

APLIKASI REFRIGERAN CAMPURAN LPG/CO₂ PADA SISTEM REFRIGERASI KOMPRESI UAP

Nasrul Ilminnafik¹

ABSTRACT

A new binary mixture of R744 and R290 as an alternative natural refrigerant to halocarbon was presented in this paper. Its environmental performance is friendly. It has an ODP of zero and GWP smaller than 20. This work investigates the result of an experimental study carried out to determine the performance of a refrigeration system. Experimental studies for this mixture were performed on machine installation A.C. Bench, P.A. Hilton. Ltd.. Serial No. A573/41154. LPG-CO₂ mixing ratio used was 90:10; 85:15; 80:20% by mass, with the total mass of the mixture of 300 grams.

The results showed that the increase of air velocity at the evaporator with CO₂ concentrations is constant, which is causing the increase on refrigeration capacity. While the addition of CO₂ concentration mixed refrigerant causing decrease on refrigeration capacity. This is due to the increasing CO₂ concentration causes a decrease in enthalpy of the mixture, which causes the refrigeration capacity is also decreased. Increased of air flow velocity at the evaporator at a concentration of CO₂ remains causing compressor work resulting decrease. This is due to an increase in air velocity causing an increase in temperature of the evaporator so that the required compressor work is decrease. Increase of concentration of CO₂ in the mixture causes the compressor work increases because CO₂ has a high-pressure work so that the compression load is increasing and the compressor were employment given compressor is also increasing. Increase of air flow rate causes the coefficient of performance of refrigeration systems is getting increased. While the increase in CO₂ concentrations has led to the decrease of performance coefficient

Keywords: Hydrocarbon refrigerant, LPG, CO₂, coefficient of performance.

PENDAHULUAN

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 butana, memiliki properti yang sangat bagus sebagai refrigeran [3, 4, 5].

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Menurut Mclain-Cross, dkk, penggunaan LPG dapat menghemat energi hingga 10-20% dalam 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 (N₂) dan karbondioksida (CO₂), dapat berfungsi sebagai *inhibitor* dalam reaksi pembakaran. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa gas N₂ dan CO₂ 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 CO₂ memiliki kemampuan sebagai *inhibitor* yang lebih baik dibandingkan dengan N₂, sehingga memiliki potensi untuk digunakan sebagai gas *inhibitor* (pengaman) dalam penggunaan hidrokarbon sebagai refrigeran.

Karbon dioksida merupakan senyawa yang sangat banyak terdapat di alam sehingga mudah diperoleh dan bersifat *non-toxic* sehingga aman untuk digunakan. Dalam sistem refrigerasi, CO₂ juga dapat digunakan sebagai refrigeran anorganik. Akan tetapi, CO₂ sekarang jarang digunakan karena membutuhkan tekanan kompresor yang tinggi yang mengakibatkan daya yang dibutuhkan untuk mengalirkan CO₂ dalam sistem refrigerasi sangat besar. Sehingga, apabila CO₂ 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 CO₂ sebagai *inhibitor* dalam refrigeran alternatif LPG terhadap unjuk kerja *air conditioner*.

TINJAUAN PUSTAKA

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:

$$\begin{aligned} q_e &= \text{efek refrigerasi (kJ/kg)} \\ h_1 &= \text{entalpi setelah evaporator (kJ/kg)} \\ h_4 &= \text{entalpi sebelum evaporator (kJ/kg)} \end{aligned}$$

Menurut Alsaad [10], entalpi refrigeran dalam hal ini merupakan entalpi campuran antara entalpi CO₂ 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:

$$\begin{aligned} h_m &= \text{entalpi campuran (kJ/kg)} \\ i &= \text{komponen ke-}i \\ k &= \text{banyaknya komponen} \\ m f_i &= \text{fraksi massa komponen ke-}i \\ h_i &= \text{entalpi komponen ke-}i \quad (\text{kJ/kg}) \end{aligned}$$

b. Kerja kompresi

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

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

dimana:

