PENGARUH TEGANGAN TERHADAP KAPASITAS PELEPASAN KALOR KONDENSOR, KAPASITAS PENDINGINAN EVAPORATOR DAN EFISIENSI PADA SISTEM REFRIGERASI KOMPRESI UAP

THE EFFECT OF VOLTAGE FOR CAPACITY OF RELEASES HEAT CONDENSER, COOLING CAPACITY EVAPORATOR AND EFFICIENCY IN VAPOR COMPRESSION REFRIGERATION SYSTEM

Adrian Muhammad Irwansyah[1], Tri Ayodha Ajiwiguna S.T, M.Eng.[2], M. Ramdlan Kirom S. Si, M. Si[3]
[1,3]Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]adrianmuhammadirwansyah@gmail.com [2] Tri.Ayodha@gmail.com, [3]jakasantang@gmail.com

Abstrak

Bangunan komersial mengkonsumsi energi yang sangat besar hanya untuk sistem tata udara/HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning). Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk memperhemat energi pada sistem tersebut. Salah satu sistem yang banyak digunakan dikehidupan sehari-hari yaitu Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU). Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi yaitu menggunakan konduksi kalor yang lebih baik seperti air sebagai objek yang dapat mengurangi temperatur tambahan[4]. Pada studi ini, akan dilakukan analisis pengaruh tegangan terhadap kapasitas pelepasan kalor kondensor, kapasitas pendinginan evaporator dan efisiensi pada sistem refrigerasi kompresi uap (SRKU). Agar dapat terukur, maka sistem ini dibuat menggunakan air sebagai objek yang digunakan oleh kondensor maupun evaporator untuk pendinginan tambahan, kemudian air disirkulasikan pompa menuju *heat exchanger* dan kembali ke tampungan yang berbeda. Hasil penelitian ini adanya kenaikan tegangan pada fan cooler sebesar 4,5 volt, 6,5 volt, 8,5 volt, 10,5 volt dan 11,9 volt menyebabkan kenaikan kapasitas pelepasan kalor kondensor masing-masing sebesar 0,043466418 KW, 0,060852985 KW, 0,104319402 KW, 0,104319402 KW dan 0,1130127 KW yang berdampak kapasitas pendinginan pun ikut naik masing-masing sebesar 0,052159701 KW, 0,069546268 KW, 0,104319402 KW, 0,113012686 KW dan 0,1130127 KW. Setiap tegangan input pada fan cooler dinaikan maka efisiensi Sistem Refrigerasi Kompresi Uap pun akan naik masing-masing sebesar 1,19%, 1,28%, 1,45%, 1,46% dan 1,61%. Hal ini terjadi adanya kenaikan tegangan yang menyebabkan fan cooler berputar lebih cepat sehingga suhu air yang keluar dari heat exchanger lebih dingin.

Kata kunci: Hemat Energi, SRKU, Sistem Refrigerasi, Efisiensi.

Abstract

Commercial buildings spend amounts of energy only for air conditioning/HVAC systems (Heating, Ventilation and Air Conditioning). Therefore we need a way to save energy on the system. One of system that is widely used in daily life is the Vapor Compression Refrigeration System. One of way to increase efficiency is to use better heat conduction such as water as an object that can reduce additional temperatures[4]. In this study, an analysis effect of voltage for capacity of releases heat condenser, cooling capacity evaporator and efficiency in vapor compression refrigeration system. In order to be measured, this system was made using water as an object used by a condenser or evaporator for addition, then the pump is circulated to the heat exchanger and returned to a different reservoir. The results of this study, there is voltage increase on fan cooler of 4.5 volt, 6.5 volt, 8.5 volt, 10.5 volt and 11.9 volt causing an increase in capacity of releases heat condenser each of 0,043466418 KW, 0,60852985 KW, 0.104319402 KW, 0,104319402 KW and 0,1130127 KW which had an impact on cooling capacity each of 0,052159701 KW, 0,069546268 KW, 0,104319402 KW, 0,113012686 KW and 0,1130127 KW. Each input of voltage on fan cooler was increased, so the efficiency of the Vapor Compression Refrigeration System will increase each of 1.19%, 1.28%, 1.45%, 1.46% and 1.61%. This happens because of voltage increase which causes the cooling fan to spin faster so that the temperature of the air coming out of the heat exchanger was cooler.

