

Pengujian Lemari Pendingin Dengan Photovoltaic Dan Menggunakan Dua Jenis Refrigeran Hidrokarbon

Nasruddin, Safri Maruta Hadi dan Feisul Fadely

Laboratorium Teknik Pendingin dan Tata Udara

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Abstrak

Dua hal yang menjadi perhatian dunia saat ini adalah krisis energi dan kerusakan lingkungan. Secara langsung maupun tidak langsung lemari pendingin menjadi salah satu penyebab dua masalah di atas. Karena lemari pendingin menggunakan sumber listrik yang berasal dari bahan bakar fosil, secara tidak langsung menjadi penyebab krisis energi. Selain itu sebagian besar refrigeran yang digunakan lemari pendingin menyebabkan penipisan lapisan ozon dan pemanasan global. Oleh karena itu dibutuhkan suatu solusi yang mampu menjawab dua permasalahan di atas. Salah satu solusi itu adalah sistem photovoltaic refrigerator dengan refrigeran hidrokarbon. Sistem ini menggunakan modul photovoltaic yang dihubungkan dengan inverter. Inverter berfungsi untuk mengubah tegangan listrik DC 12 Volt yang berasal dari modul photovoltaic menjadi tegangan listrik AC 220 Volt. Dan refrigeran yang digunakan adalah refrigeran hidrokarbon R-600a dan HC-134 yang diisi pada tekanan 20 bar. Dari hasil pengujian, inverter yang cocok adalah inverter sinusoidal dan refrigeran alternatifnya adalah R-600a. Lemari pendingin dengan modul photovoltaic dapat digunakan selama 21,5 jam tanpa charging.

Kata kunci : Lemari pendingin, modul photovoltaic, inverter dan refrigeran hidrokarbon.

Abstract

Two things that become world concern are energy crisis and environmental problem. Refrigerator is one of the causes of the problems either direct or indirect. Refrigerator uses electricity source that comes from fossil fuel as indirect cause of energy crisis and environmental problem which contributes to ozone depletion and global warming by using the refrigerant. Therefore we need a solution that can answer the problems. The solution is photovoltaic refrigerator system with hydrocarbon refrigerant. This system uses photovoltaic module connected to the inverter. The function of inverter is to convert 12 Volt DC electric voltage from photovoltaic module into 220 Volt AC electric voltage. The refrigerant are hydrocarbon R-600a and HC-134 which charged at 20 bar pressure. The experiment shows that the inverter which suitable for refrigerator is pure sine wave inverter type and the alternative refrigerant is R-600a. Refrigerator with photovoltaic module can be used until 21.5 hours without charging.

Keywords : Refrigerator, photovoltaic module, inverter and hydrocarbon refrigerant

1. Pendahuluan

Masalah energi akan tetap menjadi topik yang penting sepanjang peradaban umat manusia. Upaya mencari sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil masih tetap ramai dibicarakan. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil setidaknya memiliki tiga ancaman serius, yakni: (1) Menipisnya cadangan minyak bumi yang diketahui (bila tanpa temuan sumur minyak baru), (2) Kenaikan atau

ketidakstabilan harga akibat laju permintaan yang lebih besar dari produksi minyak, dan (3) Polusi gas rumah kaca (terutama CO₂) akibat pembakaran bahan bakar fosil.

Terdapat beberapa penelitian yang dilakukan di negeri terhadap penggunaan PV untuk lemari pendingin berskala kecil dan sedang [1]. *Photovoltaic refrigerator* dengan refrigeran hidrokarbon hadir sebagai salah satu solusi dari semua

permasalahan yang telah disebutkan. *Photovoltaic refrigerator* merupakan sistem pendingin yang menggunakan fotovoltaik (solar sel) untuk menghasilkan listrik. Dan refrigeran yang digunakan adalah refrigeran hidrokarbon yang ramah lingkungan. *Photovoltaic refrigerator* dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi seperti penyimpanan makanan, darah, vaksin, dan lain sebagainya. Karena itu *photovoltaic refrigerator* merupakan sistem yang ramah lingkungan dan multifungsi.

2. Pengujian *Photovoltaic Refrigerator*

Seperti pada gambar 1, Modul fotovoltaik dirangkai dengan BCR [2] (*Battery Charge Regulator*) yang telah terhubung batere, lalu dihubungkan ke inverter, kemudian ke beban. BCR merupakan alat yang berfungsi untuk mengatur pengisian (*charging*) dan pemakaian (*discharging*) listrik dari dan ke batere, agar tidak *overload*. Pada saat batere terisi penuh, alat pengatur akan memutuskan hubungan antara modul fotovoltaik dan batere, sedangkan pada saat batere kosong, alat pengatur akan memutuskan hubungan antara batere dengan beban.

