kompresor untuk dikompresikan. Siklus berjalan terus menerus sehingga di dapat temperatur yang diinginkan (Effendi M, 2005).

b. Konsumsi Energi Mesin Pendingin Ruangan

Kebutuhan energi mesin refrigerasi terhadap pasokan listrik nasional cukup signifikan. Di Shanghai, Saito (2002 dalam Indartono, 2008) menyebut bahwa pada beban puncak di musim panas, mesin refrigerasi mengkonsumsi 1/3 suplai listrik. Suzuki dkk (2005 dalam Indartono, 2008) memperkirakan bahwa beban listrik untuk mesin refrigerasi mengkonsumsi tidak kurang dari 1/5 suplai listrik di Jepang. Untuk belahan Amerika Utara, Todesco (2005 dalam Indartono, 2008) menyatakan bahwa kebutuhan listrik untuk mesin refrigerasi pada beban puncak mencapai 3,6-9,2 GW, dibandingkan dengan kemampuan PT PLN yang sekitar 39,5 GW (Seymour dkk (2002) dalam Indartono, 2008). Sedangkan di Indonesia, Suwono (2005 dalam Indartono, 2008) menyebut sekitar 60% konsumsi listrik hotel di Jakarta digunakan untuk

memasok energi mesin refrigerasi, sehingga usaha penghematan energi yang dilakukan terhadap mesin refrigerasi akan berdampak signifikan terhadap usaha penghematan energi dunia.

Dengan persentase diatas terlihat bahwa pemakaian energi untuk mesin refrigerasi sangatlah besar, dan 90% dari pemakaian energi tersebut dikosumsi oleh kompresor (Tojo (1984) dalam Nasution, 2007). Sehingga penelitian yang akan dilakukan yaitu menggantikan kerja kompresor dengan pompa air dingin, untuk melakukan penghematan energi.

c. Dampak Lingkungan Mesin Pendingin Ruangan

Kondisi lapisan ozon semakin rusak dan menipis. Berdasarkan pantauan menggunakan instrumen Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) pada satelit Nimbus 7 dan Meteor 3, kerusakan ini telah menimbulkan sebuah lubang yang dikenal sebagai lubang ozon (ozone hole) di kedua kutub bumi (Yusuf, 2008).

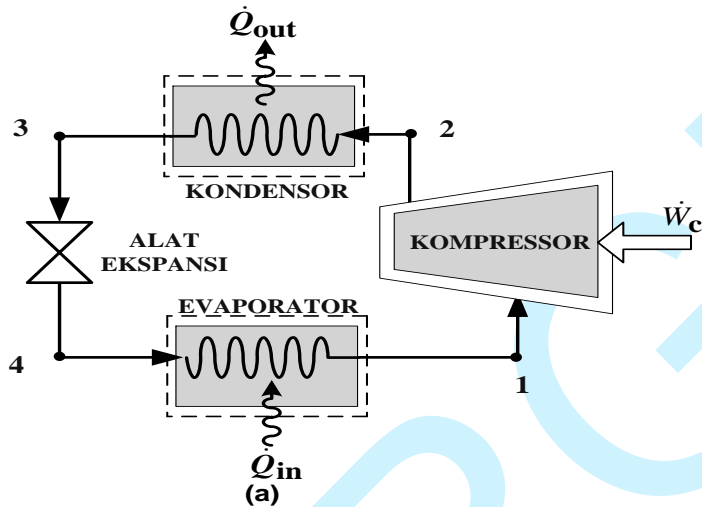
Kerusakan ozon disebabkan meningkatnya pelepasan Bahan Perusak Ozon (BPO) ke atmosfer. Sekitar 100 jenis BPO yang terdaftar berdasarkan Protokol Montreal 1987. Diantara BPO ada beberapa jenis umum digunakan di Indonesia yaitu chlorofluorocarbons (CFCs) dan hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) yang banyak digunakan pada pendingin AC dan lemari es (Yusuf, 2008).

Konvensi Wina dan Protokol Montreal pada tahun 1992 dan menetapkan kebijakan agar masyarakat dunia aktif dalam upaya perlindungan lapisan ozon. Upaya aktif yang harus ditempuh adalah pengurangan pemakaian BPO terutama CFC, menggantikannya dengan yang ramah lingkungan (refrigeran hidrokarbon) sampai penghentian penggunaannya (Yusuf, 2008).

Dengan kondisi di atas, maka salah satu upaya untuk menghasilkan mesin refrigerasi yang ramah lingkungan adalah dengan menggantikan refrigeran CFC dengan air, yang dilakukan pada penelitian ini.

d. Siklus Kompresi Uap (Refrigerasi)

Komponen utama mesin yang menerapkan siklus kompresi uap terdiri dari empat unit, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator. Susunan ke empat unit komponen tersebut secara skematik ditunjukkan pada Gambar 1 (Cengel, 2002). Serangkaian komponen tersebut merupakan komponen proses pada refrijeran sehingga dapat mengalami siklus termodinamika (siklus kompresi uap).