Key word**:** *Saving Energy, SRKU, Refrigeration System, Efficiency.*

1. Latar Belakang

Bangunan komersial mengkonsumsi energi yang sangat besar hanya untuk sistem tata udara/HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning). Sistem ini berfungsi menjaga kondisi udara sekitar sehingga kenyamanan thermal tercapai. Sebagai contoh Gedung Balaikota dan Gedung Gabungan Dinas Makassar menggunakan daya energi listrik untuk sistem HVAC masing-masing sebesar 82% dan 84% dari total pemakaian daya energi listrik[1]. Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk memperhemat energi pada sistem tersebut.

Salah satu sistem yang banyak digunakan dikehidupan sehari-hari yaitu Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU). Sistem ini menggunakan fluida kerja yang dikompresi oleh kompresor sehingga mengakibatkan fluida menjadi bertekanan dan bersuhu tinggi di dalam kondensor, kemudian terjadi penurunan tekanan pada katup ekspansi dan akan bersuhu rendah saat berada di evaporator[2].

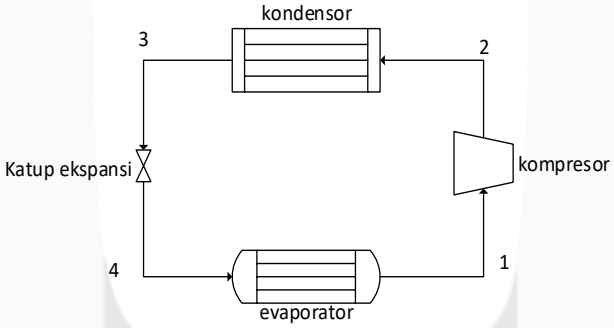
Untuk mengetahui kemampuan SRKU yaitu dengan menghitung nilai perbandingan efek refrigerasi dengan kerja spesifik kompresor yang disebut dengan *Coefficient of Performance* (COP). Efek refrigerasi adalah perbedaan *enthalpy refrigerant* saat masuk kompresor dengan saat masuk evaporator. Sedangkan kerja spesifik kompresor adalah *enthalpy refrigerant* saat keluar kompresor dengan saat masuk kompresor[3]. Berbagai cara untuk meningkatkan COP yaitu seperti menggunakan *heat pumps*, meningkatkan emisi dengan cara mengumpulkan energi panas sistem, memilih alas yang benar untuk mengurangi perpindahan panas sistem ke lingkungan, meningkatkan insulasi sistem, mempertimbangkan kehilangan kalor pada pipa dan menggunakan konduksi kalor yang lebih baik seperti air sebagai objek yang dapat mengurangi temperatur tambahan[4].

Pada studi ini, akan dilakukan analisis pengaruh tegangan terhadap kapasitas pelepasan kalor kondensor, kapasitas pendinginan evaporator dan efisiensi Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU). Agar dapat terukur, maka sistem ini dibuat menggunakan air sebagai objek yang digunakan oleh kondensor maupun evaporator untuk pendinginan tambahan, kemudian air disirkulasikan pompa menuju *heat exchanger* dan kembali ke tampungan yang berbeda sehingga didapatkan nilai kapasitas pelepasan kalor, kapasitas pendinginan dan efisiensi.

2. Landasan Teori

2.1 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Salah satu sistem yang banyak digunakan dikehidupan sehari-hari yaitu Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU). Sistem ini menggunakan fluida kerja yang dikompresi oleh kompresor sehingga mengakibatkan fluida menjadi bertekanan dan bersuhu tinggi didalam kondensor, tetapi terjadi penurunan tekanan pada katup ekspansi dan akan bersuhu rendah saat berada di evaporator. Selama fluida bersirkulasi, terjadi perubahan wujud dari gas ke cair dan kembali ke gas[2].