Jika memakai listrik PLN, sistem sebelumnya (modul fotovoltaik-BCR-Batere-Inverter) tidak digunakan. Beban dihubungkan langsung ke sumber listrik PLN langsung. Beban yang digunakan dalam hal ini adalah lemari pendingin. Setelah itu data yang didapat diolah dengan menggunakan *cool pack* [3].

3. Hasil dan Analisa

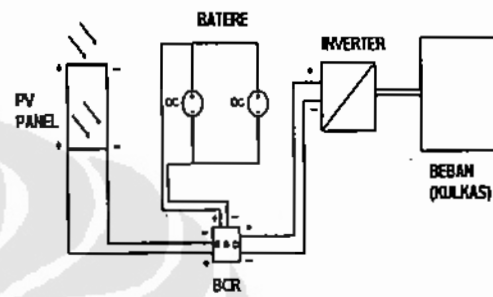
3.1. Analisa Inverter yang Digunakan

Inverter digunakan untuk mengubah tegangan listrik yang berasal dari batere (tegangan DC) menjadi tegangan AC, agar kompresor dapat berputar. *Inverter* berdasarkan bentuk gelombang listrik yang dihasilkannya dapat dibagi menjadi :

1. *Modified Sine Wave* (MSW)

Inverter jenis ini akan menghasilkan gelombang sinus yang termodifikasi,

dengan kata lain gelombang yang dihasilkan bukan berupa gelombang sinus lagi dan jika dicek dengan osiloskop akan terlihat bentuk gelombang *square*. Berbeda dengan *Pure Sine Wave*, *inverter* jenis ini cocok digunakan pada alat elektronik yang menghasilkan cahaya. Sementara itu untuk alat elektronik yang menghasilkan gerak dengan kapasitas besar *inverter* tidak cocok, seperti kompresor, pompa, dsb. *Inverter* jenis ini hanya mampu pada motor kapasitas kecil, seperti pada fan komputer.

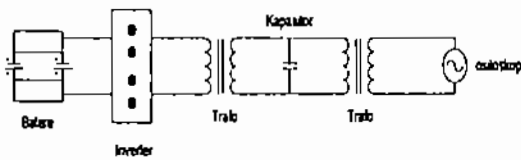


Gambar 1
Skema Pengujian *Photovoltaic Refrigerator*



Gambar 2
Gelombang *Square* yang Dihasilkan *Modified Sine Wave Inverter*

Dalam penelitian ini sebelum menggunakan inverter *Pure Sine Wave* digunakan terlebih dahulu *inverter* jenis *Modified Sine Wave*, akan tetapi kompresor lemari pendingin tidak berputar. Setelah itu *inverter Modified Sine Wave* tersebut dimodifikasi dengan menggunakan dua buah *transformator* dan satu kapasitor sebagai rangkaian penyangkutan tegangannya, tujuannya agar diperoleh gelombang tegangan yang sinusoidal. Berikut gambar rangkaiannya :



Gambar 3

Skema Modifikasi Modified Sine Wave Inverter

Modifikasi dilakukan dengan menggunakan transformator step down 220-110 Volt dan step up 110-220 Volt dengan daya maksimum 300 Watt serta kapasitor dengan kapasitansi sebesar 4 μ F.



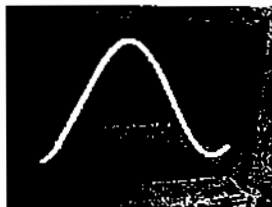
Gambar 4

Hasil Pengujian dengan Kapasitor 4,0 μ F dengan Tegangan 400 Volt

Dari pengujian di atas terlihat pada layar osiloskop tidak menunjukkan gelombang yang sinusoidal. Lalu dicoba divariasikan besar kapasitansi kapasitor sebesar 0,02 μ F dan 1,0 μ F namun hasil yang ditunjukkan tidak jauh berbeda. Dan ketika dicoba pada photovoltaic refrigerator, kompresor tetap tidak dapat berputar.

2. Pure Sine Wave (PSW) atau Inverter Sinusoidal

Inverter jenis ini akan menghasilkan gelombang sinus murni bila dicek menggunakan osiloskop. Jenis inverter ini dapat digunakan untuk segala macam alat elektronik.



Gambar 5

Gelombang Sinus yang Dihasilkan Pure Sine Wave Inverter

3.2. Perhitungan Lamanya Penggunaan Batere

Batere yang digunakan pada penelitian ini berjumlah dua buah yang dipasang secara paralel. Batere masing-masing berkapasitas sebesar 70 Ah ini, akan digunakan sebagai sumber listrik penggerak motor kompresor pada lemari pendingin, yang sebelumnya telah di-charge oleh modul surya.