Gambar 1. Komponen-komponen Sistem Refrigerasi Kompresi

Siklus ideal kompresi uap (refrigerasi & pompa kalor) terdiri dari serangkaian proses sebagai berikut (Cengel, 2002):

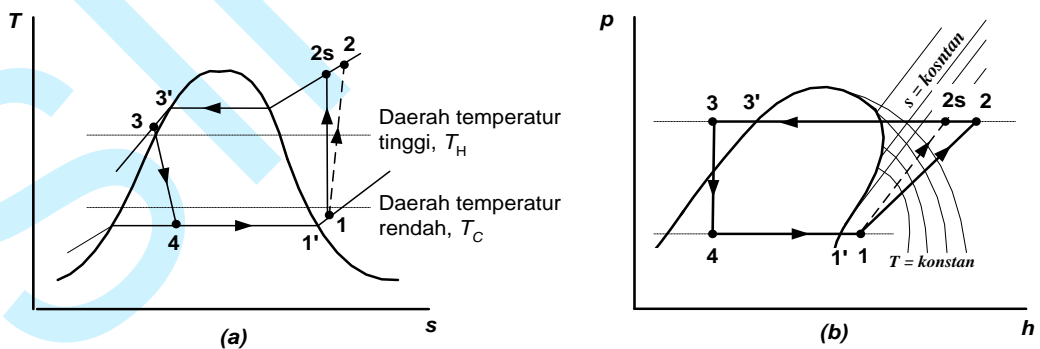
Proses 1-2s: Kompresi isentropik refrigeran dari keadaan 1 menuju tekanan kondensor keadaan 2s.

Proses 2s-3: Perpindahan kalor dari refrigeran yang mengalir pada tekanan konstan di dalam kondensor hingga keadaan 3.

Proses 3-4: Proses pengecilan (*throttling process*) dari keadaan 3 ke fasa campuran uap-cairan keadaan 4.

Proses 4-1: Perpindahan kalor ke refrigeran yang mengalir melalui evaporator pada tekanan konstan hingga mencapai siklus yang lengkap.

Diagram $T-s$ dan $p-h$ untuk siklus refrigerasi kompresi uap di atas ditunjukkan pada Gambar 2 (Cengel, 2002), berikut ini.



Gambar 2. Diagram $T-s$ dan $p-h$ Siklus Refrigerasi Kompresi Uap

Daya bersih pada siklus kompresi uap merupakan daya input kompresor. Ukuran unjuk kerja siklus kompresi uap, baik siklus refrigerasi maupun siklus pompa kalor, perbandingan atau penyebutnya adalah daya input kompresor.

Unjuk kerja siklus siklus refrigerasi diistilahkan sebagai *coefficient of performance refrigeration* ($COP_{ref} = \beta$), (Cengel, 2002):

$$COP_{ref.} = \beta = \frac{\dot{Q}_{in}/\dot{m}}{\dot{W}_c/\dot{m}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4)$$

Sedangkan unjuk kerja siklus pompa kalor diistilahkan sebagai *coefficient of performance heat pump* ($COP_{hp} = \gamma$), (Cengel, 2002):

$$COP_{ref.} = \gamma = \frac{\dot{Q}_{out}/\dot{m}}{\dot{W}_c/\dot{m}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap, adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah dimulai dengan pembuatan peralatan uji mesin pendingin ruangan, dilanjutkan dengan pengujian kinerja peralatan uji dan diakhiri dengan evaluasi hasil kinerja.

Alat uji yang digunakan adalah awalnya merupakan sebuah mesin pendingin ruangan (AC) yang ada dipasaran, kemudian komponen mesin pendingin ruangan yang berupa kondensor dimana didalamnya terdapat kompresor dengan fluida kerja freon akan diganti dengan sebuah wadah penampungan untuk fluida kerja air (cair dan es) yang akan dialirkan dengan pompa menuju kesistem transfer energi (panas).

Pengujian kinerja dari mesin pendingin udara dilakukan untuk mendapatkan efisiensi heat exchanger (η_{HE}) pada evaporator dan efisiensi sistem (η_{sys}). Pengujian ini dilakukan dengan bervariasi kecepatan aliran udara pada fan evaporator dan kecepatan aliran air yang melewati pipa aliran fluida.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Pengujian

Dari pengujian peralatan uji yang dilakukan diperoleh hasil pengujian yang dituangkan dalam lampiran pada tabel 1. Data hasil pengamatan dengan peralatan uji (AC tanpa freon) (uji sesaat) dengan debit air $1,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$; tabel 2. Data hasil pengamatan dengan peralatan uji (AC tanpa freon) (uji sesaat) dengan debit air $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$; dan tabel 3. Data hasil pengamatan dengan peralatan uji (AC tanpa freon) (uji sesaat) dengan debit air $4,08 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabel 1. Data hasil pengamatan dengan peralatan uji (AC tanpa freon) (uji sesaat)
Pengaturan debit air $1,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

