

# Pengaruh Konsentrasi CO<sub>2</sub> Sebagai *Inhibitor* dalam Refrigeran Alternatif LPG Terhadap Unjuk Kerja Air Conditioner

Nurkholis Hamidi<sup>1)\*</sup>, Nasrul Iliminafik<sup>1)</sup>, Purnami<sup>1)</sup>, Denny Widyanuriawan<sup>1)</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang-Indonesia  
E-mail: hamidy@ub.ac.id

## Abstrak

Refrigeran hidrokarbon memiliki keunggulan karena ramah lingkungan dan dapat bekerja pada tekanan rendah sehingga energi yang diperlukan dalam sistem refrigerasi lebih rendah. LPG, yang merupakan campuran dari propana dan butana, adalah salah satu hidrokarbon yang dapat digunakan sebagai refrigeran. Penggunaan hidrokarbon termasuk LPG sebagai refrigeran harus memperhatikan *safety* karena sifatnya yang mudah terbakar. Salah satu upaya untuk mengurangi potensi mudah terbakar dari LPG dapat digunakan suatu *inhibitor*, yakni zat penghambat laju reaksi pembakaran. Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan salah satu *inhibitor* alami yang tidak memberikan efek negatif terhadap lingkungan. Penambahan CO<sub>2</sub> dalam refrigeran alternatif LPG tentunya dapat berpengaruh terhadap koefisien prestasi dari mesin pendingin. Pada penelitian ini, pengaruh kadar CO<sub>2</sub> dalam LPG terhadap performan mesin AC telah diamati. Penelitian menggunakan instalasi mesin A.C. Bench, P.A. Hilton. Ltd. Serial No. A573/41154. LPG yang digunakan adalah produk Pertamina Indonesia yang memiliki konsentrasi 50% propana dan 50% butana. Perbandingan campuran LPG dan CO<sub>2</sub> yang digunakan adalah 100:0; 90:10; 85:15; 80:20 % massa, dengan massa total campuran sebesar 300 gram. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> menyebabkan koefisien prestasi semakin menurun, karena kerja kompresor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur dan tekanan refrigeran semakin besar dan meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> menyebabkan efek refrigerasi menurun sehingga jumlah panas yang diserap oleh refrigeran di evaporator semakin sedikit. Koefisien prestasi tertinggi didapat pada penggunaan LPG 100% yaitu 4,353.

**Kata kunci** : Refrigeran hidrokarbon, LPG, CO<sub>2</sub>, inhibitor, unjuk kerja AC

## Abstract

Hydrocarbon refrigerants has the advantage of being environmentally friendly and possible for operation at low pressure so that can reduce energy required for refrigeration system . LPG , which is a mixture of propane and butane can be used as a hydrocarbon refrigerant . The use of hydrocarbons including butane as refrigerants must pay attention because it is flammable . One effort to reduce potential flammability of LPG is the use of an inhibitor, which is can reduce the rate of combustion reaction . Carbon dioxide ( CO<sub>2</sub> ) is one of the natural inhibitors that do not have negative effects on the environment . The addition of CO<sub>2</sub> in the LPG alternative refrigerants can certainly affect the achievement of the engine cooling coefficient . In this study, the effect of CO<sub>2</sub> concentration in the LPG to the performance of AC machines have been observed . The study uses A.C. machine installation Bench , P.A. Hilton . Ltd. . Serial No. . A573/41154 . LPG used is from Pertamina Indonesia, which has a concentration of 50 % propane and 50 % butane . LPG and CO<sub>2</sub> mixing ratio used was 100:0 ; 90:10 ; 85:15 ; 80:20 % by mass , the total mass of a mixture of 300 grams . The results showed that increasing concentrations of CO<sub>2</sub> cause diminishing of coefficient of performance , due to compressor work required to raise the temperature and pressure of the refrigerant is getting bigger and increasing concentrations of CO<sub>2</sub> cause decreased cooling effect so that the amount of heat absorbed by the refrigerant in the evaporator is decrease . The highest coefficient of performance is obtained in 100 % of LPG which is 4.353 .

**Keywords:** Hydrocarbon refrigerants, LPG, CO<sub>2</sub>, inhobitor, AC performance

## 1. LATAR BELAKANG

Refrigeran hidrokarbon dalam sistem refrigerasi telah dikenal sejak tahun 1920-an, sebelum refrigeran sintetik dikenal. Ilmuwan yang tercatat sebagai promotor hidrokarbon sebagai refrigeran antara lain Linde (1916) dan Ilmuwan Dunia Albert Einstein (1920). Dalam perkembangannya, penggunaan refrigeran sintetik seperti CFC, HFC mengalami kemajuan yang pesat. Akan tetapi, di era sekarang ini, hidrokarbon kembali diperhitungkan sebagai refrigeran alternatif, setelah munculnya permasalahan lingkungan akibat dari penggunaan refrigeran sintetik tersebut.