- Kapasitas batere $C = 70 \text{ Ah}$
- Kapasitas batere total (paralel) $C = 140 \text{ Ah}$
- Energi yang berasal dari batere $140 \text{ Ah} \times 12 \text{ volt} = 1680 \text{ Watt jam}$
- Asumsi DOD sebesar 80 % maka $0,8 \times 1680 \text{ Watt jam} = 1344 \text{ Watt jam}$
- Efisiensi Inverter 96 %
- Energi setelah efisiensi inverter $1290,24 \text{ Watt jam}$
- Daya kompresor lemari pendingin = 60 Watt

Maka lamanya batere dapat bertahan dengan pemakaian lemari pendingin adalah :

$$\frac{1290,24 \text{ Watt jam}}{60 \text{ Watt}} = 21,5 \text{ jam}$$

Dua buah batere dengan kapasitas 70 Ah yang dipasang secara paralel, jika batere dalam keadaan penuh maka dapat digunakan maksimal pada lemari pendingin selama 21,5 jam secara terus-menerus dan harus di-charge sebelum waktu tersebut.

3.3. Daya Start Up Lemari Pendingin

Pertama lemari pendingin diset pada termostat tertinggi 7, sehingga daya yang dibutuhkan lemari pendingin yang tertinggi pula. Pada saat diukur dengan menggunakan tang ampere yang diset pada skala 400 Ampere di dapatkan hasil :

1. Menggunakan Listrik PLN

$$i_{\text{start up}} = 0.9 \text{ Ampere}$$

$$i_{\text{stabil}} = 0.2 \text{ Ampere}$$

$$V = 220 \text{ Volt}$$

Maka :

$$P_{\text{start up}} = V \times i_{\text{start up}} = 220 \times 0.9 = 198 \text{ Watt}$$

$$P_{\text{stabil}} = V \times i_{\text{stabil}} = 220 \times 0.2 = 44 \text{ Watt}$$

2. Menggunakan Modul Fotovoltaik

$$i_{\text{start up}} = 1.5 \text{ Ampere}$$

$$i_{\text{stabil}} = 0.2 \text{ Ampere}$$

$$V = 220 \text{ Volt}$$

Maka :

$$P_{\text{start up}} = V \times i_{\text{start up}} = 220 \times 1.5 = 330 \text{ Watt}$$

$$P_{\text{stabil}} = V \times i_{\text{stabil}} = 220 \times 0.2 = 44 \text{ Watt}$$

Jadi dari data di atas dapat disimpulkan arus listrik *start up* untuk *photovoltaic refrigerator* lebih besar dibandingkan arus listrik *start up* pada kondisi standar (listrik PLN). Hal ini terjadi karena banyaknya *losses* yang terjadi, *losses* itu dapat berupa *losses* dari inverter (efisiensi inverter 96 %), dari baterai (efisiensi baterai 80 %), dan akibat terlalu banyak kabel penghubung.

3.4. Pengujian Lemari Pendingin

Pengujian lemari pendingin dilakukan dalam dua jenis yaitu pengujian lemari pendingin pada keadaan standar tanpa menggunakan modul fotovoltaik (listrik PLN) dan pengujian lemari pendingin dengan menggunakan modul fotovoltaik. Pengujian dilakukan dengan mengganti nilai termostat pada lemari pendingin.

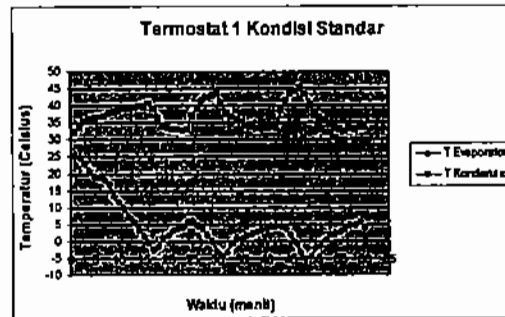
Temperatur evaporator tiap pengujian diusahakan sekitar $(27,5 \pm 1.5) ^\circ\text{C}$ dan temperatur kondenser tiap pengujian juga diusahakan berkisar $29-35 ^\circ\text{C}$. Temperatur di atas bernilai kisaran karena temperatur evaporator dan kondenser sangat sulit dijaga pada tiap pengujian. Pengujian dilakukan diluar ruangan, maka temperatur lingkungan berkisar antara $29-35 ^\circ\text{C}$.

3.4.1. Pengujian Dengan Memakai Listrik PLN

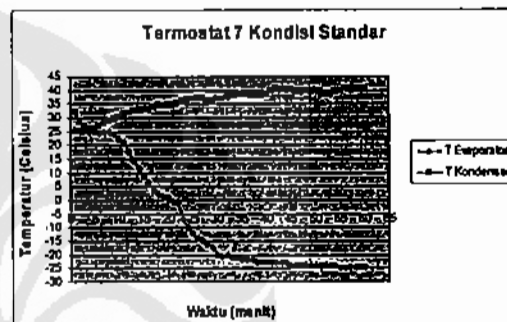
Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan lemari pendingin langsung dengan sumber listrik PLN, tanpa menggunakan modul fotovoltaik, baterai, BCR, inverter, dsb. Pengujian ini dilakukan sebagai bahan perbandingan dengan pengujian lemari pendingin yang telah dimodifikasi sumber listriknya dengan menggunakan modul fotovoltaik.