No	Temp. Air (°C)		Temp. Udara (°C)		Temp. Ruangan (°C)					Kecepatan Udara (m/s)			Debit		Daya (watt)	
	Tin	Tout	Tin	Tout	T1	T2	T3	T4	T5	V1	V2	V3	Vol (ltr)	t (detik)	AC	Pompa
1	3,6	24,3	31,7	25,3	28,5	28,9	28,7	28,9	28,9	3,8	4,1	3,5	1	64,62	20,0	12,5
2	3,7	24,1	30,8	24,9	28,0	28,4	28,4	28,5	28,6	3,8	4,1	3,5	1	64,62	20,0	12,5
3	3,7	23,9	30,8	24,7	28,5	28,7	28,6	28,7	29,0	3,8	4,1	3,5	1	64,62	20,0	12,5
4	3,7	23,1	30,1	24,4	28,4	28,4	28,5	28,7	28,7	2,9	3,2	2,8	1	64,62	15,0	12,5
5	3,9	21,8	31,2	23,7	28,5	28,7	28,4	28,6	28,9	2,9	3,2	2,8	1	64,62	15,0	12,5
6	4,3	22,8	31,2	24,2	28,3	28,8	28,7	28,9	28,9	2,9	3,2	2,8	1	64,62	15,0	12,5
7	5,0	22,2	30,7	23,5	28,3	28,5	28,3	28,3	28,6	2,1	2,2	1,9	1	64,62	12,5	12,5
8	5,4	22,1	30,7	23,7	28,5	28,8	28,6	28,7	29,0	2,1	2,2	1,9	1	64,62	12,5	12,5
9	5,6	22,2	31,5	24,5	28,6	28,9	28,9	29,0	29,2	2,1	2,2	1,9	1	64,62	12,5	12,5

Tabel 2. Data hasil pengamatan dengan peralatan uji (AC tanpa freon) (uji sesaat)
Pengaturan Debit Air $1,00 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

No	Temp. Air (°C)		Temp. Udara (°C)		Temp. Ruangan (°C)					Kecepatan Udara (m/s)			Debit		Daya (watt)	
	Tin	Tout	Tin	Tout	T1	T2	T3	T4	T5	V1	V2	V3	Vol (ltr)	t (detik)	AC	Pompa
1	3,3	24,0	30,4	24,5	27,3	27,5	27,4	27,6	27,8	3,8	4,1	3,5	1	99,76	20,0	12,5
2	3,3	24,0	30,0	24,5	27,6	27,7	27,7	27,9	28,0	3,8	4,1	3,5	1	99,76	20,0	12,5
3	3,5	23,9	29,8	24,3	27,7	27,8	27,7	28,1	28,2	3,8	4,1	3,5	1	99,76	20,0	12,5
4	4,3	23,5	29,4	23,8	27,8	27,7	27,7	28,2	28,2	2,9	3,2	2,8	1	99,76	15,0	12,5
5	4,4	23,4	30,6	23,8	27,7	28,0	27,9	27,8	27,8	2,9	3,2	2,8	1	99,76	15,0	12,5
6	4,5	23,4	30,2	23,9	28,0	28,1	28,0	28,1	28,2	2,9	3,2	2,8	1	99,76	15,0	12,5
7	5,0	22,4	30,5	23,8	27,6	28,4	28,6	28,6	28,7	2,1	2,2	1,9	1	99,76	12,5	12,5
8	5,3	22,5	30,6	23,9	28,8	29,0	28,8	28,9	29,0	2,1	2,2	1,9	1	99,76	12,5	12,5
9	5,5	22,6	30,9	24,0	28,8	28,7	28,9	28,9	29,0	2,1	2,2	1,9	1	99,76	12,5	12,5

Tabel 3. Data hasil pengamatan dengan peralatan uji (AC tanpa freon) (uji sesaat)
Pengaturan debit air $4,08 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

No	Temp. Air (°C)		Temp. Udara (°C)		Temp. Ruangan (°C)					Kecepatan Udara (m/s)			Debit		Daya (watt)	
	Tin	Tout	Tin	Tout	T1	T2	T3	T4	T5	V1	V2	V3	Vol (ltr)	t (detik)	AC	Pompa
1	3,5	25,3	30,5	26,4	28,0	28,1	28,1	28,1	28,3	3,8	4,1	3,5	1	244,82	20,0	12,5
2	3,7	25,0	30,6	26,4	28,4	28,1	28,1	28,2	28,3	3,8	4,1	3,5	1	244,82	20,0	12,5
3	3,9	25,5	30,7	26,4	28,0	28,2	28,1	28,5	28,5	3,8	4,1	3,5	1	244,82	20,0	12,5
4	3,9	25,1	30,5	25,3	28,6	28,9	28,8	28,8	28,8	2,9	3,2	2,8	1	244,82	15,0	12,5

