

Analisis Unjuk Kerja (COP) Mesin Pendingin Hibrid dengan Menggunakan Refrigeran R-22

Muhsin Z, Djuanda, A. Ramli Rasyid, Munandar

Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar
Jl. Daeng Tata Raya Makassar Kampus UNM Parang Tambung

Abstrak

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang bertujuan untuk memperoleh unjuk kerja mesin pendingin hibrid dengan menggunakan refrigeran R-22. pengujian dilakukan dengan pengukuran temperatur dan tekanan pada beberapa titik dari rangkaian mesin pendingin hibrid. Perhitungan COP dilakukan dengan menggunakan siklus kompresi uap hibrid. Sifat termodinamika di peroleh dengan menggunakan software Refprop. Dari hasil pengujian diperoleh rata-rata COP mesin pendingin hibrid 6,241 selama 150 menit pengujian. Sementara untuk mesin pendingin mode standar sendiri diperoleh rata-rata COP sebesar 5,096 selama 150 menit pengujian.

Kata Kunci: Unjuk kerja (COP), Mesin pendingin hibrid, Refrigeran R-22.

A. PENDAHULUAN

Dewasa ini, penggunaan mesin pengkondisian udara semakin marak sejak pertama kali ditemukan. Mesin pendingin menjadi kebutuhan utama untuk tempat-tempat umum seperti gedung perkuliahan, gedung, hotel, supermarket, restoran, dan sebagainya yang ditempati banyak orang dimana kenyamanan udara menjadi sangat penting. Sejak dimulainya revolusi industri, umat manusia telah sangat tergantung kepada penggunaan sumber energi yang berasal dari fosil. Energi fosil termasuk minyak bumi, gas alam, dan batubara (Madi Margoyungan, 2009) .

Salah satu titik penggunaan energi yang cukup besar di Indonesia adalah penggunaan energi listrik untuk penggerak sistem pengkondisian udara. Menurut Soegijanto, konsumsi energi listrik terbesar dalam suatu bangunan adalah operasional untuk AC yang dapat mencapai 42,5% kebutuhan listrik. Oleh karena itu tindakan penghematan energi pada penggunaan AC sangatlah penting

untuk penghematan energi dan mengurangi emisi karbon.

Mesin pengkondisian udara yang umum digunakan dalam bangunan gedung adalah AC split. Namun saat ini muncul inovasi baru untuk memaksimalkan fungsi mesin pendingin yaitu dengan merancang sebuah mesin pendingin bekerja berdasarkan siklus kompresi uap hibrid dimana panas buangan kondensor digunakan sebagai sumber tenaga untuk memanaskan air (*water heater*). Dengan pengembangan mesin pendingin hibrid seperti ini kita dapat mengurangi pemakaian bahan bakar minyak bumi dan gas untuk memanaskan air untuk keperluan sehari-hari.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan yaitu: bagaimana nilai COP mesin pendingin hibrid dengan menggunakan refrigerant R-22.

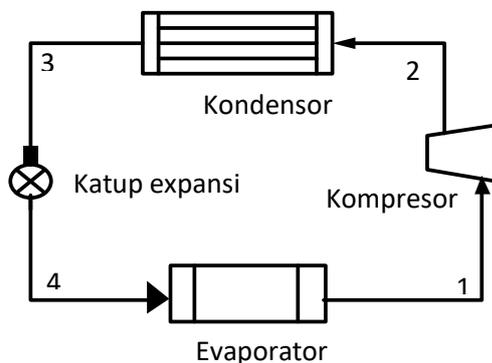
B. LANDASAN TEORI

a. Sistem Refrigerasi

Refrigerasi merupakan suatu proses penarikan kalor dari suatu benda/ruangan ke

lingkungan sehingga temperatur benda/ruangan tersebut lebih rendah dari temperatur lingkungannya. Sesuai dengan konsep kekekalan energi, panas tidak dapat dimusnahkan tetapi dapat dipindahkan. Sehingga refrigerasi selalu berhubungan dengan proses-proses aliran panas dan perpindahan panas (Dirja, 2004). Siklus refrigerasi memperlihatkan apa yang terjadi atas panas setelah dikeluarkan dari udara oleh refrigeran di dalam coil (evaporator).

