

# STUDI EKSPERIMENTAL NANOREFRIGERAN TiO<sub>2</sub>-R600a SEBAGAI REFRIGERAN MASA DEPAN

Abdur Rozaq\*, Nur Abdillah Siddiq, Rendy  
Krisnanta Putra, Muhammad Dicky Yusuf Z.,  
Siti Muysaroh

Jurusan Teknik Fisika,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya  
Email: rozaq11@mhs.ep.its.ac.id

## Abstract

*The use of CFC refrigerants (Chloro Fluoro Carbon) leads to destruction of ozone layer and global warming. An alternative refrigerant is hydrocarbon refrigerant, but it has the disadvantage of easily exploded. This experimental study has been conducted to study the effect of addition of TiO<sub>2</sub>, which are flame retardant, on the performance of hydrocarbon refrigerant R600a (nanorefrigeran TiO<sub>2</sub>-R600a). Test of Performance conducted according to refrigerants national standards IEC 60335-2-24-2010. The result is R600a-TiO<sub>2</sub> is safe and efficient to be used as a refrigerant without any modification on refrigerator. TiO<sub>2</sub> increases the thermal conductivity and heat transfer of refrigerant. The best performance is obtained at TiO<sub>2</sub> concentration of 1 g / L (COP = 4,821). It is expected that the nanorefrigeran TiO<sub>2</sub>-R600a can be used as the primary refrigerant in the future that are environmentally friendly and efficient.*

**Keywords:** Nano-Refrigerant, R600A, TiO<sub>2</sub>, COP

## 1. PENDAHULUAN

Rusaknya lapisan ozon dan efek pemanasan global disebabkan oleh penggunaan bahan yang mengandung unsur klorin (Cl) dan Fluorin (F). Sumber unsur klorin dapat berupa refrigeran dari golongan CFC (*Chloro Fluoro Carbon*), padahal refrigeran banyak dipakai pada kulkas, Air Conditioner, dan mesin pendingin lainnya. Unsur klorin tersebut akan mengurai lapisan ozon yang akhirnya membentuk lubang [1].

Menipisnya lapisan ozon mengakibatkan terjadinya degradasi lingkungan, keterbatasan sumber air bersih,

kerusakan rantai makanan di laut, musnahnya ekosistem terumbu karang dan sumber daya laut lainnya, menurunnya hasil produksi pertanian yang dapat mengganggu ketahanan pangan, dan bencana alam lainnya [2]. Mata rantai penggunaan CFC berikutnya adalah terjadinya pemanasan global (*global warming*).

Setelah keberadaan lubang ozon di lapisan atmosfer diverifikasi secara saintifik, perjanjian internasional untuk mengatur dan melarang penggunaan zat-zat perusak ozon disepakati pada tahun 1987 yang terkenal dengan sebutan Protokol Montreal. Salah satu refrigeran alternatif adalah refrigeran hidrokarbon.

Refrigeran hidrokarbon adalah refrigeran yang saat ini banyak diteliti karena ramah lingkungan, tidak beracun, lebih murah, tidak menyebabkan penipisan ozon dengan nilai ODP (*Ozone Depletion Potential*) sebesar 0, dan tidak menyebabkan pemanasan global dengan nilai GWP (*Global Warming Potential*) kurang dari 3 [3]. Namun, refrigeran hidrokarbon mudah meledak dan terbakar. Refrigeran hidrokarbon yang saat ini menunjukkan performa terbaik adalah R600A.

Untuk meningkatkan performa refrigeran hidrokarbon dapat dilakukan dengan penambahan TiO<sub>2</sub>. TiO<sub>2</sub> juga dapat berfungsi sebagai *flame retardant* [4]. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nanorefrigeran TiO<sub>2</sub>-R600a bekerja dengan aman dan normal dalam kulkas tanpa modifikasi dengan performa yang lebih baik dibandingkan dengan refrigeran murni R600a [5][6].