5	3,8	25,0	30,7	25,4	28,9	29,2	29,3	29,5	29,5	2,9	3,2	2,8	1	244,82	15,0	12,5
6	4,0	25,2	30,7	25,5	29,3	29,4	29,4	29,5	29,6	2,9	3,2	2,8	1	244,82	15,0	12,5
7	5,3	23,9	30,5	24,7	29,0	29,0	29,2	29,3	29,4	2,1	2,2	1,9	1	244,82	12,5	12,5
8	5,9	23,7	30,8	24,9	29,0	29,0	29,2	29,2	29,4	2,1	2,2	1,9	1	244,82	12,5	12,5
9	5,8	23,6	31,5	25,4	28,3	29,2	29,2	29,4	29,5	2,1	2,2	1,9	1	244,82	12,5	12,5

Tabel 4. Hasil analisa data pengujian peralatan uji (AC tanpa freon) (uji sesaat)
 Dengan pengaturan debit air $1,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

Air							
Tf (°C)	P (kg/m ³)	Cp (kJ/kg°C)	Q (m ³ /s)	m (kg/s)	ΔT (°C)	Qair (kJ/s)	
13,95	998,77	4,189	1,55E-5	0,015456	20,7	1,34	
13,90	998,78	4,189	1,55E-5	0,015456	20,4	1,32	
13,80	998,79	4,189	1,55E-5	0,015456	20,2	1,31	
13,40	998,83	4,189	1,55E-5	0,015457	19,4	1,26	
12,85	998,89	4,190	1,55E-5	0,015458	17,9	1,16	
13,55	998,82	4,189	1,55E-5	0,015457	18,5	1,20	
13,60	998,81	4,189	1,55E-5	0,015457	17,2	1,11	
13,75	998,80	4,189	1,55E-5	0,015456	16,7	1,08	
13,90	998,78	4,189	1,55E-5	0,015456	16,6	1,07	

Udara							
Tf (°C)	v (m/s)	A (m ²)	P (kg/m ³)	Cp (kJ/kg.K)	m (kg/s)	ΔT (K)	Qudara (kJ/s)
28,50	3,80	0,0144	1,156	1,007	0,063	6,4	0,408
27,85	3,80	0,0144	1,159	1,007	0,063	5,9	0,377
27,75	3,80	0,0144	1,159	1,007	0,063	6,1	0,390
27,25	2,97	0,0144	1,161	1,007	0,050	5,7	0,285
27,45	2,97	0,0144	1,160	1,007	0,050	7,5	0,374
27,70	2,97	0,0144	1,159	1,007	0,050	7,0	0,349
27,10	2,07	0,0144	1,161	1,007	0,035	7,2	0,251
27,20	2,07	0,0144	1,161	1,007	0,035	7,0	0,243
28,00	2,07	0,0144	1,158	1,007	0,034	7,0	0,243

Es					
m (kg/s)	ΔT (°C)	Cp (kJ/kg°C)	Qes (kJ/s)	ηac (%)	ηsystem (%)
1,11E-02	3,6	4,211	3,868	30,43	10,45
1,11E-02	3,7	4,211	3,873	28,52	9,64
1,11E-02	3,7	4,211	3,873	29,79	9,97

1,11E-02	3,7	4,211	3,873	22,65	7,30
1,11E-02	3,9	4,210	3,882	32,28	9,57
1,11E-02	4,3	4,209	3,901	29,14	8,88
1,11E-02	5,0	4,207	3,934	22,49	6,33
1,11E-02	5,4	4,206	3,952	22,52	6,12
1,11E-02	5,6	4,205	3,962	22,61	6,09

Tabel 5. Hasil analisa data pengujian peralatan uji (AC tanpa freon) (uji sesaat) Dengan pengaturan debit air $1,00 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

Air						
Tf (°C)	P (kg/m ³)	Cp (kJ/kg°C)	Q (m ³ /s)	m (kg/s)	ΔT (°C)	Qair (kJ/s)
13,65	998,81	4,189	0,00001	0,010012	20,7	0,87
13,65	998,81	4,189	0,00001	0,010012	20,7	0,87
13,70	998,80	4,189	0,00001	0,010012	20,4	0,86
13,90	998,78	4,189	0,00001	0,010012	19,2	0,81
13,90	998,78	4,189	0,00001	0,010012	19,0	0,80
13,95	998,77	4,189	0,00001	0,010012	18,9	0,79
13,70	998,80	4,189	0,00001	0,010012	17,4	0,73
13,90	998,78	4,189	0,00001	0,010012	17,2	0,72
14,05	998,76	4,188	0,00001	0,010012	17,1	0,72