Dari sekian banyak jenis-jenis sistem refrigerasi, namun yang paling umum digunakan adalah refrigerasi dengan sistem kompresi uap. Komponen utama dari sebuah siklus kompresi uap adalah kompresor, evaporator, kondensor. Berikut adalah sistem konvensional siklus kompresi uap (gambar 2.6) dan skema diagram p-h siklus kompresi uap (gambar 1).

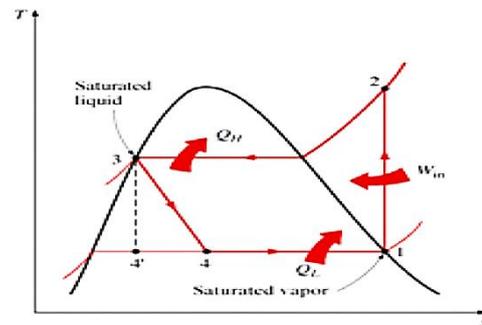


Gambar 1

Skema siklus kompresi uap (Sumber: Himsar Ambarita, 2010)

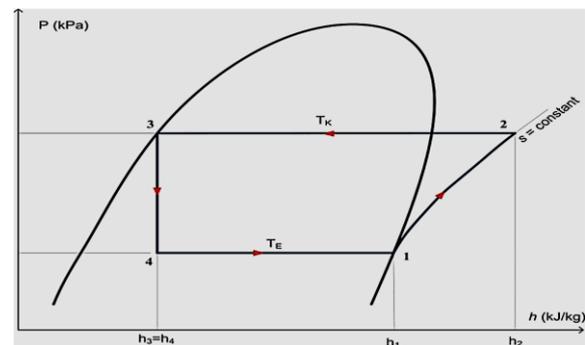
Pada siklus kompresi uap, di evaporator refrigeran akan 'menghisap' panas dari dalam ruangan sehingga panas tersebut akan menguapkan refrigeran. Kemudian uap refrigeran akan dikompres oleh kompresor hingga mencapai tekanan kondensor, dalam kondensor uap refrigeran dikondensasikan dengan cara membuang panas dari uap refrigeran ke lingkungannya. Kemudian refrigeran akan kembali di teruskan ke dalam evaporator. Dalam diagram T-s dan P-h siklus

kompresi uap ideal dapat dilihat dalam gambar berikut ini.



Gambar 2.

Diagram T-s Siklus Kompresi Uap (Sumber: Cengel & Boles, 1998)



Gambar 3

Diagram P – h Siklus Kompresi Uap (Sumber: Dossat, R.J. 1981)

Proses-proses yang terjadi pada siklus kompresi uap seperti pada gambar 2. dan gambar 3 diatas adalah sebagai berikut:

1. Proses kompresi (1-2)

Proses ini dilakukan oleh kompresor dan berlangsung secara isentropik. Kondisi awal refrigeran pada saat masuk ke dalam kompresor adalah uap jenuh bertekanan rendah, setelah mengalami kompresi refrigeran akan menjadi uap bertekanan tinggi. Karena proses ini berlangsung secara isentropik, maka temperatur ke luar kompresor pun meningkat (Agus Widiyanto, 2011).

2. Proses kondensasi (2-3)

Proses ini berlangsung didalam kondensor. Refrigeran yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi yang berasal dari kompresor akan membuang kalor sehingga fasanya berubah menjadi cair. Hal ini berarti bahwa di dalam kondensor terjadi pertukaran kalor antara refrigeran dengan lingkungannya (udara), sehingga panas berpindah dari refrigeran ke udara pendingin yang menyebabkan uap refrigeran mengembun menjadi cair.

3. Proses ekspansi (3-4)

Proses ekspansi ini berlangsung secara isoentalpi. Hal ini berarti tidak terjadi perubahan entalpi tetapi terjadi *drop* tekanan dan penurunan temperatur. Proses penurunan tekanan terjadi pada katup ekspansi yang berbentuk pipa kapiler atau *orifice* yang berfungsi untuk mengatur laju aliran refrigeran dan menurunkan tekanan.