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan studi eksperimental mengenai pengaruh penambahan TiO<sub>2</sub> terhadap performa refrigeran R600A (nanorefrigeran TiO<sub>2</sub>-R600a) melanjutkan penelitian Shengsan [5] dengan menambahkan variabel TiO<sub>2</sub> hingga 1g/L, dengan harapan diketahui konsentrasi optimum TiO<sub>2</sub> dan didapatkan refrigeran hidrokarbon dengan performa terbaik yang dapat dijadikan pilihan refrigeran di masa depan.

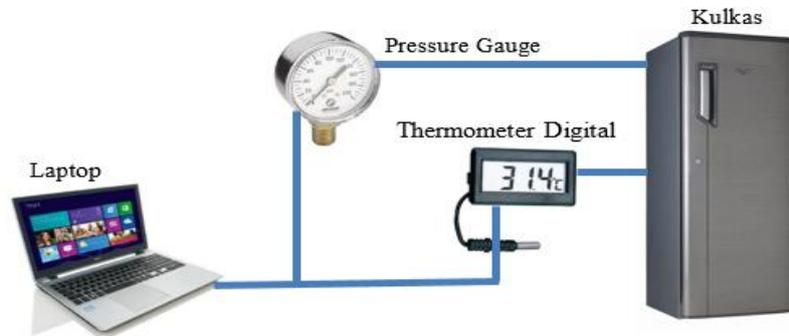
## 2. METODE

### Sistem Eksperimen

Peralatan eksperimen disusun berdasarkan standart pengujian kulkas SNI IEC 60335-2-24-2010 dengan lingkungan

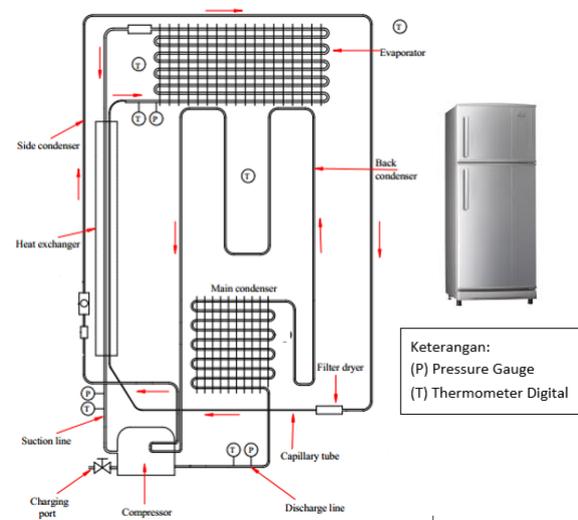
disekitar kulkas yang terkontrol. Susunan kulkas dan proses pengambilan data ditunjukkan oleh gambar 1. Kulkas diletakkan pada ruangan dengan temperatur yang terkontrol oleh AC pada temperature 25°C.

Pengambilan data dilakukan secara manual dengan pengamatan langsung secara visual besaran yang terbaca pada *pressure*



Gambar 1. Susunan Peralatan Eksperimen

Dari 5 titik pengukuran, 3 titik diletakkan didalam pipa kapiler untuk mengukur temperatur refrigeran dan 2 titik diletakkan di kompartemen kulkas (di freezer dan di rumah tangga) seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2. Dengan metode ini, *copper tube 1/4 inchi* dengan *flare* digunakan untuk memasang sensor temperatur yang dimasukkan kedalam pipa dengan *T-junction* dan dilem. Selain itu 3 titik pengukuran tekanan diletakkan pada input dan output kompresor serta input evaporator, pemasangannya seperti sensor temperatur



namun dilas.

*gauge* dan *thermometer digital*. Lokasi dari titik pengukuran temperatur dan tekanan, alat ukur, dan metode pengukuran merupakan hal yang sangat penting untuk mendapatkan data yang valid. Pada penelitian ini, di kulkas terdapat 5 titik pengukuran temperatur dan 3 titik pengukuran tekanan.