Udara							
Tf (°C)	V (m/s)	A (m ²)	P (kg/m ³)	Cp (kJ/kg.K)	m (kg/s)	ΔT (K)	Qudara (kJ/s)
27,45	3,80	0,0144	1,160	1,007	0,063	5,9	0,377
27,25	3,80	0,0144	1,161	1,007	0,064	5,5	0,352
27,05	3,80	0,0144	1,161	1,007	0,064	5,5	0,352
26,60	2,97	0,0144	1,163	1,007	0,050	5,6	0,280
27,20	2,97	0,0144	1,161	1,007	0,050	6,8	0,340
27,05	2,97	0,0144	1,161	1,007	0,050	6,3	0,315
27,15	2,07	0,0144	1,161	1,007	0,035	6,7	0,233
27,25	2,07	0,0144	1,161	1,007	0,035	6,7	0,233
27,45	2,07	0,0144	1,160	1,007	0,035	6,9	0,240

Es				η _{ac} (%)	η _{system} (%)
m (kg/s)	ΔT (°C)	Cp (kJ/kg°C)	Q _{es} (kJ/s)		
9,26E-03	3,3	4,212	3,212	43,44	11,62
9,26E-03	3,3	4,212	3,212	40,51	10,84
9,26E-03	3,5	4,212	3,220	41,13	10,82

9,26E-03	4,3	4,209	3,251	34,79	8,54
9,26E-03	4,4	4,208	3,255	42,61	10,35
9,26E-03	4,5	4,208	3,259	39,71	9,58
9,26E-03	5,0	4,207	3,278	31,94	7,06
9,26E-03	5,3	4,206	3,290	32,31	7,03
9,26E-03	5,5	4,206	3,298	33,45	7,22

Tabel 6. Hasil analisa data pengujian peralatan uji (AC tanpa freon) (uji sesaat)
Dengan pengaturan debit air $4,08 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Air						
Tf (°C)	ρ (kg/m ³)	Cp (kJ/kg°C)	Q (m ³ /s)	m (kg/s)	ΔT (°C)	Qair (kJ/s)
14,40	998,73	4,188	0,0000041	0,004079	21,8	0,37
14,35	998,73	4,188	0,0000041	0,004079	21,3	0,36
14,70	998,69	4,187	0,0000041	0,004079	21,6	0,37
14,50	998,71	4,188	0,0000041	0,004079	21,2	0,36
14,40	998,73	4,188	0,0000041	0,004079	21,2	0,36
14,60	998,70	4,188	0,0000041	0,004079	21,2	0,36
14,60	998,70	4,188	0,0000041	0,004079	18,6	0,32
14,80	998,68	4,187	0,0000041	0,004079	17,8	0,30
14,70	998,69	4,187	0,0000041	0,004079	17,8	0,30

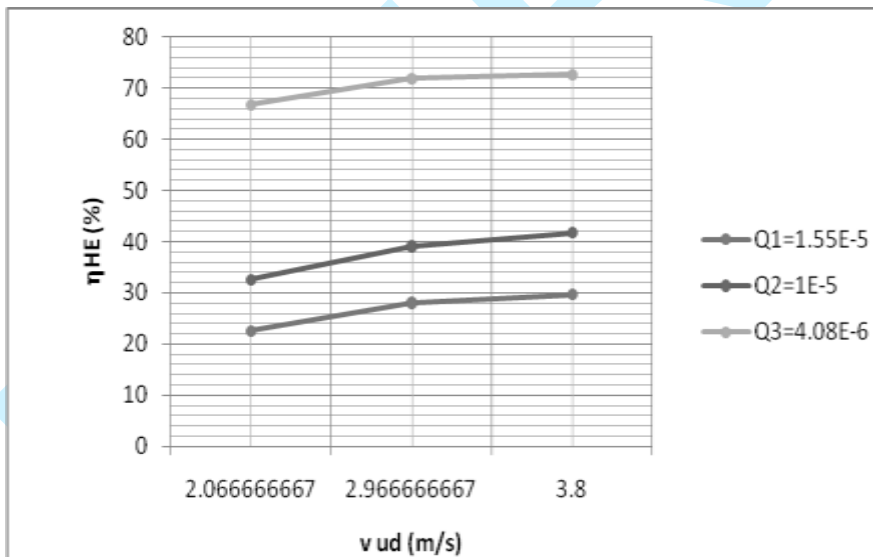
Udara							
Tf (°C)	v (m/s)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	Cp (kJ/kg.K)	m (kg/s)	ΔT (K)	Qudara (kJ/s)
28,45	3,80	0,0144	1,157	1,007	0,063	4,1	0,261
28,50	3,80	0,0144	1,156	1,007	0,063	4,2	0,268
28,55	3,80	0,0144	1,156	1,007	0,063	4,3	0,274
27,90	2,97	0,0144	1,158	1,007	0,049	5,2	0,259
28,05	2,97	0,0144	1,158	1,007	0,049	5,3	0,264
28,10	2,97	0,0144	1,158	1,007	0,049	5,2	0,259
27,60	2,07	0,0144	1,159	1,007	0,035	5,8	0,202
27,85	2,07	0,0144	1,159	1,007	0,034	5,9	0,205
28,45	2,07	0,0144	1,157	1,007	0,034	6,1	0,211