4. Proses evaporasi (4-1)

Proses ini berlangsung secara isobar isothermal (tekanan konstan, temperatur konstan) di dalam evaporator. Panas dari dalam ruangan akan diserap oleh cairan refrigeran yang bertekanan rendah sehingga refrigeran berubah fasa menjadi uap bertekanan rendah. Kondisi refrigeran saat masuk evaporator sebenarnya adalah campuran cair dan uap.

b. Coefficient Of Performace (COP)

Unjuk kerja dari sebuah mesin kalor dapat dideskripsikan sebagai efisiensi thermal. Unjuk kerja dari mesin pendingin dan pompa kalor dapat diekspresikan oleh rasio dari penggunaan panas yang bekerja, atau dapat juga disebut dengan rasio energi atau *coefficient of performance* (COP).” (Cengel, 1998, 266).

Unjuk kerja (COP) dari siklus pendingin dapat diekspresikan pada sebuah sistem siklus efisiensi. Secara ketetapan

matematika COP didefinisikan sebagai rasio dari panas yang dihisap dari ruang yang didinginkan terhadap kerja yang digunakan untuk memindahkan panas tersebut.

Untuk dapat menghitung COP secara benar, maka energi yang dialirkan menuju kompresor harus diubah kedalam energi panas pada tiap unitnya. Dengan kata lain COP secara teoritis sama dengan efek pendinginan dari panas yang dihisap pada evaporator ($Q_{evaporator}$) dibagi dengan kerja kompresi dari kompresor ($W_{compression}$) (Raharjo, Samsudi. 2010).

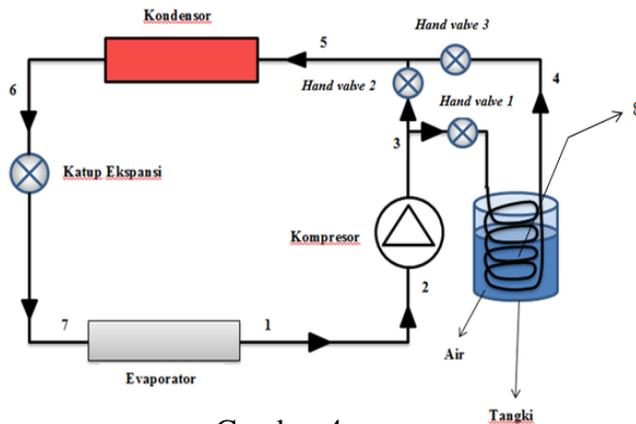
c. Siklus Kompresi Uap dengan Water Heater

Water heater termasuk ke dalam bagian kondensor karena proses pemanasan air pada *water heater* tersebut menggunakan panas buangan dari kondensor dimana pada umumnya suhu freon yang keluar dari kompresor AC dibuang pada kondensor. Dengan adanya *water heater*, aliran panas itu dibelokkan dulu kedalam tangki air dingin sebelum masuk ke kondensor terjadi kontak perpindahan panas dari pipa AC dan air di dalam tangki. Pipa AC yang keluar dari kompresor langsung di alirkan dahulu ke dalam *heat exchanger* berupa pipa spiral dalam tangki dan air yang semula dingin pun memanas, begitu pula sebaliknya suhu freon yang panas menurun, setelah melewati pipa spiral dalam tangki barulah kemudian pipa AC kembali diarahkan ke kondensor.

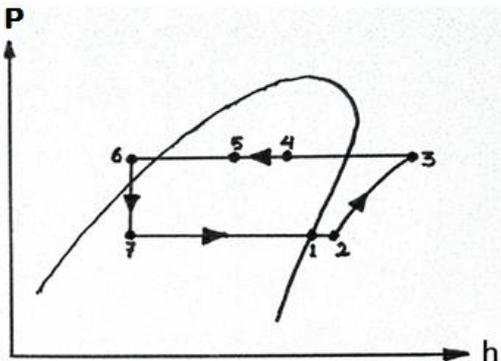
Adapun manfaat dari *water heater* adalah:

