

Pengaruh Campuran Gas Nitrogen Dan Freon R134a Terhadap Kinerja Mesin Pendingin

I.C. Susatyo, E. Irwantino, A.R. Ramadan, K. Vladymir C.W, R.E. Setiawan, A.R.A. Mustofasih,
M.V. Firmansyah, B.E. Dwiatma, M. Asroni

Jurusan Teknik Mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Malang
Jalan Raya Karanglo Km 2, Tasikmadu, Lowokwaru, Malang, Jawa Timur 65153

Email : cahyadyindra@gmail.com

Abstrak

Refrigerant adalah suatu zat atau komposisi kimia yang secara bergantian dikompresi dan dikondensasi menjadi cairan yang kemudian diekspansikan menjadi uap atau gas saat dipompa melewati sistem pendingin. Refrigerant alternatif diperlukan untuk menggantikan zat pendingin yang sepenuhnya terhalogenasi yang diyakini berkontribusi terhadap penipisan ozon di atmosfer. Dalam dekade terakhir, banyak penelitian dan pengembangan studi tentang sintesis dan karakterisasi pendingin alternatif dilakukan. Penggantian Ozone Depleting Substance (ODS) yang terbatas dengan alternatif apapun dapat melibatkan perubahan besar dalam desain berbagai komponen seperti isolasi, pelumas, penukar panas, dan motor. Tujuan penelitian ini adalah meneliti pengaruh, efisiensi energi, serta laju pendinginan campuran nitrogen pada freon R134a terhadap kinerja mesin pendingin. Penelitian ini menggunakan metode percobaan pada alat pendingin secara langsung dan penelitian kepustakaan. Adapun data yang didapatkan dari percobaan pada mesin pendingin ini, kemudian diolah untuk mengetahui nilai-nilai yang diinginkan. Landasan teori yang digunakan pada penelitian ini adalah teori massa jenis, koefisien konveksi termal, COP, dan Energy efficiency ratio. Berdasarkan hasil percobaan dan pengolahan data, dapat disimpulkan nilai massa jenis selalu mengalami penurunan pada setiap rasio campuran. Begitu juga nilai Energy efficiency ratio pada setiap campuran. Hasil ini dapat mempengaruhi daya yang bekerja pada kompresor sehingga kinerja kompresor makin ringan dan tidak menggunakan banyak daya.

Kata kunci: Refrigerant, R134a, Nitrogen.

Abstract

Refrigerant is a substance or chemical composition which is alternately compressed and condensed into a liquid which is then expanded into vapor or gas when pumped through the cooling system. Alternative refrigerants are needed to replace the completely halogenated refrigerants that are believed to contribute to atmospheric ozone depletion. In the last decades, many research and development studies on the synthesis and characterization of alternative coolants were carried out. The limited replacement of Ozone Depleting Substance (ODS) with any alternative can involve major changes in the design of various components such as insulation, lubricants, heat exchangers and motors. The purpose of this study was to examine the effect, energy efficiency, and cooling rate of the nitrogen mixture in Freon R134a on cooling engine performance. This research uses experimental methods on direct cooling devices and literature research. The data obtained from experiments on this cooling machine, then processed to determine the desired values. The theoretical basis used in this research is the theory of density, thermal convection coefficient, COP, and Energy efficiency ratio. Based on the results of experiments and data processing, it can be concluded that the density value always decreases in each mixture ratio. Likewise, the energy efficiency ratio for each mixture. These results can affect the working power on the compressor so that the compressor's performance is lighter and doesn't use much power.

Keywords: Refrigerant, R134a, Nitrogen.