Refrigeran hidrokarbon merupakan pilihan yang memiliki keunggulan dibanding dengan refrigeran lain. Hidrokarbon sebagai refrigeran bekerja pada tekanan rendah sehingga energi yang diperlukan dalam sistem refrigerasi lebih rendah sampai 25% [1]. Refrigeran hidrokarbon merupakan salah satu refrigeran alami yang ramah lingkungan yang menjadi refrigeran alternatif pengganti refrigeran halogen [2]. Sebagai refrigeran, hidrokarbon tidak mempunyai potensi sebagai zat yang dapat menyebabkan efek pemanasan global dan juga tidak mempunyai *Ozone Depleting Substance* (ODS) yaitu zat yang dapat menyebabkan kerusakan ozon.

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki kekayaan gas hidrokarbon yang sangat besar. Salah satu hidrokarbon yang dapat digunakan sebagai refrigeran alternatif adalah LPG (Liquefied Pressure Gas).

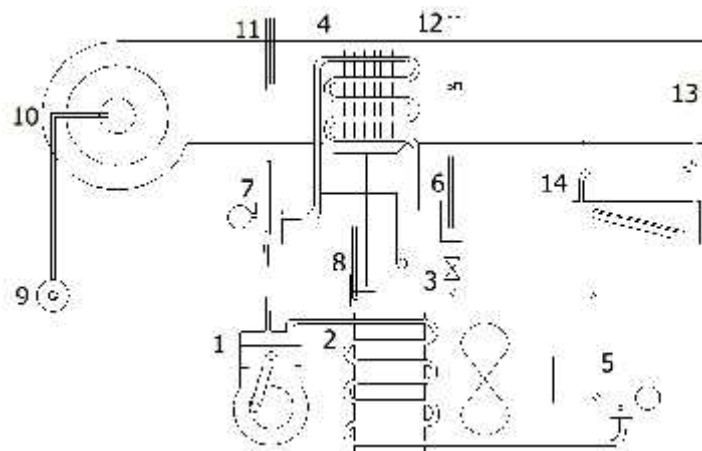
LPG, yang merupakan campuran dari propana dan butan, memiliki properti yang sangat bagus sebagai refrigeran [3, 4, 5]. Menurut McIn-Cross, dkk, penggunaan LPG dapat menghemat energi hingga 10-20% dalam

\* Penulis korespondensi, phone:034-581614  
E-mail: hamidy@ub.ac.id

suatu sistem refrigerasi [6]. Akan tetapi, LPG dan jenis hidrokarbon yang lain juga mempunyai kekurangan sebagai refrigeran, yakni sifatnya yang mudah terbakar (*flammable*), sehingga penggunaannya harus memperhatikan faktor keamanan.

Beberapa usaha telah dilakukan untuk mengontrol sifat *flammable* dari suatu hidrokarbon. Salah satunya adalah dengan mencampur hidrokarbon dengan suatu *inhibitor*, yakni suatu senyawa yang dapat menghambat laju reaksi pembakaran. Gas inert, seperti nitrogen ( $N_2$ ) dan karbondioksida ( $CO_2$ ), dapat berfungsi sebagai *inhibitor* dalam reaksi pembakaran. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa gas  $N_2$  dan  $CO_2$  mampu menurunkan batas mampu nyala dan kecepatan pembakaran dari hidrokarbon, seperti metana, LPG, propana, dan lain-lain [7, 8, 9]. Dari penelitian tersebut juga diketahui bahwa  $CO_2$  memiliki kemampuan sebagai *inhibitor* yang lebih baik dibandingkan dengan  $N_2$ , sehingga memiliki potensi untuk digunakan sebagai gas *inhibitor* (pengaman) dalam penggunaan hidrokarbon sebagai refrigeran.