Es				η_{ac} (%)	η_{system} (%)
m (kg/s)	ΔT (°C)	Cp (kJ/kg°C)	Qes (kJ/s)		
7,41E-03	3,5	4,212	2,576	70,16	10,02
7,41E-03	3,7	4,211	2,582	73,55	10,24
7,41E-03	3,9	4,210	2,588	74,26	10,45

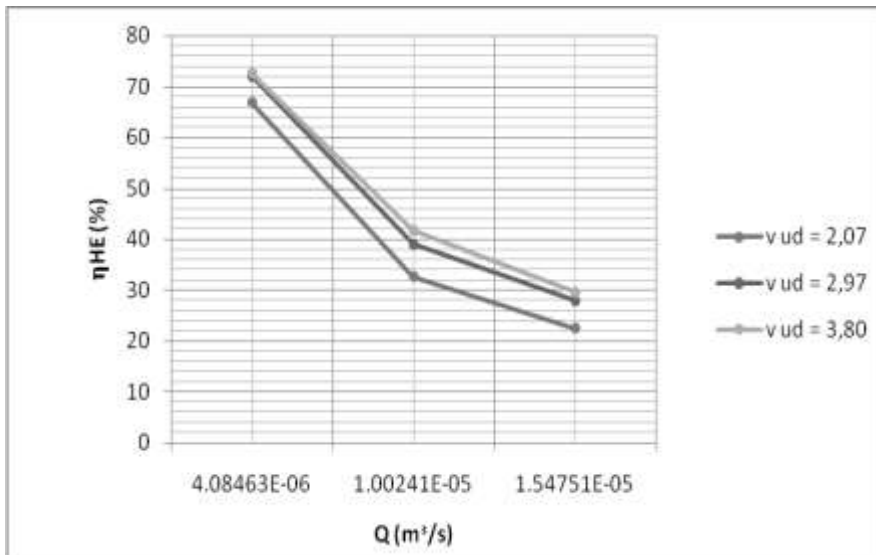
7,41E-03	3,9	4,210	2,588	71,55	9,91
7,41E-03	3,8	4,210	2,585	72,90	10,11
7,41E-03	4,0	4,210	2,591	71,52	9,89
7,41E-03	5,3	4,206	2,632	63,43	7,59
7,41E-03	5,9	4,205	2,650	67,38	7,66
7,41E-03	5,8	4,205	2,647	69,54	7,91

b. Pembahasan

Dari gambar 3 terlihat bahwa hasil perhitungan data yang dituangkan dalam bentuk grafik terlihat bahwa pengujian (AC tanpa freon) dengan uji sesaat untuk debit air $1,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ diperoleh hubungan antara kecepatan udara dengan efisiensi HE pada AC adalah berbanding lurus. Semakin besar kecepatan udara maka efisiensi HE yang diperoleh akan semakin besar. Begitupun dengan debit air $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ dan debit air $4,08 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$. Efisiensi terbesar diperoleh 72,66% pada kecepatan udara 3,8 m/s dengan debit air $4,08 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan efisiensi minimum diperoleh 22,54%, pada kecepatan udara 2,07 m/s dengan debit air $1,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

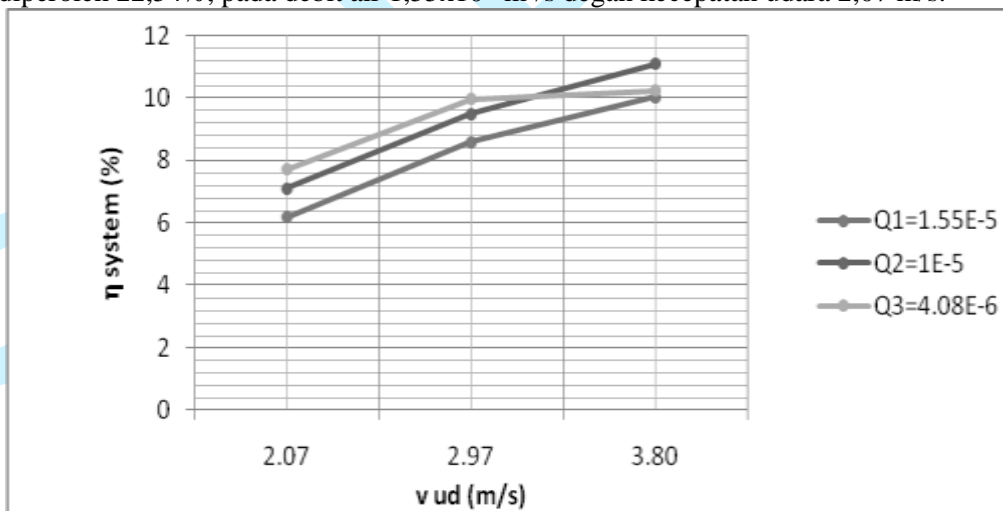


Gambar 3. Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara (v_{ud}) dengan Efisiensi AC (η_{HE})