1 PENDAHULUAN

Refrigerant adalah suatu zat atau komposisi kimia yang secara bergantian dikompresi dan dikondensasi menjadi cairan yang kemudian diekspansikan menjadi uap atau gas saat di pompa melewati sistem pendingin. *Refrigerant* alternatif diperlukan untuk menggantikan zat pendingin yang sepenuhnya terhalogenasi yang diyakini berkontribusi terhadap penipisan ozon di atmosfer. Dalam dekade terakhir, banyak penelitian dan pengembangan studi tentang sintesis dan karakterisasi pendingin alternatif dilakukan. Penggantian *Ozone Depleting Substance* (ODS) yang terbatas dengan alternatif apa pun dapat melibatkan perubahan besar dalam desain berbagai komponen seperti isolasi, pelumas, penukar panas, dan motor. Pengujian harus dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja sistem dan memastikan keandalan dan keamanan sistem. Beberapa *refrigerant* alternatif sudah tersedia di pasaran. Beberapa orang (Lorentzen, 1993) telah menyarankan *refrigerant* alami, yaitu, amonia, propana, dan CO₂ untuk menggantikan ODS.

Refrigerant alternatif yang paling umum digunakan adalah R134a. *Refrigerant* R134a memiliki properti yang baik, tidak beracun, tidak mudah terbakar dan relatif stabil. Akan tetapi, jenis *refrigerant* ini memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya yaitu, memiliki potensi sebagai zat yang dapat menyebabkan efek pemanasan global. Oleh karena itu, peraturan Eropa No. 2006/40/EC dan No. 517/2014 membatasi penggunaan HFC yang memiliki *Global Warming Potential* (GWP) lebih dari 150 dalam sistem MAC dan *Vapour Compression Refrigeration* (VCR) atau sistem pendingin kompresi uap lainnya. Untuk mengurangi nilai GWP *Refrigerant* R134a yang tinggi, maka dilakukan beberapa penyesuaian (Dincer, 2010). Salah satunya adalah dengan mencampur *Refrigerant* R134a dengan zat yang cocok digunakan sebagai campuran *refrigerant* dengan memperhatikan aturan bahwa zat tersebut aman digunakan sebagai *refrigerant*.

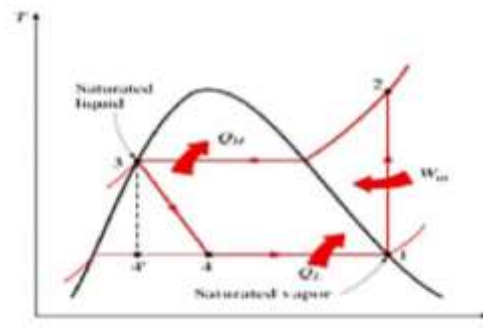
Nitrogen merupakan unsur kimia dengan nomor tujuh dan terdapat bebas di sebagian atmosfer bumi dalam bentuk nitrogen diatomic (N₂). Pada dasarnya nitrogen (N₂) berwujud gas dan didapatkan melalui proses industri. Akan tetapi, jika gas nitrogen didinginkan melalui proses cryogenic hingga suhu -196°C (-320°F), gas ini akan berubah wujud menjadi cair (LN₂). Apabila suhu dinaikan kembali, LN₂ (nitrogen cair) dapat kembali menjadi gas (Zainal, 2019). Titik didih yang rendah, tidak beracun, sukar bereaksi, serta stabilitas antar atom yang bagus, dapat menjadikan nitrogen sebagai zat yang tepat

untuk campuran *refrigerant* R134a pada penelitian ini.