Gambar 2.1. Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

2.2 Persamaan analisis kapasitas pelepasan kalor kondensor, kapasitas pendinginan evaporator dan efisiensi SRKU

Untuk mengetahui pengaruh peningkatan kapasitas pelepasan kalor dikondensor terhadap kapasitas pendinginan dievaporator, digunakan analisis persamaan sebagai berikut:

a. Analisis persamaan kapasitas pelepasan kalor dikondensor

$$Q_{\text{pelepasan kalor}} = \dot{m}_{\text{air}} . C_{\text{air}} (T_c - T_d) \; ; \text{kw} \quad (1)$$

$$\dot{m}_{\text{air}} = \rho_{\text{air}} \; . \; Q_{\text{debit}} \quad (2)$$

Dimana: $Q_{\text{pelepasan kalor}} = \text{Kapasitas pelepasan kalor} \; ; \text{kW}$

$\dot{m}_{air}$ = Laju massa refrigeran air; $\frac{kg}{s}$
T_c = Temperatur air saat masuk tampungan bagian kondensor; °C
T_d = Temperatur air saat keluar tampungan bagian kondensor; $°C$
C_{air} = Kalor spesifik air; $\frac{kJ}{kg}°C$

b. Analisis persamaan kapasitas pendinginan dievaporator

$$Q_{pendingin} = \dot{m}_{air}.C_{air}(T_b - T_a)\ ;kw \quad (3)$$

$$\dot{m}_{air} = \rho_{air}\ .\ Q_{debit} \quad (4)$$

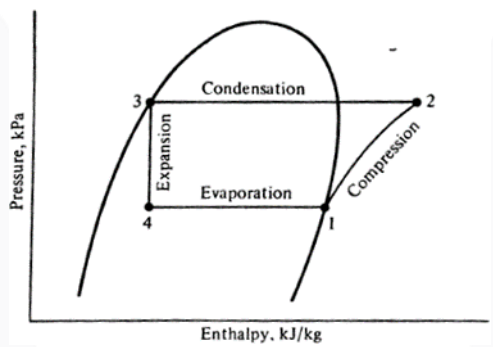
Dimana: $Q_{pendiginan}$ = Kapasitas pendinginan ; kW
$\dot{m}_{air}$ = Laju massa refrigeran air; $\frac{kg}{s}$
T_a = Temperatur air saat masuk tampungan bagian evaporator; °C
T_b = Temperatur air saat keluar tampungan bagian evaporator; $°C$
C_{air} = Kalor spesifik air; $\frac{kJ}{kg}°C$

c. Analisis *Coefficient of Performance* (COP)

$$COP_{aktual} = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (5)$$

$$COP_{carnot} = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} = \frac{Q_{evap}}{Q_{kond} - Q_{evap}} = \frac{T_{evap}}{T_{kond} - T_{evap}} \quad (6)$$

$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \quad (7)$$



Gambar 2.2. Diagram P-h Sistem Refrigerasi[3]