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara debit air (Q) dengan Efisiensi HE (η_{HE})

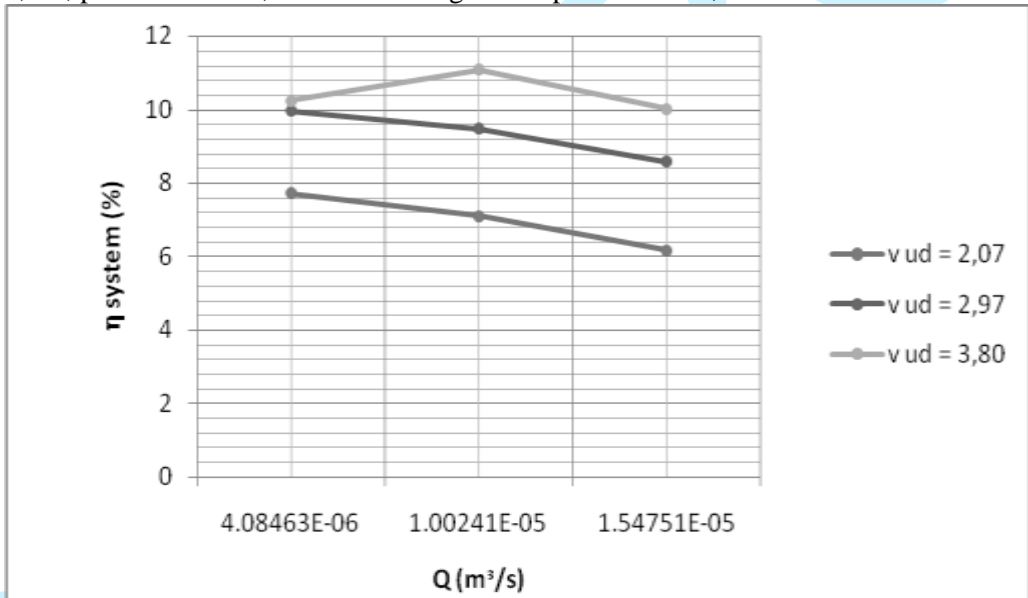
Dari gambar 4 terlihat bahwa hasil pengujian (AC tanpa freon) dengan uji sesaat untuk kecepatan udara 2,07 m/s diperoleh hubungan antara debit air dengan efisiensi sistem adalah berbanding terbalik. Semakin besar kecepatan udara maka efisiensi sistem yang diperoleh akan semakin kecil. Begitupun dengan kecepatan udara 2,97 m/s dan kecepatan udara 3,8 m/s. Efisiensi terbesar diperoleh 72,66% pada debit air $4,08 \times 10^{-6}$ m³/s dengan kecepatan udara 3,8 m/s, sedangkan efisiensi minimum diperoleh 22,54%, pada debit air $1,55 \times 10^{-5}$ m³/s dengan kecepatan udara 2,07 m/s.



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Kecepatan udAra (v_{ud}) dengan Eff System (η_{sys})

Dari gambar 5 terlihat bahwa hasil pengujian (AC tanpa freon) dengan uji sesaat untuk debit air $1,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ diperoleh hubungan antara kecepatan udara dengan efisiensi sistem adalah berbanding lurus. Semakin besar kecepatan udara maka efisiensi sistem yang diperoleh akan semakin besar. Begitupun dengan debit air $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ dan debit air $4,08 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$. Efisiensi terbesar diperoleh 11,09% pada kecepatan udara 3,8 m/s dengan debit air $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan efisiensi minimum diperoleh 7,1%, pada kecepatan udara 2,07 m/s dengan debit air $1,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

Dari gambar 6 terlihat bahwa hasil pengujian (AC tanpa freon) dengan uji sesaat untuk kecepatan udara 2,07 m/s diperoleh hubungan antara debit air dengan efisiensi Sistem adalah berbanding terbalik. Semakin besar kecepatan udara maka efisiensi sistem yang diperoleh akan semakin kecil. Begitupun dengan kecepatan udara 2,97 m/s dan kecepatan udara 3,8 m/s. Efisiensi terbesar diperoleh 11,09% pada debit air $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ dengan kecepatan udara 3,8 m/s, sedangkan efisiensi minimum diperoleh 7,1%, pada debit air $1,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ dengan kecepatan udara 2,07 m/s.



Gambar 6. Grafik Hubungan antara Kecepatan Debit Air (Q) dengan Eff Sistem (η_{sys})

Dari kondisi peralatan uji (AC tanpa freon) terlihat bahwa biaya untuk pengadaan peralatan uji lebih rendah dibandingkan dengan AC berfreon karena tidak menggunakan kondensator dan kompresor yang diganti dengan wadah penampung dan pompa.