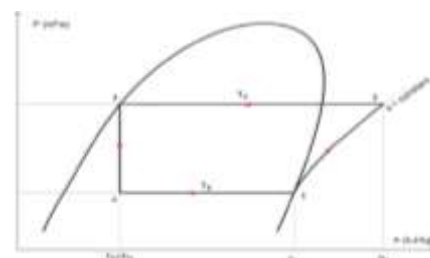
2 TINJAUAN PUSTAKA

Pendinginan adalah proses dari melepaskan panas dari suatu materi yang berwujud padat, cair, dan gas. Melepaskan panas bisa dilakukan dengan cara mendinginkan materi tersebut atau menurunkan suhunya. Terdapat beberapa cara untuk menurunkan suhu. Beberapa metode, penurunan suhu bisa dicapai dengan ekspansi gas yang cepat dibawah tekanan yang rendah. Di dalam sistem pendingin terdapat *refrigerant*. *Refrigerant* adalah suatu zat yang dapat memindahkan panas yang diserap pada suhu rendah dan menekannya pada media kondensasi; dalam proses pemindahan, *refrigerant* berada pada suhu dan tekanan yang tinggi. Melalui ekspansi, kompresi, dan media pendingin, seperti udara atau air, *refrigerant* melepaskan panas dari suatu zat dan memindahkannya ke media pendingin.

Pada dasarnya, *refrigerant* menyerap panas karena suhunya lebih rendah daripada suhu sumber panas yang diserap. Oleh karena itu, *refrigerant* berfungsi untuk menghantarkan panas.



Gambar 1. Diagram T-S siklus kompresi uap



Gambar 2 Diagram P-H siklus kompresi uap

Proses-proses yang terjadi pada siklus kompresi uap seperti pada gambar 2.1 dan gambar 2.2 diatas adalah sebagai berikut:

1. Proses kompresi (1-2)

Proses ini dilakukan di dalam kompresor dan berlangsung secara isentropik. Kondisi awal *refrigerant* pada saat masuk ke dalam kompresor adalah uap jenuh bertekanan rendah. Setelah mengalami kompresi, *refrigerant* akan menjadi uap bertekanan tinggi.

2. Proses Kondensasi (2-3)

Proses ini berlangsung di dalam kondensor. *Refrigerant* bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi yang berasal dari kompresor akan membuang kalor sehingga fasanya berubah menjadi cair.

3. Proses Ekspansi (3-4)

Proses ekspansi ini berlangsung secara isoentalpi. Hal ini berarti tidak terjadi perubahan entalpi tetapi terjadi penurunan tekanan dan penurunan temperatur. Proses penurunan tekanan terjadi pada katup ekspansi yang berbentuk pipa kapiler yang berfungsi untuk mengatur laju aliran *refrigerant* 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 diserap oleh cairan *refrigerant* yang bertekanan rendah sehingga *refrigerant* berubah fasa menjadi uap bertekanan rendah.

3 METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan metode percobaan pada alat pendingin secara langsung dan penelitian kepustakaan. Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

a. Variabel bebas

Variabel bebas pada penelitian ini yaitu rasio campuran Freon R134a dengan gas nitrogen.

b. Variabel terikat

Variabel terikat pada penelitian ini yaitu daya kompresor, COP dan laju pendinginan.

c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah volume air.

3.1 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini metode pengumpulan data dilakukan sebagai berikut.

1. Mencampurkan Refrigerant R134a dengan gas Nitrogen kedalam tabung pencampuran yang diberi *pressure gauge* dengan rasio yang sudah ditentukan.
2. Mengisi rangkaian sistem pendingin dengan campuran gas.
3. Evaporator yang diletakkan pada wadah air akan mendinginkan air disekitarnya. Sebelumnya, termometer sudah dipasang di dasar dan permukaan wadah air untuk mengetahui perbedaan suhu di dasar dan permukaan.
4. Pengambilan data dilakukan setiap 10 menit selama 1 jam. Data yang diambil berupa tekanan pada *pressure gauge* dan suhu pendinginan pada air.

3.2 Metode Analisa Data

Data-data hasil pengamatan yang diperoleh dari penelitian dianalisa dengan perhitungan rumus-rumus yang sesuai dengan teori yang telah ada.. Analisa data disusun berupa tabel dari hasil perhitungan.