Karbondioksida merupakan senyawa yang sangat banyak terdapat di alam sehingga mudah diperoleh dan bersifat *non-toxic* sehingga aman untuk digunakan. Dalam sistem refrigerasi,  $CO_2$  juga dapat digunakan sebagai refrigeran anorganik. Akan tetapi,  $CO_2$  sekarang jarang digunakan karena membutuhkan tekanan kompresor yang tinggi yang mengakibatkan daya yang dibutuhkan untuk mengalirkan  $CO_2$  dalam sistem refrigerasi sangat besar. Sehingga, apabila  $CO_2$  dicampurkan ke dalam LPG dan digunakan sebagai refrigeran tentunya akan mempengaruhi unjuk kerjanya. Dari latar belakang tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh konsentrasi  $CO_2$  sebagai *inhibitor* dalam refrigeran alternatif LPG terhadap unjuk kerja *air conditioner*.



Keterangan:

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| 1. Kompresor                   | 8. Condensate Measurement                 |
| 2. Kondensator                 | 9. Blower speed control                   |
| 3. Alat ekspansi               | 10. Blower                                |
| 4. Evaporator                  | 11. Termometer bola basah dan bola kering |
| 5. Termometer & Pressure Gauge | 12. Termometer bola basah dan bola kering |
| 6. Termometer                  | 13. Orifice                               |
| 7. Termometer & Pressure Gauge | 14. Inclined Manometer                    |

Gambar 1. Instalasi penelitian AC Bench PA Hilton

## 2. PROSEDUR EKSPERIMEN

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimental. Eksperimen dilaksanakan dengan menggunakan mesin AC Bench PA Hilton, Tipe: A-573/41154 Vapour Compression Refrigeration Units. Instalasi penelitian seperti tampak pada Gambar 1. Refrigeran yang digunakan, di dalam penelitian ini, merupakan campuran antara LPG dan  $CO_2$ . Prosentase massa LPG :  $CO_2$  di dalam campuran divariasikan sebagai berikut: 100:0; 90:10; 85:15; dan 80:20. Massa total refrigeran yang digunakan dalam mesin AC adalah 300 gram.

Tabel 1. Data udara masuk evaporator.

No.	Blower RV	Massa alir udara masuk evaporator (kg/s)	Kecepatan aliran udara (m/s)
1	50	0,11576	1,6148
3	60	0,13296	1,852535
5	70	0,1365	1,903922

Kecepatan putaran *blower* udara divariasikan pada 50; 60; 70 RV sehingga diperoleh massa alir dan kecepatan udara masuk evaporator yang bervariasi seperti yang tampak pada tabel 1. Udara masuk evaporator

memiliki temperatur bola kering sekitar 37~38°C, sedangkan temperatur bola basah adalah sekitar 27~28°C. Pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi efek refrigerasi, kerja kompresi dan koefisien prestasi *air conditioner*.

Efek refrigerasi, kerja kompresi dan koefisien prestasi dievaluasi berdasarkan perhitungan-perhitungan berikut :

a. Efek refrigerasi

Efek refrigerasi adalah banyaknya kalor yang diserap oleh evaporator setiap satuan massa refrigeran untuk menghasilkan efek pendinginan. Besar efek refrigerasi adalah:

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (\text{kJ/kg}) \quad (1)$$

dimana:  $q_e$  = efek refrigerasi (kJ/kg)  
 $h_1$  = entalpi setelah evaporator (kJ/kg)  
 $h_4$  = entalpi sebelum evaporator (kJ/kg)

Entalpi refrigeran dalam hal ini merupakan entalpi campuran antara entalpi CO<sub>2</sub> dan LPG, yang dapat ditentukan sebagai berikut:

$$h_m = \sum_{i=1}^k m f_i h_i \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2)$$

dimana:  
 $h_m$  = entalpi campuran (kJ/kg)  
 $i$  = komponen ke- $i$   
 $k$  = banyaknya komponen  
 $m f_i$  = fraksi massa komponen ke- $i$   
 $h_i$  = entalpi komponen ke- $i$  (kJ/kg)

b. Kerja kompresi

Kerja kompresi adalah banyaknya kalor yang dikompresikan kompresor setiap satuan massa refrigeran. Besar kerja kompresi adalah:

$$W = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (\text{kJ/s}) \quad (3)$$

dimana:  
 $W$  = kerja kompresi (kJ/s)  
 $\dot{m}$  = massa alir refrigeran (kg/s)  
 $h_1$  = entalpi setelah kompresor (kJ/kg)  
 $h_2$  = entalpi sebelum kompresor (kJ/kg)

c. Koefisien prestasi (COP)

Istilah prestasi di dalam siklus refrigerasi disebut dengan koefisien prestasi (KP) atau *COP (coefficient of performance)*, yang dirumuskan pada rumus 4 berikut:

$$\text{COP} = \frac{q_1}{W} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4)$$

dengan:  
 $h_1$  = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)  
 $h_2$  = entalpi masuk kondensor (kJ/kg)  
 $h_3$  = entalpi keluar kondensor (kJ/kg)  
 $h_4$  = entalpi masuk evaporator (kJ/kg)