Gambar 2. Titik-titik pengambilan data

Interval waktu dalam pengambilan data adalah 1 menit. Kulkas yang dijadikan alat untuk uji nanorefrigerant adalah kulkas merk Sharp SJ-K200 dengan spesifikasi yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Kulkas

<i>Capacity (Nett/Gross):</i> 180 Lt	<i>Power Consumption:</i> 40 Watt Fan Cooling System
<i>Defrost/Nofrost:</i> No Frost	<i>Type:</i> Twin Door
<i>Non CFC:</i> -	<i>Dimension (WxDxH):</i> 524 x 584 x 1483 mm
<i>Multi Air Flow:</i> Yes	<i>Special Feature:</i> Fan Cooling System

### Uji Performa

Pada penelitian ini uji performa kulkas dilakukan dengan uji kapasitas kolom rumah tangga dan freezer serta penentuan COP. Berdasarkan standart pengujian kulkas SNI IEC 60335-2-24-2010, lingkungan pengujian kulkas harus dikontrol pada temperatur 25°C. Dalam uji performa, parameter yang juga dianalisis adalah temperatur *discharge compressor*.

### Prosedur Eksperimen

Langkah-langkah eksperimen dijelaskan sebagai berikut:

- (1) Uji performa awal dilakukan menggunakan refrigeran bawaan dari kulkas yakni R134a. Hasil eksperimen ini dijadikan untuk perbandingan antara refrigerant nonhidrocarbon dan refrigerant hidrocarbon.
- (2) R600a murni tanpa  $\text{TiO}_2$  untuk pembandingan antara adanya  $\text{TiO}_2$  dan tidak adanya  $\text{TiO}_2$ .
- (3) Nanorefrigeran  $\text{TiO}_2$ -R600a dengan konsentrasi yang berbeda digunakan pada sistem kulkas dengan kondisi lingkungan yang sama.

### Preparasi nano-refrigerant $\text{TiO}_2$ -R600a

Nanorefrigeran dipersiapkan dengan mencampurkan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  yang telah ditakar sesuai variabel bebas ke mineral oil. Pencampuran dilakukan dengan proses stiring dengan magnetic stirrer selama 8 jam sehingga  $\text{TiO}_2$  dapat bercampur dengan R600A.

Metode penambahan nanopartikel ke kulkas ada dua [4], yakni dengan menambahkannya ke pelumas untuk membuat campuran pelumas-nanopartikel dan kemudian campuran tersebut dimasukkan ke kompresor sebagai pelumas. Cara kedua adalah dengan nanopartikel dan refrigeran dicampurkan secara langsung untuk membuat nano-refrigeran.

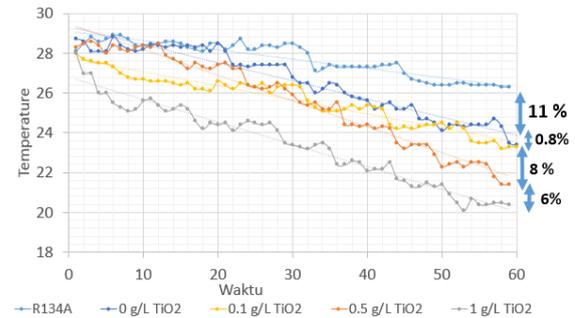
Hasil penelitian menunjukkan bahwa performa lebih baik pada campuran pelumas-nanopartikel. Hasil steering Mineral oil +  $\text{TiO}_2$  dengan konsentrasi yang berbeda sesuai dengan variable bebas yang telah ditentukan (0,1 g/L, 0,5 g/L, dan 1g/L) dimasukkan kedalam sistem refrigerasi.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