Tabel 1. Data percobaan dengan rasio refrigerant R134a 85% : N₂ 15%

t(menit)	Tekanan (psi)		T ₁ (°C)	T ₂ (°C)
10	P ₁	135	26.4	27.5
	P ₂	130		
	P ₃	40		
	P ₄	35		
20	P ₁	134	25.5	26.6
	P ₂	130		
	P ₃	38		
	P ₄	35		
30	P ₁	133	24.3	25.3
	P ₂	129		
	P ₃	38		
	P ₄	34		
40	P ₁	133	22.8	23.7
	P ₂	128		
	P ₃	37		
	P ₄	34		
50	P ₁	132	21.4	22.2
	P ₂	127		
	P ₃	36		
	P ₄	33		
60	P ₁	130	20.2	21.1
	P ₂	126		
	P ₃	35		
	P ₄	33		

Tabel 2. Data percobaan dengan rasio refrigerant R134a 70% : N₂ 30%

t(menit)	Tekanan (psi)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	
10	P ₁ 135	26.6	27.6	50
	P ₂ 130			
	P ₃ 40			
	P ₄ 35			
20	P ₁ 133	25.5	26.6	60
	P ₂ 130			
	P ₃ 39			
	P ₄ 34			
30	P ₁ 132	24.3	25.3	
	P ₂ 129			
	P ₃ 37			
	P ₄ 34			
40	P ₁ 132	23.8	24.7	
	P ₂ 128			
	P ₃ 36			
	P ₄ 33			
50	P ₁ 131	22.4	23.2	
	P ₂ 127			
	P ₃ 35			
	P ₄ 33			
60	P ₁ 129	21.2	22.2	
	P ₂ 123			
	P ₃ 35			
	P ₄ 32			

Untuk mengetahui massa jenis gabungan dari Refrigerant R134a dan Nitrogen digunakan persamaan:

$$\rho_m = (\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2 + \dots + \rho_n v_n) / (v_1 + v_2 + \dots + v_n)$$

dimana:

ρ_m = Massa jenis gas campuran (kg/m³, lb/ft³)

$\rho_1 \dots \rho_n$ = Massa jenis tiap zat (kg/m³, lb/ft³)

$v_1 + v_2 + \dots + v_n$ = Volume yang dibagi tiap zat (m³, ft³)

Rumus untuk menghitung perpindahan panas konveksi.

$$Q = K.A.\Delta T$$

Dimana:

Q = Laju Perpindahan (W)

K = Koefisien Konveksi Termal (W/m²C)

$\Delta T = T_2 - T_1$ (°C)

T₂ = Temperatur Permukaan wadah (°C)

T₁ = Temperatur Dasar Wadah (°C)

A = Luas penampang melintang (m²)

Rumus untuk menghitung COP.

COP = heat output / electrical energy input (W)

Rumus untuk menghitung EER.

EER = cooling capacity (Btu/h) / electrical energy input (W)

Tabel 3. Data percobaan dengan rasio refrigerant R134a 55% : N₂ 45%

t(menit)	Tekanan (psi)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)
10	P ₁ 135	26.6	27.6
	P ₂ 130		
	P ₃ 40		
	P ₄ 35		
20	P ₁ 133	25.7	26.7
	P ₂ 130		
	P ₃ 39		
	P ₄ 34		
30	P ₁ 131	24.7	25.8
	P ₂ 127		
	P ₃ 36		
	P ₄ 34		
40	P ₁ 130	23.5	24.6
	P ₂ 126		
	P ₃ 35		

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini berupa tingkat efisiensi kecocokan campuran gas nitrogen dan Freon R134a sebagai pendingin ruangan yang diperoleh dari pengukuran suhu dan tekanan. Data pengukuran suhu dasar dan suhu permukaan air terhadap waktu dibuat dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 3. Grafik perbandingan suhu dasar dan permukaan air rasio 85%:15%



Gambar 4. Grafik perbandingan suhu dasar dan permukaan air rasio 70%:30%



Gambar 5. Grafik perbandingan suhu dasar dan permukaan air rasio 55%:45%

Gambar-gambar diatas menunjukkan bahwa pada grafik dengan rasio 85%:15% memiliki tingkat pendinginan lebih tinggi dibandingkan variasi lain. Hal ini diakibatkan oleh campuran *refrigerant* R134a yang lebih banyak dari variasi lain. Sehingga mengakibatkan suhu air dalam wadah lebih cepat menurun. *Refrigerant* memiliki beberapa karakteristik, salah satunya adalah Kalor Laten Penguapan. Refrigeran yang memiliki kalor laten penguapan lebih tinggi akan lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigerant yang sama dapat menghasilkan efek refrigerasi yang lebih besar.