Pengujian ini dilakukan dua kali yaitu dengan merubah termostat pada lemari pendingin pada nilai minimum yaitu pada nilai 1 dan maksimumnya pada nilai 7. Hal ini dilakukan supaya terlihat rentangan temperatur antara kondisi maksimum dan minimum pada temperatur evaporator dan kondenser. Berikut ini adalah grafik hasil

pengujian temperatur evaporator dan kondenser pada *setting* termostat bernilai 1 dan 7.



Gambar 6
Grafik Kondisi Standar Termostat 1



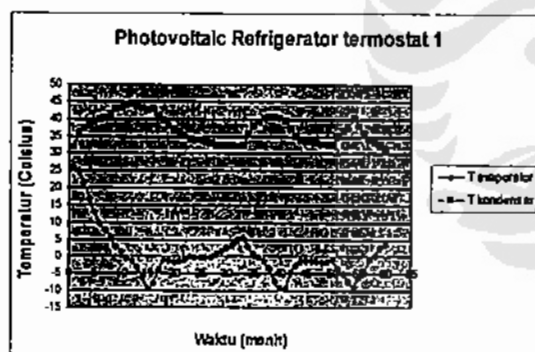
Gambar 7
Grafik Kondisi Standar Termostat 7

Dari dua grafik di atas, terutama grafik termostat 1 kondisi standar terlihat naik turunnya temperatur pada evaporator dan kondenser. Ketika temperatur evaporator turun maka temperatur kondenser naik, begitu juga sebaliknya ketika temperatur kondenser turun maka temperatur evaporator naik. Pada saat temperatur batas bawah yang diinginkan termostat terpenuhi maka kompresor akan berhenti berputar. Kompresor berhenti berputar akan menyebabkan temperatur evaporator naik dan temperatur kondenser turun, karena refrigeran yang tidak mengalir. Dan setelah tercapai temperatur batas atas termostat, kompresor akan berputar kembali serta refrigeran mengalir kembali. Refrigeran mengalir temperatur evaporator turun dan temperatur kondenser naik, begitu seterusnya. Sementara pada kondisi termostat 7 temperatur evaporator dan kondenser yang ingin diinginkan belum

tercapai sehingga temperatur evaporator masih bisa turun lagi dan temperatur kondenser masih bisa naik lagi. Apada kondisi termostat 7 kompresor belum berhenti berputar.

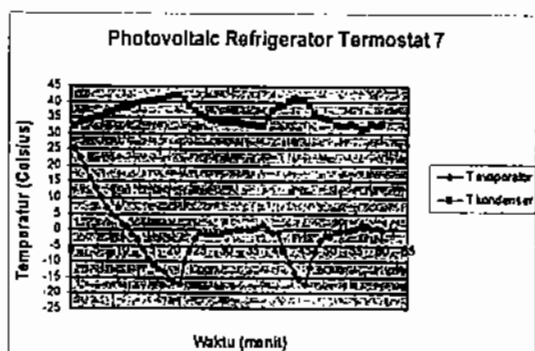
3.4.2. Pengujian Dengan Modul Fotovoltaik

Pengujian ini dilakukan dengan memasang lemari pendingin dengan modul fotovoltaik. Pengujian ini dilakukan dua kali yaitu dengan merubah termostat pada lemari pendingin pada nilai minimum yaitu pada nilai 1 dan maksimumnya pada nilai 7. Hal ini dilakukan supaya terlihat rentangan temperatur antara kondisi maksimum dan minimumnya, baik temperatur evaporator dan kondenser. Kedua nilai ini diambil karena perubahan terbesar akan terjadi ketika kondisi diset maksimum dan minimum. Kondisi lain tentunya akan berada dalam rentangan maksimum dan minimum ini. Berikut ini adalah grafik hasil pengujian temperatur evaporator dan kondenser pada *setting* termostat bernilai 1 dan 7.