1. Hemat Biaya
2. Daya Tahan lebih lama
3. Aman
4. Air panas yang diperoleh stabil.

Adapun gambar siklusnya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.
Skema rangkaian mesin pendingin hybrid



Gambar 5.
Diagram T-h mesin pendingin hybrid

Proses-proses yang terjadi pada siklus kompresi uap hibrid seperti pada Gambar 5 diatas adalah sebagai berikut:

- 1-2 = proses berlangsung di antara evaporator dan kompresor, dimana tekanan konstan (isobar).
- 2-3 = proses dilakukan oleh kompresor dan berlangsung secara isentropik adiabatik. Karena proses ini berlangsung secara isentropik, maka temperatur ke luar kompresor pun meningkat.
- 3-4 = proses ini berlangsung di dalam *water heater* dalam kondisi *superheat*.

4-5 = proses ini berlangsung di dalam *water heater* dalam kondisi *superheat*.

5-6 = Proses ini berlangsung didalam kondensor. Refrigeran yang bertekanan tinggi dalam kondisi *superheat* yang berasal dari *water heater* akan membuang kalor sehingga fasanya berubah menjadi cair.

6-7 = proses ekspansi ini berlangsung secara isoentalpi. Hal ini tidak terjadi perubahan entalpi tetapi terjadi *drop* tekanan dan penurunan temperatur.

7-1 = proses ini berlangsung secara isobar isothermal (tekanan konstan, temperatur konstan) di dalam evaporator.

C. METODE PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Metode eksperimental merupakan salah satu dari jenis jenis metode penelitian. Metode eksperimental merupakan metode penelitian yang memungkinkan peneliti memanipulasi variabel dan meneliti akibat-akibatnya. Pada metode ini variabel-variabel dikontrol sedemikian rupa, sehingga variabel luar yang mungkin mempengaruhi dapat dihilangkan.

2. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu yaitu teknik observasi langsung dengan terlebih dahulu melakukan perakitan mesin pendingin hibrid. Teknik ini dimaksudkan untuk melihat dan melakukan secara langsung objek penelitian pada saat diukur dengan alat ukur tekanan dan temperatur pada beberapa titik sistem mesin pendingin hibrid. Kemudian hasilnya langsung dicatat sehingga data yang diperoleh akurat untuk di analisis dalam eknik analisis data.

3. Teknik analisis data

Dalam penelitian ini, analisis data dilakukan dengan mengumpulkan semua data

yang diperoleh dari pengukuran kemudian melakukan perhitungan untuk mengetahui unjuk kerja atau COP (*coefficient of performance*) untuk mengetahui kinerja dari AC hibrid dengan refrgeran R-22.

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung unjuk kerja atau COP suatu sistem adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{Q_{\text{evaporator}} + Q_{\text{water heater}}}{W_{\text{kompresor}}} \\ &= \frac{(h_1 - h_7) + (h_3 - h_4)}{(h_3 - h_2)} \quad (1) \end{aligned}$$

Dimana:

COP : *coefficient of formance*

Q_{in} : Efek pendinginan evaporator (kW)

W_{in} : Kerja kompresi dari kompresor (kW)

$(h_1 - h_7)$: Perbedaan entalpi *state* 1 dengan entalpi *state* 7 yang terjadi pada evaporator (kJ/kg)

$(h_3 - h_2)$: Perbedaan entalpi *state* 3 dengan entalpi *state* 2 yang terjadi pada kompresor (kJ/kg)

$(h_3 - h_4)$: Perbedaan entalpi *state* 3 dengan entalpi *state* 4 yang terjadi pada *water heater* (kJ/kg)

D. HASIL PENELITIAN

Sebelum melakukan pengolahan data, terlebih dahulu dilakukan simulasi untuk menghitung COP dengan melihat tabel R-22. Rumus untuk menghitung COP adalah:

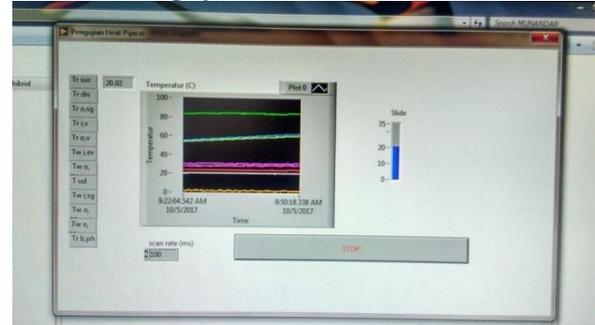
1. COP untuk mode standar

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{evaporator}}}{W_{\text{kompresor}}} = \frac{h_1 - h_7}{h_3 - h_2} \quad (2)$$

2. COP untuk mesin pendingin hibrid

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{Q_{\text{evaporator}} + Q_{\text{water heater}}}{W_{\text{kompresor}}} \\ &= \frac{h_1 - h_7 + h_3 - h_4}{h_3 - h_2} \quad (3) \end{aligned}$$

1. Hasil Pengujian



Gambar. 6

Tampilan program data ekuisisi (LabVIEW 2011)

Hasil pengujian tahap pertama diperlihatkan pada gambar 6. Temperatur udara yang keluar dari evaporator awalnya 0°C kemudian terus bertambah sampai mencapai temperatur 22.9°C. kemudian dilanjutkan sampai memperoleh data yang cukup untuk dapat menganalisa apakah data tersebut akurat atau tidak.

Untuk memudahkan perhitungan, peneliti menggunakan program Refprop untuk mendapatkan nilai enthalpi dari masing-masing titik yang diukur. Berikut pengolahan data dari hasil pengujian pada mesin pendingin hibrid dengan menggunakan R-22 :

1. Data dari hasil pengujian:

a. Data dari hasil pengujian pada mode standar

Menghitung COP mesin pendingin mode standar

Data yang diambil pada menit ke-35 :

	Temperatur (T)	Entalpi (h)
Titik 1	23.592°C	412.66 kJ/kg
Titik 2	27.647°C	413.7 kJ/kg
Titik 3	90.641°C	456.59 kJ/kg
Titik 7	1.155°C	201.36kJ/kg

Sehingga daya dari kompresor adalah:

$$\begin{aligned} W_{\text{kompresor}} &= h_3 - h_2 \\ &= 456.59 - 413.7 \end{aligned}$$

$$= 42.89 \text{ kJ/kg}$$

Kalor yang diserap oleh evaporator adalah:

$$\begin{aligned} Q_{\text{evaporator}} &= h_1 - h_7 \\ &= 412.66 - 200.36 \\ &= 211.3 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Jadi COP mesin pendingin mode standar dengan refrigeran R-22 pada menit ke-35 adalah:

$$\begin{aligned} COP &= \frac{Q_{\text{evaporator}}}{W_{\text{kompresor}}} = \frac{h_1 - h_7}{h_3 - h_2} \\ &= \frac{211.3}{42.89} = 4.926 \end{aligned}$$

- b. Data dari hasil pengujian pada mesin pendingin hibrid

	Temperatur (T)	Entalpi (h)
Titik 1	22.457°C	412.35 kJ/kg
Titik 2	26.227°C	413.34 kJ/kg
Titik 3	87.994°C	455.07 kJ/kg
Titik 4	51.67°C	417.54 kJ/kg
Titik 7	0.118°C	200.14 kJ/kg

Sehingga daya dari kompresor adalah:

$$\begin{aligned} W_{\text{kompresor}} &= h_3 - h_2 \\ &= 455.07 - 413.34 \\ &= 41.73 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh evaporator adalah:

$$\begin{aligned} Q_{\text{evaporator}} &= h_1 - h_7 \\ &= 412.35 - 200.14 \\ &= 212.21 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kalor yang diserap oleh *water heater*

$$\begin{aligned} Q_{\text{water heater}} &= h_3 - h_4 \\ &= 455.07 - 417.54 \\ &= 37.53 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Jadi COP mesin pendingin hibrid dengan refrigeran R-22 pada menit ke- 35 adalah:

$$\begin{aligned} COP &= \frac{Q_{\text{evaporator}} + Q_{\text{water heater}}}{W_{\text{kompresor}}} \\ &= \frac{h_1 - h_7 + h_3 - h_4}{h_3 - h_2} \\ &= \frac{212.21 + 37.53}{41.73} \\ &= 5.984 \end{aligned}$$