Data yang diperoleh tersebut dianalisa berdasarkan rumus menurut teori yang ada sebagai berikut.

Tabel 4. Massa jenis gabungan R134a dengan Nitrogen

Rasio campuran gas	Massa jenis (kg.m^{-3})
R134a : N ₂ 85% : 15%	12.19766
R134a : N ₂ 70% : 30%	10.04532
R134a : N ₂ 55% : 45%	7.89299

Dari tabel diatas ,menunjukkan bahwa setiap rasio campuran gas R134a dengan nitrogen memiliki massa jenis yang berbeda-beda karena rumus perhitungan menggunakan massa jenis gas R134a sebesar $14,35 \text{ kg.m}^{-3}$ dan massa jenis nitrogen sebesar $1,251 \text{ kg.m}^{-3}$, kemudian massa jenis tersebut dikalikan rasio pencampuran gas terhadap volume tabung pencampuran dan dibagi dengan volume total tabung.

Tabel 5. Data perpindahan panas konveksi

t(menit)	Koefisien konveksi termal (W)		
	R134a : N ₂		
	85%:15%	70%:30%	55%:45%
10	0.0203662	0.0185148	0.0185148
20	0.0203662	0.0185148	0.0185148
30	0.0203662	0.0185148	0.0166633
40	0.0203662	0.0166633	0.0166633
50	0.0185148	0.0166633	0.0166633
60	0.0185148	0.0166633	0.0148118

Dari data diatas didapatkan hasil koefisien konveksi termal yang berbeda-beda pada masing-masing rasio dan data yang diambil tiap menit. Hal ini dikarenakan terdapat perubahan suhu yang berbeda-beda setiap 10 menit pada masing-masing rasio. Hasil laju perpindahan ini didapatkan dari perhitungan koefisien termal air dikalikan luas penampang (melintang) dan dikalikan perubahan suhu yang terjadi pada air.

Tabel 6. Data hasil perhitungan COP

t(menit)	COP R134a : N ₂		
	85%:15%	70%:30%	55%:45%
10	0.0001198	0.00013224	0.000168306
20	0.0001198	0.00013224	0.000168306
30	0.0001198	0.00013224	0.000151475
40	0.0001198	0.00011902	0.000151475
50	0.0001089	0.00011902	0.000151475
60	0.0001089	0.00011902	0.000134644

Dari data diatas, perhitungan COP didapatkan dari hasil panas koefisien konveksi setiap 10 menit dibagi dengan nilai electrical energy input. Hasil yang didapat adalah berupa COP setiap 10 menit yang memiliki nilai bervariasi. Nilai yang bervariasi ini dipengaruhi oleh koefisien konveksi termal yang dipengaruhi oleh massa jenis campuran. Pada rasio 55%:45% pada menit ke 10 dan 20, didapatkan nilai yang lebih besar dari pada data pada rasio lain. Hal ini menunjukkan bahwa pada rasio 55%:45% merupakan nilai yang paling efisien. Karena nilai COP berbanding terbalik dengan biaya operasional, apabila COP lebih tinggi maka biaya operasional yang dikeluarkan akan menjadi lebih rendah.