Gambar 8

Grafik Photovoltaic Refrigerator Termostat 1



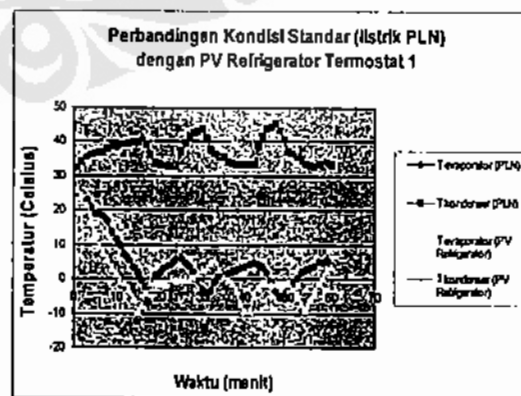
Gambar 9

Grafik Photovoltaic Refrigerator Termostat 7

Sama seperti dua pengujian sebelumnya, dua grafik di atas menunjukkan naik turunnya temperatur pada evaporator dan kondenser. Ketika temperatur evaporator turun maka temperatur kondenser naik, begitu juga sebaliknya ketika temperatur kondenser turun maka temperatur evaporator naik. Pada saat temperatur batas bawah yang diinginkan termostat terpenuhi maka kompresor akan berhenti berputar. Kompresor berhenti berputar akan menyebabkan temperatur evaporator naik dan temperatur kondenser turun, karena refrigeran yang tidak mengalir. Dan setelah tercapai temperatur batas atas termostat, kompresor akan berputar kembali serta refrigeran mengalir kembali. Refrigeran mengalir temperatur evaporator turun dan temperatur kondenser naik, begitu seterusnya.

3.5. Perbandingan Antara Kondisi Standar dengan Photovoltaic Refrigerator

Dari 2 jenis pengujian di atas yaitu menggunakan listrik PLN dan menggunakan modul fotovoltaik dapat dibandingkan temperatur yang dihasilkan baik dari kondenser maupun evaporator. Perbandingan tersebut dapat dilihat melalui grafik di bawah ini.

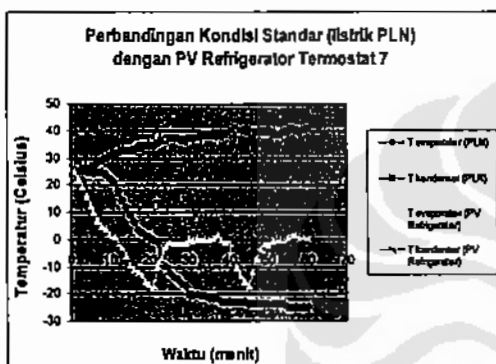


Gambar 10

Grafik Kondisi Standar dengan PV Ref Termostat 1

Karena dari pengujian ini bertujuan untuk mengetahui temperatur evaporator terendah yang dihasilkan lemari pendingin baik menggunakan listrik PLN maupun

modul fotovoltaik. Maka dari grafik di atas yaitu pada termostat 1 terlihat perbedaan temperatur evaporator terendah pada kondisi standar (listrik PLN) sebesar $-4,98^{\circ}\text{C}$ dan pada *photovoltaic refrigerator* sebesar $-9,28^{\circ}\text{C}$. Hal ini tidak wajar mengingat losses pada *photovoltaic refrigerator* harusnya memiliki temperatur evaporator yang lebih tinggi dibandingkan kondisi standar. Penyimpangan di atas dapat disebabkan temperatur lingkungan pengujian pada kondisi standar dilakukan pada temperatur 41°C , sementara pada *photovoltaic refrigerator* dilakukan pada temperatur 37°C .



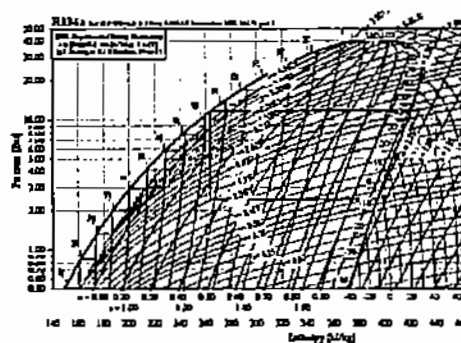
Gambar 11
Grafik Kondisi Standar dengan PV Ref Termostat 7

3.6. Analisa Coefficient of Performance (COP)

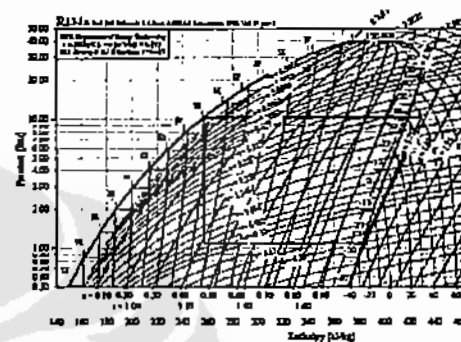
Selain COP didapat data-data lainnya seperti yang ditunjukkan tabel di bawah ini:

Tabel 1.
Data Hasil Perhitungan

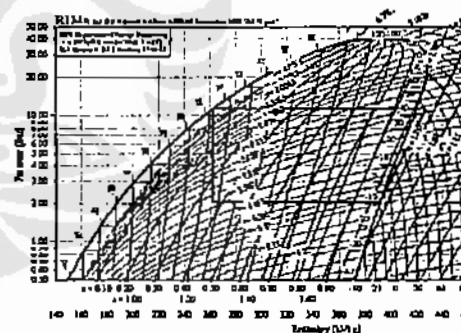
Data	PLN		PV Ref	
	T1	T7	T1	T7
Te (°C)	-4.98	-24.68	-9.28	-17.18
Tc (°C)	45.08	40.68	44.18	41.88
Qe (kJ/kg)	130.46	125.22	129.28	128.01
Qc (kJ/kg)	162.79	172.08	164.58	168.74
W (kJ/kg)	32.32	46.85	35.3	40.73
COP	4.04	2.67	3.66	3.14
Pressure Ratio	4.771	9.561	5.498	7.128



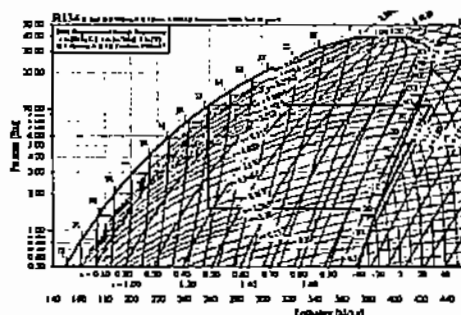
Gambar 12
Diagram P-h PLN Termostat 1 (R-134a)



Gambar 13
Diagram P-h PLN Termostat 7 (R-134a)



Gambar 14
Diagram P-h PV Refrigerator Termostat 1 (R-134a)



Gambar 15
Diagram P-h PV Refrigerator Termostat 7 (R-134a)

Tabel 1 menunjukkan beberapa hal, yaitu pada pengujian termostat 1 kondisi standar (listrik PLN) memiliki COP sebesar 4,04 lebih baik dibandingkan *photovoltaic refrigerator* yang hanya 3,66. Hal ini terjadi karena pada *photovoltaic refrigerator* mengalami kerugian-kerugian baik dari batere, inverter, maupun kabel-kabel penyambung. Sementara pada pengujian termostat 7 kondisi standar (listrik PLN) memiliki COP 2,67 lebih rendah dibandingkan *photovoltaic refrigerator* sebesar 3,14.

Dari tabel 1 terlihat bahwa kerja kompresor pada termostat 7 tiap pengujian bekerja lebih besar dibandingkan kerja kompresor pada termostat 1. Hal ini disebabkan karena temperatur evaporator yang ingin dicapai termostat 7 lebih kecil dibandingkan termostat 1. Hal ini terlihat dari pelepasan panas dari kondenser ke lingkungan, pada termostat 7 panas yang dilepaskan lebih besar yaitu 172,085 kJ/kg pada kondisi standar dan 168,744 kJ/kg pada *photovoltaic refrigerator* lebih besar dibandingkan panas yang dilepaskan termostat 1 yaitu 162,791 kJ/kg ada kondisi standar dan 164,589 kJ/kg pada *photovoltaic refrigerator*. Gambar 12, 13,14,15 menunjukkan diagram P-h untuk kondisi ideal.

3.7. Pengujian Dengan Refrigeran Hidrokarbon

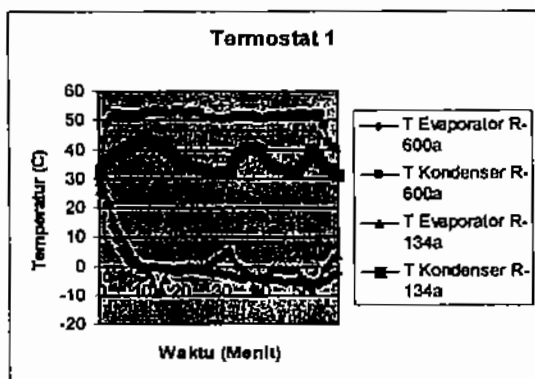
Refrigeran hidrokarbon yang digunakan dalam pengujian ini adalah R-600a dan HC-134. HC-134 merupakan campuran dari 2 refrigeran yaitu R-600a dan R-290. Refrigeran R-600a dan HC-134 dipilih karena memiliki properties yang tidak jauh berbeda dengan R-134a, seperti yang terlihat pada tabel 2. Dan secara kimia tidak memiliki masalah dengan komponen lemari pendingin, sehingga dapat digunakan sebagai refrigerant alternative. Pengujian dilakukan dengan tekanan 20 bar dan jumlah refrigerant yang sama dengan R-134a. Tujuannya untuk mengetahui kinerja dari refrigerant alternative pada jumlah yang sama.