- W = kerja kompresi (kJ/kg)
- h_1 = entalpi setelah kompresor (kJ/kg)
- h_4 = 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:

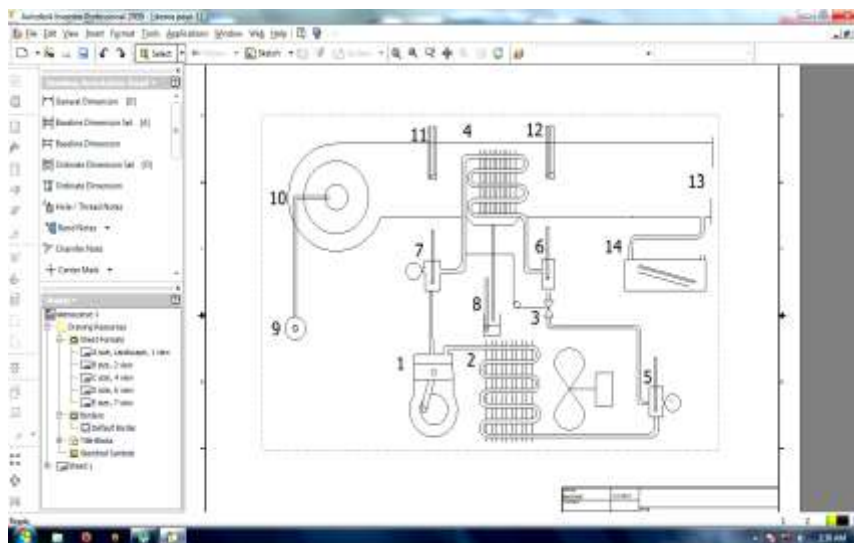
$$\text{COP} = \frac{q_1}{W} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4)$$

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)

METODOLOGI PENELITIAN

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 dalam penelitian ini merupakan campuran antara LPG dan CO₂. Prosentase massa LPG : CO₂ di dalam campuran divariasikan sebagai berikut: 90:10; 85:15; dan 80:20. Massa total refrigeran yang digunakan dalam mesin AC adalah 300 gram.



Keterangan:

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1. Kompresor | 8. Condensate Measurement |
| 2. Kondensor | 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*

Tabel 1 Data udara masuk evaporator

No.	Blower RV	Massa alir udara masuk evaporator (kg/s)	Kecepatan aliran udara (m/s)
1	50	0,1158	1,615
3	60	0,1330	1,853
5	70	0,1365	1,904

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 :

d. 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)

Menurut Alsaad [10], entalpi refrigeran dalam hal ini merupakan entalpi campuran antara entalpi CO₂ 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)

e. Kerja kompresi

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

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

dimana:

- W = kerja kompresi (kJ/kg)
- h_1 = entalpi setelah kompresor (kJ/kg)
- h_4 = entalpi sebelum kompresor (kJ/kg)

f. 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:

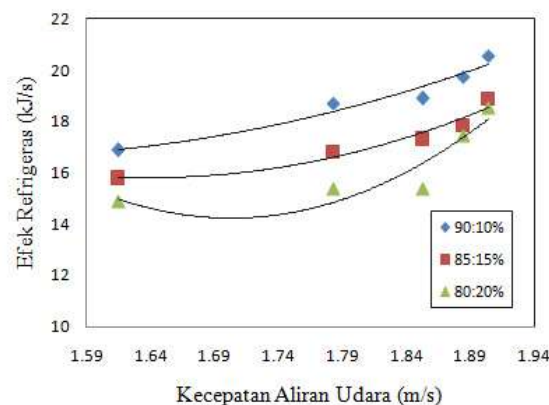
- h_1 = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)
- h_2 = entalpi masuk kondensor (kJ/kg)
- h_3 = entalpi keluar kondensor (kJ/kg)
- h_4 = entalpi masuk evaporator (kJ/kg)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan prestasi kerja dari mesin pendingin yang mencakup kapasitas pendinginan, kerja kompresor dan koefisien prestasi dapat dilihat pada Tabel 2. Data-data pada Tabel 2 kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik pengaruh variasi kecepatan aliran udara terhadap kapasitas pendinginan (q), kerja kompresor (W), dan koefisien prestasi (COP) pada beberapa variasi penambahan CO₂ yaitu 10%, 15%, dan 20%. Grafik tersebut ditunjukkan dalam gambar 2 sampai 4.