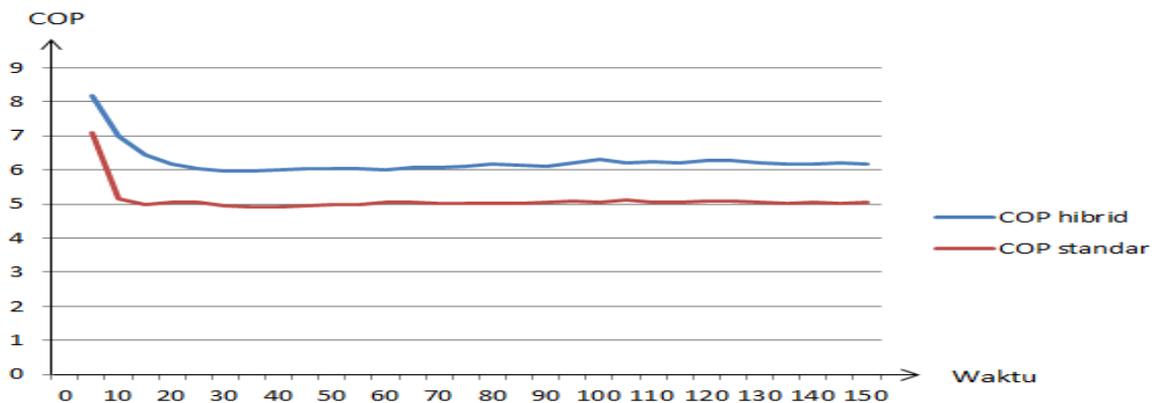
Dan berikut adalah sajian data perbandingan unjuk kerja mesin pendingin mode standar dengan mesin pendingin hibrid dengan refrigeran R-22 mulai dari menit ke- 5 sampai dengan menit ke- 150.

Tabel 1. perbandingan besar COP mesin pendingin mode standar dengan mesin pendingin hibrid.

Waktu	COP Standar	COP Hibrid
5	7.083111	8.185785
10	5.138745	6.995819
15	4.998803	6.434705
20	5.068084	6.179966
25	5.036702	6.03034
30	4.961331	5.973722
35	4.926556	5.984663
40	4.912113	6.012292
45	4.936434	6.021086
50	4.968456	6.052299
55	4.971536	6.046715
60	5.049821	5.994919
65	5.062859	6.078599
70	5.030346	6.079459
75	5.012565	6.102177
80	5.008525	6.167829
85	5.002609	6.128472
90	5.041242	6.114165
95	5.095124	6.217929

100	5.067082	6.296012	140	5.049678	6.185204
105	5.117335	6.213475	145	5.015436	6.219305
110	5.052405	6.240263	150	5.036385	6.172754
115	5.039724	6.219168	jumlah	152.90	187.255
120	5.072849	6.275853	Rata-rata	5.096	6.241
125	5.07018	6.2667			
130	5.049809	6.195956			
135	5.024495	6.170308			

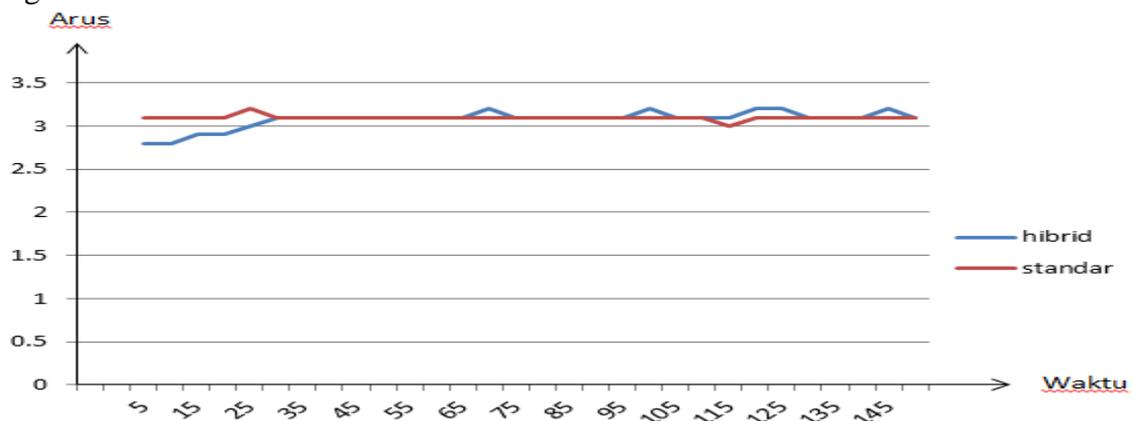
Grafik perbandingan COP mesin pendingin mode standar dan mode hibrid