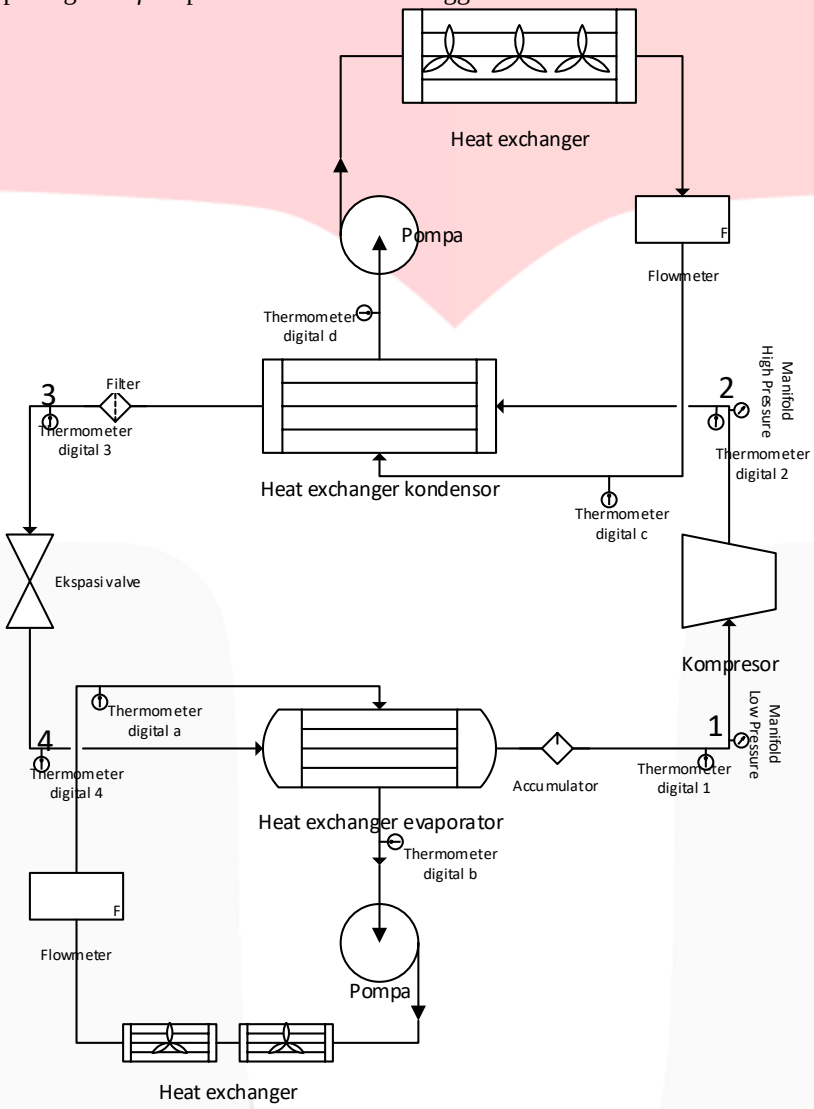
Dimana: COP_{aktual} = $Coefficient\ of\ Performance$ aktual pada SRKU
COP_{carnot} = $Coefficient\ of\ Performance\ ideal\ carnot$
h_1 = Entalpi refrigeran keluar evaporator; $\frac{kJ}{kg}$
h_2 = Entalpi refrigeran masuk kondensor; $\frac{kJ}{kg}$
h_3 = Entalpi refrigeran keluar kondensor; $\frac{kJ}{kg}$
h_4 = Entalpi refrigeran masuk evaporator; $\frac{kJ}{kg}$
Q_{in} = Kalor masuk
Q_{out} = Kalor keluar
T_{in} = Temperatur evaporator; $°C$
T_{out} = Temperatur kondensor; $°C$
η = efisiensi

3. METODOLOGI

3.1. Pembuatan Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU)

Pembuatan SRKU yang dimulai dari pemasangan komponen utama seperti kompresor, kondensor, katup ekspansi, evaporator, *filter dryer* dan Accumulutor. Untuk sistem pendingin tambahan, bagian kondensor akan dimasukan pada tampungan berisi air yang dipompa sehingga bersirkulasi menuju *heat exchanger*, *flowmeter* dan kembali lagi ke

tampungan. Disisi lain, untuk bagian evaporator akan dimasukan pada tampungan yang berbeda berisi air yang dipompa sehingga bersirkulasi menuju *heat exchanger*, *flowmeter* dan kembali lagi pada tampungan. Untuk pengukuran suhu akan dipasang sensor suhu yaitu thermometer digital pada titik-titik tertentu, yang bertujuan untuk mendapatkan nilai kapasitas pendinginan, kapasitas pelepasan kalor dan efisiensi, selanjutnya dalam membatasi tekanan maka dipasang *manifold* pada titik bertekanan tinggi dan rendah.



Gambar 3.1. Sistem Refrigerasi Kompresi Uap dan Siklus Tambahan

Keterangan:

$\text{Thermometer digital}_a = \text{Temperatur air saat masuk tampungan bagian evaporator; °C}$
$\text{Thermometer digital}_b = \text{Temperatur air saat keluar tampungan bagian evaporator; } °C$
$\text{Thermometer digital}_c = \text{Temperatur air saat masuk tampungan bagian kondensor; °C}$
$\text{Thermometer digital}_d = \text{Temperatur air saat keluar tampungan bagian kondensor; } °C$
$\text{Thermometer digital}_1 = \text{Temperatur refrigeran saat masuk kompresor; °C}$
$\text{Thermometer digital}_2 = \text{Temperatur refrigeran saat keluar kompresor; } °C$
$\text{Thermometer digital}_3 = \text{Temperatur refrigeran saat keluar kondensor; °C}$
$\text{Thermometer digital}_4 = \text{Temperatur refrigeran saat masuk evaporator; } °C$
$Manifold\ Low\ Pressure = \text{Tekanan refrigeran yang masuk kompresor; Psi}$
$Manifold\ High\ Pressure = \text{Tekanan refrigeran yang keluar kompresor; } Psi$

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data dan Pengolahan Data

Pada penelitian ini data yang diperoleh kemudian dilakukan analisis pengaruh peningkatan kapasitas pelepasan kalor di kondensor terhadap kapasitas pendinginan seperti pada tabel 4.1. dan efisiensi SRKU pada tabel 4.2.

Tabel 4.1. Data tegangan terhadap kapasitas pelepasan kalor dan kapasitas pendinginan

NO	Tegangan (Volt)	Ta (°C)	Tb (°C)	Tc (°C)	Td (°C)	Kapasitas Pelepasan Kalor (KW)	Kapasistas Pendinginan (KW)
1	0	19	19	33	33	0	0
2	4,5	20,8	20,2	38,5	38	0,0434664	0,0521597
3	6,5	22	21,2	40,2	39,5	0,060853	0,0695463
4	8,5	23	21,8	41,9	40,7	0,1043194	0,1043194
5	10,5	23,3	22	42,3	41,1	0,1043194	0,1130127
6	11,9	23,9	22,6	42,6	41,3	0,1130127	0,1130127

Tabel 4.2. Data tegangan terhadap efisiensi SRKU

Menit	Tegangan	Low pressure	T_1	High Pressure	T_2	High Pressure	T_3	Low Pressure	T_4
60	4,5	25	19,7	100	95,4	100	45	25	19
70	6,5	25	21,2	100	96	100	46,2	25	20,4
80	8,5	25	22,1	100	96	100	48	25	21,2
90	10,5	25	22,5	100	96,3	100	49,1	25	21,6
100	11,9	25	22,9	100	96,7	100	49,8	25	21,9

Menit	Tegangan (Volt)	h_1	h_2	h_3	h_4	COP aktual	COP carnot	Efisiensi ɲ
60	4,5	270,33	334,87	285,43	269,74	0,0093	0,7787	1,19
70	6,5	271,63	335,47	286,59	270,94	0,0109	0,8480	1,28
80	8,5	272,41	335,47	288,34	271,63	0,0124	0,8533	1,45
90	10,5	272,76	335,77	289,41	271,98	0,0124	0,8459	1,46
100	11,9	273,10	336,17	290,09	272,24	0,0137	0,8513	1,61

Pada penelitian ini refrigeran yang digunakan adalah R134a dengan low pressure dan high pressure yang stabil masing-masing sebesar 25 Psi dan 100 Psi pada temperatur lingkungan 26,1°C, pada aliran air dengan kalor spesifik air (C_{air}) sebesar 4,1855 $\frac{KJ}{Kg\,°C}$ bermassa jenis air (ρ_{air}) 997 $\frac{Kg}{m^3}$ bersirkulasi dengan debit (Q) 1,25 LPM.

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan 2.5 pada bab 2 dilakukan analisis kapasitas pelepasan kalor di kondensor, kapasitas pendinginan dan efisiensi dari Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (SRKU). Sebagai contoh pada tegangan 4,5 volt menit ke 60 sebagai berikut:

$$\text{Laju aliran massa } (\dot{m}_{air}) = \rho_{air} \cdot Q_{debit}$$

$$= 997\,\frac{Kg}{m^3} \cdot 2{,}08\text{x}10^{-5}\,\frac{Kg}{m^3}$$

$$= 0{,}02077\,\frac{Kg}{s} = 1{,}246 \text{ LPM.}$$

$$Q_{pelepasan\ kalor} = \dot{m}_{air} . C_{air}(T_c - T_d)\ ;\text{kw}$$

$$= 0{,}02077\,\frac{Kg}{s} \cdot 4{,}1855\,\frac{KJ}{Kg\,°C}\,(38{,}5°C - 38°C)$$