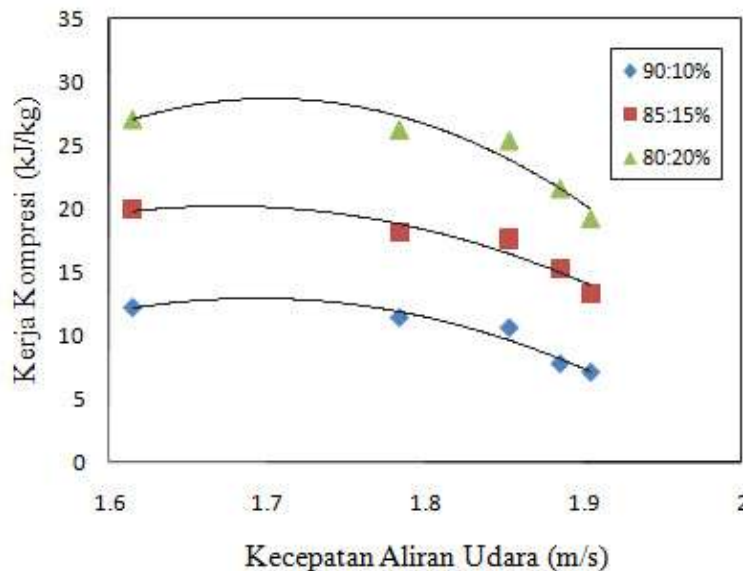
Tabel 2. Hasil Perhitungan Koefisien Prestasi

% Campuran	Kecepatan Aliran Udara (m/detik)	(q (kJ/kg)	W (kJ/kg)	KP
90:10%	1,615	16,883	12,214	1,382
	1,783	18,726	11,417	1,640
	1,853	18,906	10,615	1,781
	1,885	19,759	7,759	2,546
	1,904	20,565	7,088	2,901
85:15%	1,615	15,784	19,988	0,789
	1,783	16,802	18,135	0,927
	1,853	17,313	17,663	0,980
	1,885	17,824	15,274	1,167
	1,904	18,857	13,313	1,416
80:20%	1,615	14,885	27,150	0,548
	1,783	15,396	26,313	0,585
	1,853	15,396	25,459	0,605
	1,885	17,460	21,645	0,807
	1,904	18,530	19,283	0,961



Gambar 2. Grafik Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Udara terhadap Kapasitas Refrigerasi