Biaya perawatan dan perbaikan peralatan uji juga lebih rendah dibandingkan dengan AC berfreon hal ini terlihat bahwa pada peralatan uji tidak menggunakan freon sehingga kebocoran kecil pada pipa aliran tidak terlalu menjadi masalah.

Biaya pengoperasian peralatan uji lebih besar dibandingkan dengan AC berfreon walaupun daya operasional peralatan uji maksimum 32,5 watt sedangkan daya operasional AC berfreon minimum 320 watt (1/2 pk) tetapi karena penggunaan es yang besar dalam pendinginan sehingga biaya yang diperlukan menjadi meningkat.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan dan perlu pula diberikan saran-saran yang bersifat membangun dan perbaikan dari hasil pengujian kinerja mesin pendingin udara alternatif.

a. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil analisis kinerja mesin pendingin udara alternatif yang memanfaatkan energi laten pencairan es dengan uji sesaat serta dari hasil dan pembahasan, adalah sebagai berikut:

- Pada debit air pompa konstan diperoleh hubungan efisiensi HE (η_{HE}) dengan kecepatan udara (v_{ud}) adalah berbanding terbalik.
- Pada debit air pompa konstan diperoleh hubungan efisiensi sistem (η_{sys}) dengan kecepatan udara (v_{ud}) adalah berbanding terbalik.
- Pada kecepatan udara fan pada heat exchanger konstan diperoleh hubungan efisiensi HE (η_{HE}) dengan debit air (Q_{air}) adalah berbanding lurus.
- Pada kecepatan udara fan konstan diperoleh hubungan efisiensi sistim (η_{sys}) dengan debit air (Q_{air}) adalah berbanding lurus demikian pula hubungan efisiensi sistim (η_{sys}) dengan debit air.
- Hasil penelitian uji sesaat diperoleh efisiensi HE (η_{HE}) maksimum 72,66% dan minimum 22,54%, dan efisiensi sistem (η_{sys}) maksimum 11,09% dan minimum 7,1%.

b. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian maka perlu dilakukan penelitian-penelitian lanjutan antara lain:

- Perlu dilakukan penelitian penggunaan fluida kerja sekunder dimana fluida kerja yang didinginkan tidak bersirkulasi tetapi mendinginkan fluida kerja sekunder yang akan bersirkulasi.
- Perlu dilakukan penelitian dengan tidak menggunakan es sebagai media pendingin karena memerlukan biaya operasional yang besar.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana berkat bantuan berbagai pihak, untuk itu tim penulis mengucapkan terima kasih kepada:

191 Jamal, *Analisis Kinerja Mesin Pendingin Udara Alternatif yang Memanfaatkan Energi Laten Pencairan Es dengan Uji Sesaat*

1. DP2N DIKTI DEPDIKNAS yang telah memberikan dana penelitian hibah bersaing Melalui DIPA Politeknik Negeri Ujung Pandang dengan nomor kontrak 54/K23.21/KU/2010 Tanggal 19 Mei 2010.
2. Pimpinan dan Staf Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Pimpinan dan Staf UPPM Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Pimpinan dan Staf Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

VI. DAFTAR PUSTAKA

Cengel, Y.A. dan Boles, M.A., 2002. *Thermodynamics*. 4th edition. Boston-USA: Mc. Graw Hill.

Effendy, M. 2005. *Pengaruh Kecepatan Putar Poros Kompresor Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin AC*, Jurnal. Surakarta: Jurnal Media Mesin Vol.6 No.2 2005.

Indartono, Y. S. 2006. *Pendingin Alami City of The Viking King (III)*, Internet. <http://www.indeni.org>, 23 Maret 2008, Berita Iptek.

Indartono, Y. S. 2006. *Perkembangan Terkini Teknologi Refrigerasi (I)*, Internet. <http://www.beritaiptek.com>, 23 Maret 2008.

Nasution, H. 2007. *Aplikasi Kendali Logika Fuzzy pada Sistem Pendingin Bangunan Sebagai Upaya Penghematan Energi*, Jurnal. Jogja: Jurnal AES, 2007.

Nasution, H. 2007. *Penghematan Energi pada Sistem Pendingin Bangunan Dengan Menggunakan Kendali Logika Fuzzy*, Jurnal. Bandung: Jurnal Race, 2007.

Wibowo, D.B. dan Subri, M. 2006. *Pengaruh Variasi Massa Refrigeran R-12 dan Putaran Blower Evaporator Terhadap COP pada Sistem Pengkondisian Udara Mobil*, Jurnal. Bandung: Jurnal Traksi, Vol.4 No.1 2006.

Yusuf, M.S. 2008. *Lapisan Ozon Menipis Kehidupan Diambang Bahaya*, Internet. <http://www.bekasinews.com>, 23 Maret 2008.