Tabel 2.
Perbandingan Sifat Termodinamik 3 Refrigeran [4]

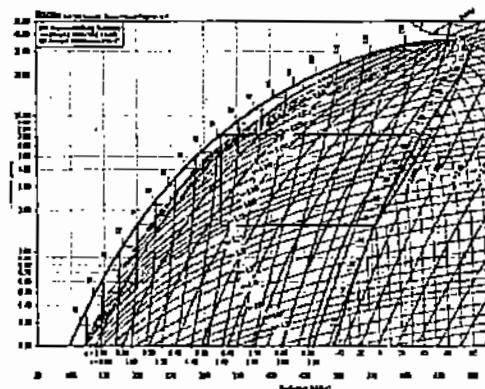
Refrigeran	R-134a	HC-290/600a	HC-600a Isobutane
Titik didih (100 Kpa)	-26,16 C	-30 C	-11,73
ODP	0	0	0
GWP	0.27	<0.01	<0.01
Kapasitas volume (kj/m3)	1185	1254	626
Ratio Tekanan	14,07	11,42	13,39

3.7.1. Perbandingan R-600a Dibandingkan Dengan R-134a

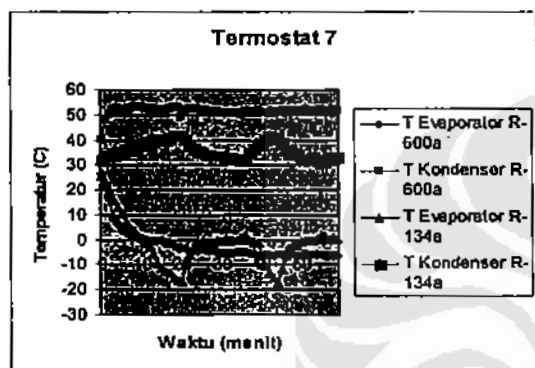
Grafik pada gambar 12 dan 13 menunjukkan hasil pengujian R-600a terhadap R-134a dimana terlihat perbedaan karakteristik. Penurunan suhu evaporator R-600a terlihat jauh lebih lambat dibandingkan dengan R-134a baik kondisi ringan (thermostat 1) maupun pada kondisi berat (thermostat 7). Penurunan suhu evaporator yang lebih lambat akan mempengaruhi daya yang dikonsumsi, dimana dalam hal ini daya yang dibutuhkan R-600a lebih hemat dibandingkan R-134a. Karena daya yang dibutuhkan kompresor untuk menyala kembali jauh lebih besar dibandingkan dengan daya ketika kompresor berjalan. Dan apabila dilihat dari suhu maksimal condenser terlihat cukup tinggi yaitu 53 °C. Ini menunjukkan jumlah refrigerant R-600a yang diisi seharusnya dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan refrigerant R-134a. Seperti yang terlihat dalam tabel 3 refrigerant R-600a memiliki kemampuan untuk mengambil dan membuang panas yang lebih baik dibandingkan dengan R-134a. Jadi dengan jumlah yang sama justru akan membuat suhu condenser lebih tinggi yang menyebabkan COP lebih rendah hingga 65 %, yang seharusnya menurut referensi [3] COP R-600a lebih tinggi. Namun secara keseluruhan lemari pendingin dapat berjalan dengan normal dan tidak ada masalah dengan komponen lemari pendingin. Gambar 18, 19 menunjukkan diagram P-h untuk kondisi ideal.



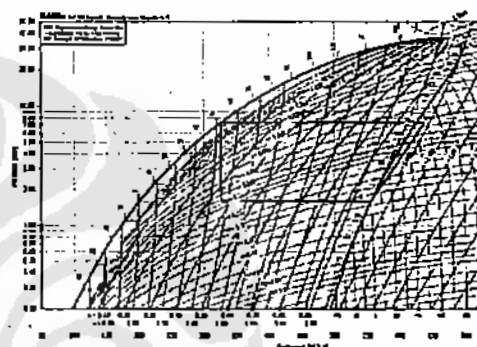
Gambar 16 R-600a dengan R-134a pada Termostat 1



Gambar 18 Diagram P-h R-600a Termostat 1



Gambar 17 R-600a dengan R-134a pada Termostat 7



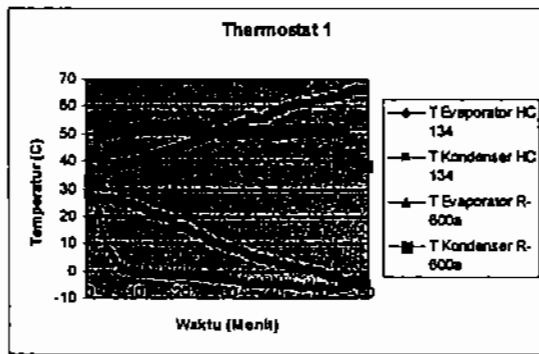
Gambar 19 Diagram P-h R-600a Termostat 7