$$= 0{,}0434664 \text{ KW}$$

$$= 43 \text{ Watt}$$

$$Q_{pendingin} = \dot{m}_{air} . C_{air}(T_b - T_a)\ ;\text{kw}$$

$$= 0{,}02077\,\frac{Kg}{s} \cdot 4{,}1855\,\frac{KJ}{Kg\,°C}\,(20{,}8°C - 20{,}2°C)$$

$$= 0{,}0521597 \text{ KW} = 52 \text{ Watt}$$

$$COP_{aktual} = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{270{,}33 - 269{,}74}{334{,}87 - 270{,}33} = 0{,}0093$$

$$COP_{carnot} = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} = \frac{Q_{evap}}{Q_{kond} - Q_{evap}} = \frac{T_{evap}}{T_{kond} - T_{evap}} = \frac{19{,}7}{45 - 19{,}7} = 0{,}7787$$

$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}}\,x\ 100\% = \frac{0{,}0093}{0{,}7787}\,x100\% = 1{,}19\%$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama maka didapatkan perhitungan yang ditampilkan pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

4.1.1 Analisis Grafik Data Kenaikan Tegangan Terhadap Kapasitas Pelepasan Kalor dan Kapasitas Pendinginan

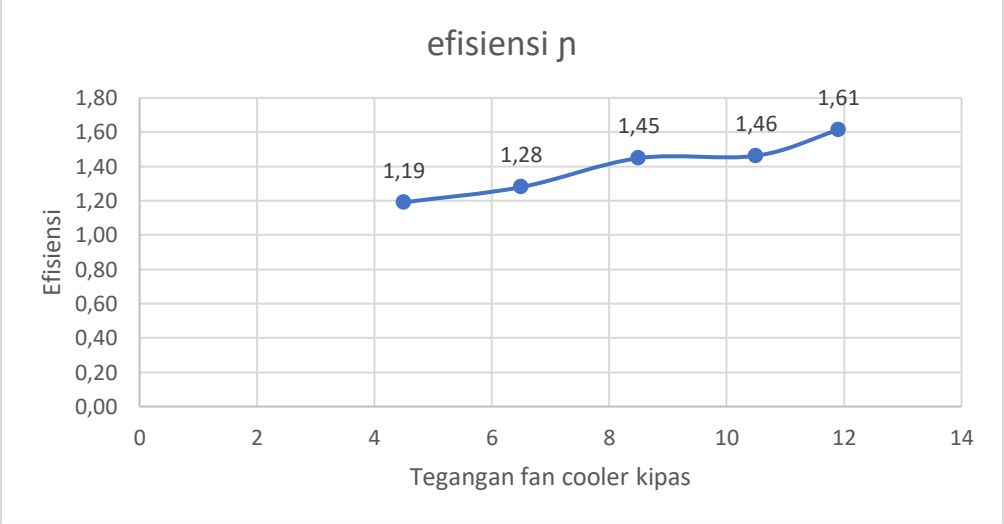
Gambar 4.1. Grafik pengaruh peningkatan kapasitas pelepasan kalor di kondensor terhadap kapasitas pendinginan

Pada gambar grafik 4.1. yaitu pengaruh peningkatan kapasitas pelepasan kalor di kondensor terhadap kapasitas pendinginan, dari grafik terlihat kenaikan yang signifikan. Adanya kenaikan kapasitas pelepasan kalor di kondensor menyebabkan kapasitas pendinginan pun ikut naik.

Gambar 4.2. Grafik pengaruh peningkatan tegangan terhadap kapasitas pelepasan kalor dan kapasitas pendinginan

Pada Gambar 4.2 yaitu grafik pengaruh peningkatan tegangan terhadap kapasitas pelepasan kalor dan kapasitas pendinginan. Pada grafik, adanya kenaikan tegangan pada fan cooler sebesar 4,5 volt, 6,5 volt, 8,5 volt, 10,5 volt dan 11,9 volt menyebabkan kenaikan kapasitas pelepasan kalor kondensor masing-masing sebesar 0,043466418 KW, 0,060852985 KW, 0,104319402 KW, 0,104319402 KW dan 0,1130127 KW yang berdampak kapasitas pendinginan pun ikut naik masing-masing sebesar 0,052159701 KW, 0,069546268 KW, 0,104319402 KW, 0,113012686 KW dan 0,1130127 KW.