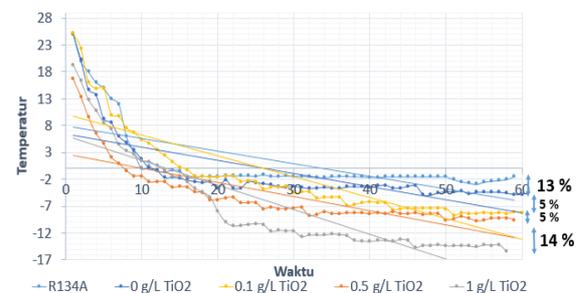
### Grafik Temperatur Terhadap Waktu

Gambar 3 menunjukkan grafik temperatur terhadap waktu pada kompartemen rumah tangga. Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi  $\text{TiO}_2$  maka lamanya waktu agar temperatur turun ke nilai yang diinginkan menjadi lebih cepat. Penurunan temperatur paling drastis terjadi pada penggantian refrigerant R134a ke R600A yang mencapai 11%.

Gambar 4 menunjukkan grafik temperatur terhadap waktu pada kompartemen freezer, dari grafik dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi  $\text{TiO}_2$  maka lamanya waktu agar temperatur turun ke nilai yang diinginkan menjadi lebih cepat. Penurunan temperatur paling drastis terjadi pada penggantian refrigerant R600A dengan kadar  $\text{TiO}_2$  0.5 g/L ke R600A dengan kadar 1g/L yang mencapai 14%.



Gambar 3. Temperatur rumah tangga



Gambar 4. Temperatur rumah tangga

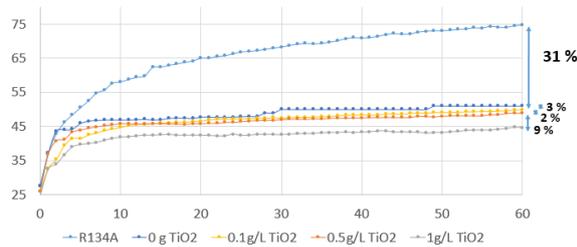
Waktu yang lebih cepat dalam proses pendinginan memiliki arti bahwa performa kulkas menjadi lebih baik. Dengan kadar penambahan  $\text{TiO}_2$  yang semakin besar, maka penurunan suhu menjadi lebih cepat. Hal tersebut disebabkan oleh  $\text{TiO}_2$  yang dapat meningkatkan konduktivitas termal dan perpindahan panas refrigeran.

R600a bersifat mudah meledak, tetapi dengan penambahan  $\text{TiO}_2$  yang bersifat *flameretardant* maka daya ledak  $\text{TiO}_2$ -R600a menjadi berkurang. Oleh karena itu refrigerant  $\text{TiO}_2$ -R600a dapat digunakan sebagai refrigeran yang aman dan efisien tanpa ada modifikasi kulkas.

### Grafik temperatur discharge kompresor terhadap waktu

Gambar 5 menunjukkan grafik temperatur *discharge* kompresor terhadap waktu. Temperatur *discharge* kompresor yang lebih rendah menandakan kinerja mesin pendingin yang lebih baik, seperti temperatur oli yang lebih rendah, pelumasan yang lebih baik, temperatur motor yang lebih rendah, lifetime kompresor yang lebih lama, dan viskositas oli menjadi lebih rendah. Penurunan temperature discharge kompresor yang paling besar adalah pada penggantian R134a ke R600a yang mencapai 31%.

Penurunan temperature *discharge* kompresor yang drastis tersebut disebabkan oleh *critical pressure* dan *critical density* R600a yang lebih rendah (3.65 MPa, 0.22 g/cm<sup>3</sup>) dibandingkan R134a (4.06 MPa, 0.52 g/cm<sup>3</sup>).