Tabel 3. Hasil Pengujian R-600a dengan R-134^a

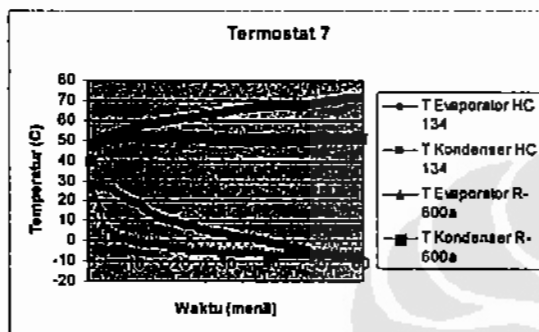
Termostat 1	
Refrigerant: R600a	Refrigerant: R134a
Te [°C] = -0.5	Te [°C] = 2.50
Tc [°C] = 51.9	Tc [°C] = 38.10
Qe [kJ/kg] = 229.152	Qe [kJ/kg] = 145.317
Qc [kJ/kg] = 312.710	Qc [kJ/kg] = 177.841
W [kJ/kg] = 83.558	W [kJ/kg] = 32.525
COP [10-(-4) ^o C] = 2.74	COP [10-(-4) ^o C] = 4.47
Pressure ratio = 4.677	Pressure ratio = 3.015
Termostat 7	
Refrigerant: R600a	Refrigerant: R134a
Te [°C] = 0.41	Te [°C] = 1.83
Tc [°C] = 52.22	Tc [°C] = 34.40
Qe [kJ/kg] = 229.533	Qe [kJ/kg] = 150.392
Qc [kJ/kg] = 311.827	Qc [kJ/kg] = 180.604
W [kJ/kg] = 82.293	W [kJ/kg] = 30.212
COP [10-(-4) ^o C] = 2.79	COP [10-(-4) ^o C] = 4.98
Pressure ratio = 4.565	Pressure ratio = 2.789

3.7.2. Perbandingan R-600a Dibandingkan Dengan HC-134

Hasil dari pengujian menunjukkan HC-134 mengalami penurunan suhu evaporator yang lebih lama dibandingkan dengan refrigerant R-600a. Sedangkan dari sisi kondenser, suhu kondenser refrigeran HC 134 terus meningkat seiring dengan penurunan temperatur. Bahkan suhu akhir yang dicapai selama 60 menit yaitu 67.7 °C untuk termostat 1 dan 72.8 °C untuk termostat 7. Kondisi ini juga bukan merupakan final karena suhu kondenser terus meningkat hingga tercapai suhu yang diinginkan. Hal ini berbahaya mengingat daya tahan dari alat-alat pendinginan yang terbatas. Sehingga dapat dikatakan refrigeran HC-134 tidak cocok untuk menggantikan R-134a maupun R-600a pada tekanan 20 bar dan jumlah refrigeran yang sama.



Gambar 20
R-600a dengan HC-134 pada Termostat 1



Gambar 21
R-600a dengan HC-134 pada Termostat 7

3. Kesimpulan

1. *Photovoltaic refrigerator* dapat bekerja jika invertornya menghasilkan keluaran gelombang berupa sinus (*inverter pure sine wave*).
2. Penggunaan 2 batere yang dirangkai paralel, yang masing-masing baterenya berkapasitas 70 Ah, mampu menyuplai arus listrik selama 21,5 jam terus-menerus tanpa adanya pengisian dari modul fotovoltaik.
3. Nilai COP dari *photovoltaic refrigerator* berada di bawah COP dari lemari pendingin yang menggunakan listrik PLN. Hal ini disebabkan oleh banyaknya kerugian-kerugian yang terjadi baik dari sistem maupun lingkungan.
4. Refrigerant R-600a dapat digunakan untuk menggantikan refrigerant R-134a pada kulkas untuk solusi ramah lingkungan

5. Pada tekanan 20 bar COP Refrigeran R-134a lebih baik dibandingkan R-600a, dan R-600a memiliki performa yang lebih baik dari HC 134
6. Berdasarkan hasil pengujian, HC-134 pada tekanan 20 bar tidak dapat dijadikan solusi alternatif
7. Jumlah refrigeran mempengaruhi performa secara signifikan. Untuk mengetahui jumlah refrigeran yang optimal diperlukan penelitian lebih lanjut.

Daftar Acuan

- [1]. Kaplanis, S. and Papanastasiou, N. *The study and performance of a modified conventional refrigerator to serve as a PV powered one*, Renewable Energy 31, 2006, pp 771-780
- [2]. SNI 04-6391-2000, "Battery Charge Regulator (BCR) Prosedur uji dan persyaratan listrik".
- [3]. CoolPack v. 1.46 Dept. of Mechanical Eng. TU Denmark, 2000