4.1.2 Analisis Grafik Data Tegangan Terhadap Efisiensi



Gambar 4.3. Grafik pengaruh peningkatan tegangan terhadap efisiensi SRKU

Bila dilihat pada grafik 4.3. setiap tegangan input pada fan cooler dinaikan sebesar 4,5 volt, 6,5 volt, 8,5 volt, 10,5 volt dan 11,9 volt maka efisiensi Sistem Refrigerasi Kompresi Uap pun akan naik masing-masing sebesar 1,19%, 1,28%, 1,45%, 1,46% dan 1,61%. Hal ini terjadi adanya kenaikan tegangan yang menyebabkan fan cooler berputar lebih cepat sehingga suhu air yang keluar dari heat exchanger lebih dingin.

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil-hasil yang dicapai dari analisis maupun hasil dari pengambilan data maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Adanya kenaikan tegangan pada fan cooler sebesar 4,5 volt, 6,5 volt, 8,5 volt, 10,5 volt dan 11,9 volt menyebabkan kenaikan kapasitas pelepasan kalor kondensor masing-masing sebesar 0,043466418 KW, 0,060852985 KW, 0,104319402 KW, 0,104319402 KW dan 0,1130127 KW

2. Kenaikan kapasitas pelepasan kalor di kondensor berdampak langsung pada kapasitas pendinginan di evaporator yang ikut naik masing-masing sebesar 0,052159701 KW, 0,069546268 KW, 0,104319402 KW, 0,113012686 KW dan 0,1130127 KW.

3. Setiap tegangan pada fan cooler dinaikan maka efisiensi Sistem Refrigerasi Kompresi Uap pun akan naik masing-masing sebesar 1,19%, 1,28%, 1,45%, 1,46% dan 1,61%. Hal ini terjadi adanya kenaikan tegangan yang menyebabkan fan cooler berputar lebih cepat sehingga suhu air yang keluar dari heat exchanger lebih dingin.

5.2. SARAN

Dari penelitian ini akan diberikan beberapa saran untuk pengembangan inovasi selanjutnya dimasa yang akan datang. Dengan merujuk hasil penelitian ini penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Saran penulis untuk pembuatan Sistem Refrigerasi Kompresi Uap ini adalah untuk mengambil data lebih banyak lagi dengan variasi tegangan yang dinaikan lebih tinggi dari 11,9 volt.
2. Perlu menaikan kapasitas output arus pada fan cooler sehingga kecepatan fan menjadi lebih cepat yang mengakibatkan suhu air keluaran heat exchanger lebih dingin.

DAFTAR PUSTAKA

[1] USAID Indonesia Clean Energy Development (ICED Project). 2014. *Panduan Penghematan Energi di Gedung Pemerintahan.* [Online]. Dapat diakses di www.iced.or.id. Diakses pada 10 Januari 2016.
[2] Widodo S, Syamsuri H, **Sistem Refrigerasi dan Tata Udara**, jilid 1, Jakarta, 2008.
[3] Stoecker, Wilbert F dan Jones, Jerold W, ***Refrigeration and Air Conditioning***, edisi kedua, New York, 1982.
[4] USA PLUMBING. 2013. **Ways to Increase the Efficiency (COP) of a Heat Pump System.** [Online]. Dapat diakses di http://www.usaplumbing.info/tips/ways-to-increase-efficiency-cop-a-heat-pump-system. Diakses pada 9 November 2018.
[5] M. V. Duarte, L. C. Pires, P. D. Silva, and P. D. Gaspar, ***Experimental comparison between R409A and R437A performance in a heat pump unit.*** Portugal, 2017.
[6] Masygur A N S, **Suhu dan Kalor,** edisi I, Universitas Katolik Widya Mandala.