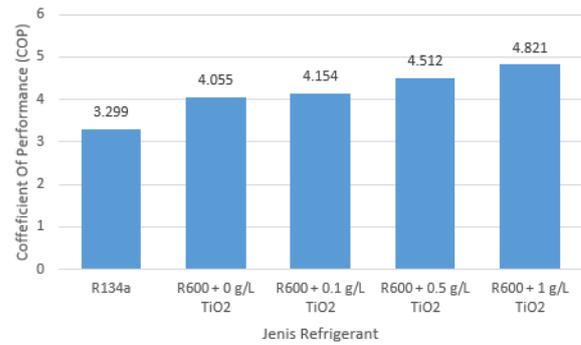
Gambar 5. Temperatur discharge compressor

### Coefficient Of Performance

*Coefficient Of performance* (COP) dihitung melalui persamaan berikut.

$$COP_{maksimum} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_4)}{\dot{m}(h_2 - h_1)} \quad [7]$$

Nilai h (entalpi) diperoleh dengan memasukkan data temperature dan tekanan yang diperoleh dari eksperimen pada software CoolPack. Gambar 6 menunjukkan grafik COP dari setiap refrigerant. Dari grafik dapat dilihat bahwa COP yang tertinggi adalah pada refrigerant R600A dengan kadar TiO<sub>2</sub> 1 g/L yang mencapai 4.821.



Gambar 6. *Coefficient of Performance* dari berbagai refrigerant

Penambahan nanopartikel TiO<sub>2</sub> menyebabkan kenaikan COP karena:

- (1) Nanopartikel TiO<sub>2</sub> dapat meningkatkan kelarutan diantara pelumas dan refrigeran. Memberikan performa lebih baik dengan mengembalikan lebih banyak pelumas ke kompresor.
- (2) Konduktivitas termal dan perpindahan panas dari refrigeran menjadi semakin meningkat.
- (3) Nanopartikel yang terdispersi di pelumas mengurangi koefisien gesek dan laju pemakaian sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan reliabilitas dari kompresor.

## 4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- (1) R600A + TiO<sub>2</sub> dapat digunakan sebagai refrigeran yang aman dan efisien tanpa ada modifikasi kulkas.
- (2) TiO<sub>2</sub> meningkatkan konduktivitas termal dan perpindahan panas refrigerant
- (3) Dari 5 variabel bebas, performa terbaik didapatkan pada kadar TiO<sub>2</sub> sebanyak 1 g/L (COP = 4.821).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa M.Sc selaku dosen pendamping atas saran dan masukannya. Bapak Hamdan selaku pimpinan toko refrigerant yang telah mensuplai bahan baku yang berkualitas serta teknisi yang kompeten

## 5. REFERENSI

- [1] Waluyo Eko Cahyono. 2007. *Urgensi Menjaga Lapisan Ozon Bagi Bumi*. LAPAN:Jakarta.
- [2] Itha Masithah. 2013. *Jurnal Menipisnya Lapisan Ozon*. Tugas Pengenalan Komputer Pendidikan Biologi
- [3] Ching Song Jwo. 2009. *Efficiency analysis of home refrigerators by replacing hydrocarbon refrigerants*. vol. 42, hal 697–701.
- [4] F. Lessan, M. Montazer, M.B. Moghadam. 2011. *A novel durable flame-retardant cotton fabric using sodium hypophosphite, nano TiO<sub>2</sub> and maleic acid*. *Thermochimica Acta* 520 hal. 48–54.
- [5] Shengsan Bi, Kai Guo, Zhigang Liu, Jiangtao Wu. 2011. *Performance of a domestic refrigerator using TiO<sub>2</sub>-R600a nano-refrigerant as working fluid*. *Energy Conversion and Management* 52 (2011) hal 733–737
- [6] Rasti, M., Aghamiri, S., dkk. 2013. *Energy efficiency enhancement of a domestic refrigerator using R436A and R600a as alternative refrigerants to R134a*. vol. 74, hal 86-94.
- [7] Prayitno, D., Nadjib, M., Agung, T.H. 2010. *Investigasi Coefficient Of Performance (COP) Mesin Refrigerasi pada Alat Air Conditioning Unit A660 dengan Variasi Kerja Fan Dan Boiler*. Vol. 12, hal 172-173.