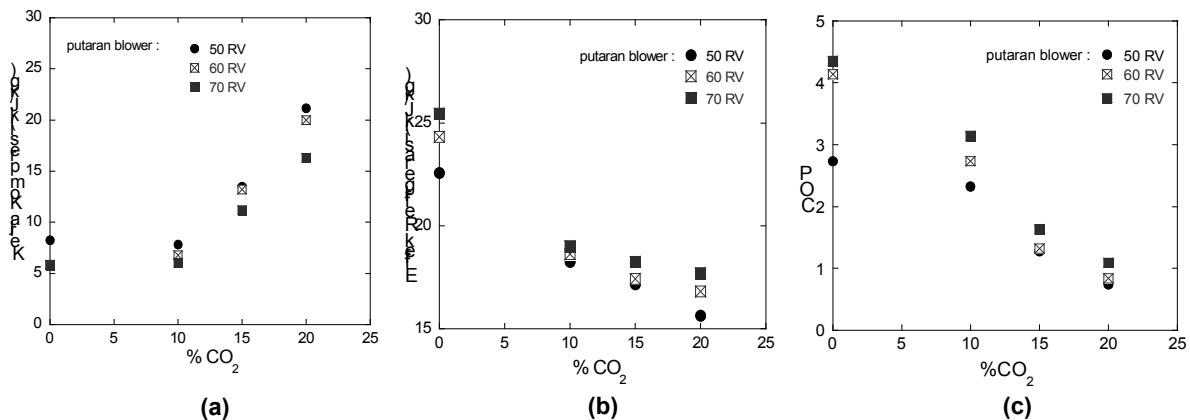
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian tentang pengaruh kadar CO<sub>2</sub> dalam refriferan LPG terhadap unjuk kerja mesin AC *Bench PA Hilton* telah dilakukan. Hasil dari pengamatan ditunjukkan dalam gambar 2 (a), (b), dan (c). Gambar 2 (a) menunjukkan pengaruh kadar CO<sub>2</sub> dalam refriferan LPG terhadap kerja kompresi mesin AC. Dari gambar tersebut tampak bahwa penambahan kadar CO<sub>2</sub> dalam refriferan LPG mengakibatkan kerja kompresi mesin AC semakin meningkat. Peningkatan kerja kompresi yang terjadi nampak sangat signifikan. Pada putaran blower 50 RV, penambahan kadar CO<sub>2</sub> 20% dari massa total refrigeran mengakibatkan peningkatan kerja kompresi hingga 1,5 kali lipat dibanding dengan refrigeran tanpa CO<sub>2</sub> (100% LPG). Pada gambar 2 (a) dapat pula dilihat pengaruh variasi kecepatan aliran udara dan konsentrasi campuran LPG dalam CO<sub>2</sub> terhadap kerja kompresi. Semakin meningkatnya kecepatan aliran udara, maka nilai kerja kompresi yang dihasilkan semakin menurun. Ini dikarenakan semakin meningkatnya kecepatan aliran udara menyebabkan semakin banyak kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator sehingga temperatur dari refrigeran meningkat dan beda entalpi yang terjadi pada kompresor semakin menurun maka kerja kompresi yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur dan tekanan dari refrigeran menurun pula.

Gambar 2 (b) menunjukkan adanya pengaruh kadar CO<sub>2</sub> dalam refrigeran alternatif LPG terhadap efek refrigerasi yang terjadi di evaporator. Dari gambar tersebut tampak bahwa meningkatnya kadar CO<sub>2</sub> dalam LPG mengakibatkan penurunan efek refrigerasi dari mesin AC. Ini berarti telah terjadi penurunan penyerapan panas oleh refrigeran di evaporator akibat adanya penambahan CO<sub>2</sub>. Penambahan CO<sub>2</sub> 10-20% dalam refrigeran LPG mengakibatkan penurunan efek refrigerasi sekitar 22 hingga 24,75%. Efek refrigerasi terbesar yakni 24,455 kJ/kg terjadi ketika menggunakan 100% LPG pada kecepatan blower 70RV, sedangkan nilai terendah terjadi pada

penggunaan perbandingan LPG:CO<sub>2</sub> = 80:20 pada putaran blower 50 RV. Dari Gambar 2 (b) juga dapat diketahui bahwa peningkatan kecepatan udara pada evaporator dapat meningkatkan efek refrigerasi. Peningkatan ini mengindikasikan peningkatan perpindahan panas pada sisi udara akibat peningkatan kecepatan.