Gambar 7

Grafik COP hasil pengujian dari menit ke-5 sampai menit ke-150

Grafik perbandingan besar arus listrik yang digunakan pada pengujian unjuk kerja mesin pendingin mode standar dan mode hibrid.



Gambar 8

Grafik besar arus listrik saat pengujian

- c. Persentase perbandingan COP mesin pendingin mode standar dengan mesin pendingin mode hibrid.

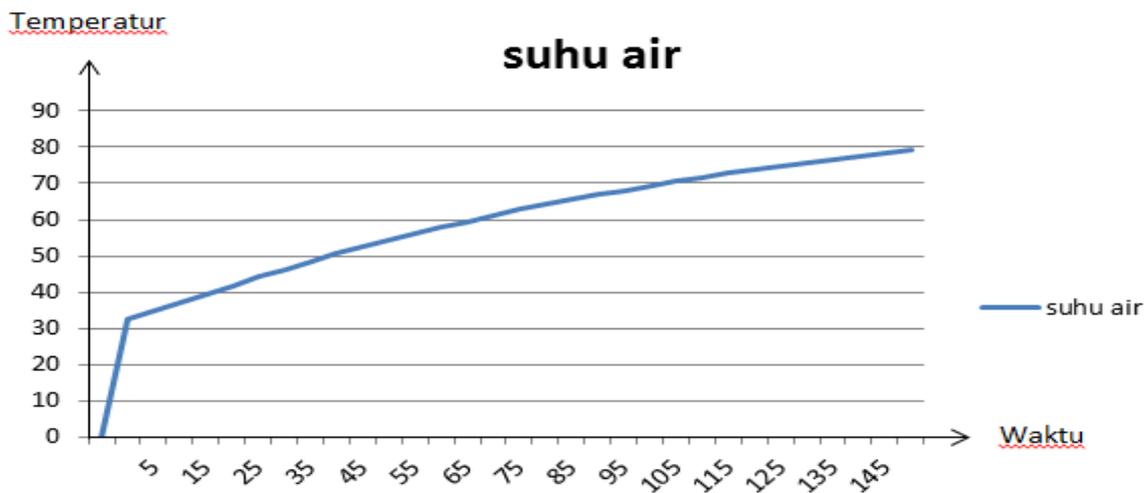
$$\text{Perbandingan COP: } \frac{(5,096678+6,24186)}{5,096678} \times 100\%$$

$$= \frac{1,145186}{5,096678} \times 100\% = 22,46926\%$$

a. Temperatur air di dalam *water heater*

Adapun temperatur air yang ada di dalam ember *water heater* yang sebelumnya telah ditutup rapat dan kemudian diisolasi dengan serat asbes mulai dari menit ke-5 sistem pendingin hibrid di nyalakan sampai dengan menit ke-150 yaitu berkisar antara 32,720°C sampai pada temperatur 79,226°C.

Dan berikut adalah grafik temperatur air di dalam *water heater* selama pengujian berlangsung.



Gambar 9

Grafik suhu air di dalam *water heater* selama pengujian mode hibrid berlangsung

2. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian mesin pendingin hibrid, khususnya pada grafik besar arus listrik yang digunakan saat pengujian (gambar 4.18) dapat kita lihat bahwa besar arus listrik yang digunakan selama pengujian relative sama, baik itu saat mode standar maupun saat mode hibrid. Namun jika kita melihat grafik COP hasil pengujian (gambar 4.17) menyatakan bahwa COP dari mesin pendingin mode hibrid lebih besar dibanding dengan COP mesin pendingin mode standar.