Tabel 7. Data hasil perhitungan EER

Rasio pencampuran gas	EER
85%:15%	2.68284
70%:30%	2.20944
55%:45%	1.73604

Dari tabel perhitungan tersebut didapatkan nilai yang bervariasi pada masing-masing rasio campuran. Nilai tersebut didapatkan dari electrical energy input dibagi dikalikan EER standar rasio murni R134a kemudian dibagi dengan electrical energy input standar pada kompresor. Berbeda dengan COP, EER berbanding lurus dengan efisiensi dari mesin pendingin. Semakin tinggi EER dari sebuah mesin pendingin maka semakin efisien pula mesin pendingin tersebut. Maka, dari tabel perhitungan diatas bisa disimpulkan bahwa pada rasio pencampuran gas 85%:15% memiliki nilai efisiensi yang paling bagus.

5 KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak campuran nitrogen, maka semakin

kecil pula massa jenis campuran yang dihasilkan. Hal ini akan mempengaruhi tekanan yang terjadi pada kompresor karena hubungan massa jenis dan tekanan yang berbanding lurus. *Efficiency energy ratio* (EER) paling tinggi yang dihasilkan terdapat pada rasio campuran 85%:15%. Nilai pada rasio tersebut merupakan nilai EER tertinggi daripada rasio campuran lain yang diuji di penelitian ini. Nilai koefisien konveksi termal tertinggi terdapat pada rasio 85%:15%. Hal ini terjadi karena semakin tinggi campuran R134a, maka pendinginan akan lebih cepat dibandingkan pada campuran R134a yang lebih sedikit. Cepat atau lambat laju pendinginan ini dipengaruhi oleh kalor laten masing-masing *refrigerant*. *Refrigerant* hasil campuran gas nitrogen dan Freon R134a cocok digunakan sebagai *refrigerant* pendingin ruangan. Karena pada 60 menit, campuran dengan rasio 85%:15% dapat menurunkan suhu air dengan lambat hingga mencapai 20,2 °C. Pendinginan yang lambat ini kurang bagus apabila diaplikasikan di bidang pengawetan makanan.

6 DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE HVAC. (2001). *Hand Book Fundamentals*.
 Abidin, Zainal., & Suryanto. (2019). *Desain dan Uji Experimental Mesin Pebuat Es Krim dengan Menggunakan Nitrogen Cair*. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
 Dincer, I., & Kanoglu, M. (2010). *Refrigeration Systems and Applications*. Chennai: Wiley.
 Kartohadioprojo, Irma I. (1994). *Kimia Fisika Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
 Lorentzen, G. (1993). Revival of carbon dioxide as a refrigerant. *International Journal of Refrigeration*.
 Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., & Huebsch, W. W. (2009). *Fundamentals of Fluid Mechanics, Sixth Edition*. Danvers: Wiley.
 Rumayar, Andreas Herman. *Pembuatan Alat Uji Prestasi Mesin Pendingin Jenis Kompresi Uap*. (2016). Universitas 17 agustus 1945. Jakarta.
 Sumanto, Andi. (1994). *Dasar-Dasar Mesin Pendingin*. Yogyakarta.
 Sutomo, Pangat Hendro. (1988). *Pengaruh Variasi Kondisi Kondensor Terhadap Suhu Evaporator dan Kompresor Pada Refrigerator*. Kumpulan Abstrak Hasil Penelitian 1985-1987. Jakarta: Depdikbud.
 Suwono, Aryadi. (1988). *Penggunaan Campuran Biner Non Azeotropik Freon Untuk Sistem Pendingin Siklus Kompresi Uap*. Kumpulan Abstrak Hasil Penelitian 1985-1987. Jakarta: Depdikbud.

- Widiyanto, Agus. (2011). *Uji performansi system refrigerasi kompresi uap pada seed storage*. Tugas akhir. Universitas Negeri Semarang.
- Wilis, Galuh Renggani. (2014). *Penggunaan Refrigeran R22 dan R134a pada Mesin Pendingin*.
- Z., M., Djuanda, Rasyid, R., & Munandar. (2017). *Teknologi Volume 17 . Analisis Unjuk Kerja (COP) Mesin Pendingin Hibrid dengan Menggunakan Refrigeran R-22*, 5-9.