Hasil pengamatan juga menunjukkan semakin meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam refrigeran alternatif LPG menyebabkan koefisien prestasi (COP) semakin menurun, hal ini dapat dilihat dalam gambar 2(c). Seperti yang telah dijelaskan di atas, peningkatan kadar CO<sub>2</sub> dalam refrigeran LPG mengakibatkan kerja kompresi yang semakin besar, disisi lain kadar CO<sub>2</sub> juga mengakibatkan menurunnya efek refrigerasi. Sehingga hal ini mengakibatkan koefisien prestasi mesin AC semakin menurun. Dari hasil penelitian menunjukkan penurunan nilai COP yang signifikan. Pada penelitian ini koefisien prestasi tertinggi mesin AC terjadi ketika penggunaan 100% refrigeran LPG, yakni sebesar 4,5353. Ketika digunakan refrigeran dengan konsentrasi 90:10 (%massa LPG:CO<sub>2</sub>) terjadi penurunan nilai COP menjadi 3,141. Sedangkan pada penggunaan refrigeran dengan perbandingan 85:15 dan 80:20 nilai COP yang diperoleh yakni masing-masing 1,6296 dan 1,0876. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan CO<sub>2</sub> tidak memberi dampak yang positif terhadap kinerja mesin AC meskipun dari sisi keamanan mungkin akan lebih baik.



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam refrigeran LPG terhadap unjuk kerja AC PA Hilton ; (a). Kerja kompresi; (b). Efek Refrigerasi; dan (c). COP

#### 4. SIMPULAN

Penelitian tentang pengaruh kadar CO<sub>2</sub> dalam refrigeran alternatif LPG terhadap unjuk kerja mesin AC telah dilakukan. Dari hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : Semakin meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> menyebabkan koefisien prestasi mesin AC semakin menurun. Meningkatnya kadar CO<sub>2</sub> dalam refrigeran LPG menyebabkan kerja kompresor semakin besar. Selain itu meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> juga menyebabkan efek refrigerasi menurun sehingga koefisien prestasi (COP) mesin AC menjadi menurun. Koefisien prestasi tertinggi didapat pada penggunaan LPG 100% yaitu 4,353.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suwono Aryadi, *Experience in Conversion of Various HCFC 22 System to Hydrocarbon*, International Conference, Bangkok, Thailand, 2008.
- [2] Mohanraj M., et.al., *Environment Friendly Alternative to Halogenated Refrigerants-A Review*, [www.elsevier.com/locate/ijggc](http://www.elsevier.com/locate/ijggc), International Journal of Greenhouse Gas Control 3, 108, 2009.
- [3] Fatouh M., M. El Kafafy, *Experimental Evaluation of A Domestic Refrigerator Working With LPG*, Applied Thermal Engineering 26, 1593–1603, 2006.
- [4] Akash, B.A., Salem A. Said, *Assessment of LPG as a Possible Alternative To R-12 in Domestic Refrigerators*, Energy Conversion and Management 44, 381–388, 2003
- [5] Hammad M.A., Alsaad M.A., *The Use of Hydrocarbon Mixtures as Refrigerants in Domestic Refrigerators*, Applied Thermal Engineering 19, 1181-1189, 1999.
- [6] Maclaine-Cross IL, Leonardi E, 1995, *Performance and Safety of LPG Refrigerant*, Proceedings of the 'Fuel of Change' conference of the Australian Liquefied Petroleum Gas Association Ltd, ISBN 0 646 24884 7, Surfers Paradise Queensland , pp 149-168, 28<sup>th</sup> February to 2<sup>nd</sup> March 1995.
- [7] Nurkholis H, Nasrul I, ING Wardana, A. Sabaruddin, *An Experimental Study Of The Flammability Limits Of LPG-CO2-Air Mixtures*, Proceeding Of The 2011 International Symposium On Advanced Engineering, Pukyong, Korea, 2011
- [8] Molnarne Maria, Mizsey Peter, Schroder Volkmar, Flammability of gas mixtures, Part 2 : *Influence of inert gases*. Journal of Hazardous Materials A121, 45–49, 2005.
- [9] Liao, S.Y., Cheng, Q., Jianga, D.M., Gaoa, J., *Experimental Study of Flammability Limits Of Natural Gas–Air Mixture*, Journal of Hazardous Materials B119, 81–84, 2005.