Pada tabel perbandingan COP mesin pendingin mode hibrid dengan mesin pendingin mode standar (tabel 4.3) dapat kita lihat besar selisih COP dari keduanya yaitu untuk mode standar, rata-rata besar COP nya selama pengujian yaitu 5,096. Sedangkan

untuk rata-rata COP mesin pendingin hibrid sendiri sebesar 6,241. Dan jika di persentasekan, COP mesin pendingin hibrid lebih besar sekitar 22,469 % dibanding mesin pendingin mode standar.

Perbedaan besar COP mode standar dengan mode hibrid ini disebabkan karena pada perhitungan COP mode hibrid ada dua COP yang dijumlahkan, yaitu COP dari dingin yang dihasilkan oleh evaporator dan juga COP dari panas yang dihasilkan oleh *water heater*.

A. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan selama 150 menit atau kurang lebih 2 jam 30 menit ini dapat disimpulkan bahwa

Pada pengujian unjuk kerja mesin pendingin hibrid menggunakan, maka diperoleh rata-rata COP mesin pendingin hibrid ini yaitu sebesar 6,41. Sedangkan COP rata-rata dari mesin pendingin mode standar sendiri hanya sebesar 5,096. Yang berarti bahwa COP mesin pendingin hibrid lebih besar 22,469% dari mesin pendingin mode standar.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Widiyanto, 2011. Uji performansi system refrigerasi kompresi uap pada seed storage. Tugas akhir. Universitas negeri Semarang.
- Akram, 2014. Rancang Bangun Sistem Pendingin Chiller Skala Laboratorium. Tugas Akhir. Universitas Negeri Makassar. Makassar.
- Arboleda. C. R, Communications Research, Manila: CFA, 1981.
- Arijanto, Ojo Kurdi. 2007. *Pengujian Refrigeran Hycool HCR-22 Pada AC Split Sebagai Penganti Freon R-22*. Semarang: Universitas.
- Bejan, A., *Advanced Engineering Thermodynamics*. Wiley. New York: 1988
- Cengel, Y.A. and Boles, M.A., 1994. *Thermodynamics An Engineering Approach*. 2nd ed. McGraw Hill: New York.
- Daryanto, 2016. *Teknik Pendingin AC, Freezer dan kulkas*. Bandung. Penerbit yrama widya.
- Dirja. 2004. *Dasar-Dasar Mesin Pendingin*. Jakarta : Departemen Pendidikan Nasional Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan.
- Dossat, R.J. 1981. *Principles of Refrigeration*. John Willey and Sons, New York.
- E.P. Yusuf Janur, 2017. Pengaruh penggunaan internal head exchanger terhadap COP AC split. Skripsi. Makassar. Universitas negeri Makassar.
- Himsar Ambarita, 2010. *Penghematan Energi Pada Air Conditioning*. Medan: Sustainable Energy Research Group Departemen Teknik Mesin FT-USU
- Iwan, 2013. Komponen dan prinsip kerja mesin pendingin. <http://theshippingnotes.blogspot.co.id/>. Diakses 10 maret 2017
- Kerlinger, 1986. *Asas asas penelitian behavioral edisi ketiga*, terjemahan Drs. Landung R. Simatupang. Jogjakarta. Gadjia Mada University pres.
- Madi Margoyungan, 2009. Perancangan unit mesin pendingin untuk kebutuhan pendingin udara pada bangunan kantor. Medan. Universitas sumatera utara.
- TA Ajiwiguna, 2014. Thermal comfort atau kenyamanan termal. <http://catatan-teknik.blogspot.co.id/2014/06/>. Diakses pada 18 mei 2017.
- Whitmen, W.C. 2000. *Refrigeration and Air Conditioning Technology* (5th Edition). Thompson – Delmar Learning.
- Widodo. 2009. *Prinsip Kerja Sistem Pendingin dan Mesin Ac Split*. Semarang. Universitas Negeri Semarang.