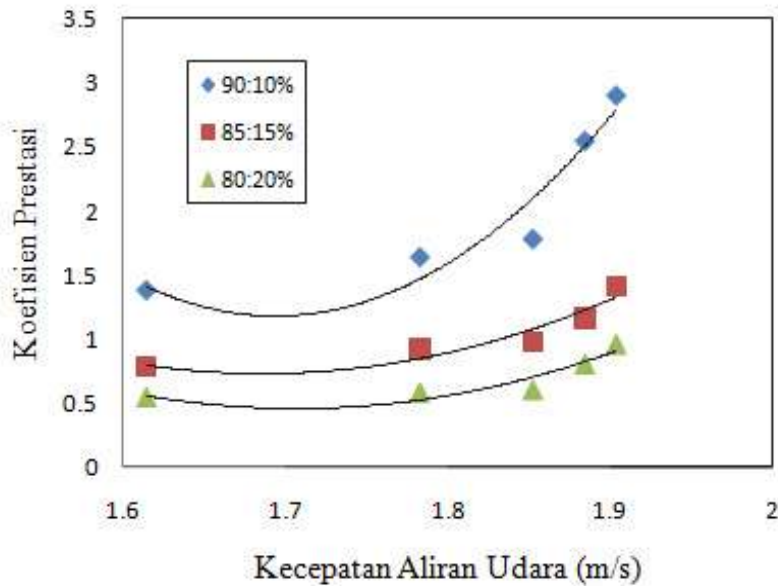
Pada gambar 2 ditunjukkan grafik pengaruh variasi kecepatan aliran udara terhadap kapasitas refrigerasi. Pada gambar tersebut terlihat adanya pengaruh variasi kecepatan aliran udara dan konsentrasi campuran LPG dalam CO₂ terhadap kapasitas refrigerasi yang terjadi pada evaporator. Perubahan yang terjadi bersifat parabolik. Semakin meningkat kecepatan aliran udara pada konsentrasi CO₂ tetap, nilai kapasitas refrigerasi yang dihasilkan juga meningkat. Pada kecepatan aliran udara yang sama, semakin meningkat konsentrasi CO₂ menyebabkan efek refrigerasi semakin menurun. Hal ini disebabkan semakin meningkatnya konsentrasi CO₂ menyebabkan entalpi campuran menurun sesuai dengan persamaan 2. Penurunan entalpi menyebabkan menurunnya nilai efek refrigerasi, sesuai dengan persamaan 1.



Gambar 3 Grafik Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Udara terhadap Kerja Kompresi

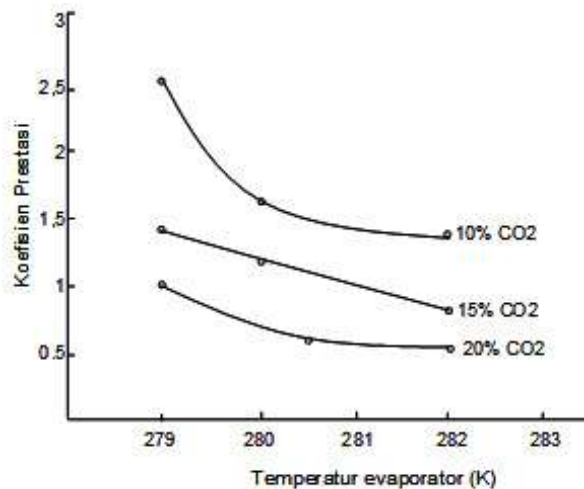
Grafik pengaruh variasi kecepatan aliran udara terhadap kerja kompresi ditunjukkan pada gambar 3. Pada gambar tersebut terlihat pengaruh variasi kecepatan aliran udara dan konsentrasi campuran LPG/ CO₂ terhadap kerja kompresi. Semakin meningkatnya kecepatan aliran udara pada konsentrasi CO₂ tetap, besarnya kerja kompresi yang dihasilkan semakin menurun. Hal ini disebabkan semakin meningkatnya kecepatan aliran udara menyebabkan semakin banyak kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator sehingga temperatur dari refrigeran meningkat menyebabkan kerja kompresi yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur dan tekanan dari refrigeran menurun. Pada kecepatan aliran udara yang sama, peningkatan konsentrasi CO₂ menyebabkan kerja kompresi semakin juga meningkat. Hal ini disebabkan CO₂ memiliki tekanan yang tinggi sehingga peningkatan konsentrasi CO₂ beban kompresi semakin tinggi yang menyebabkan kerja kompresi yang diberikan juga meningkat.

Grafik pengaruh variasi kecepatan aliran udara terhadap koefisien prestasi ditunjukkan pada gambar 4. Pada gambar tersebut terlihat, semakin meningkatnya kecepatan aliran udara pada konsentrasi CO₂ tetap, koefisien prestasi yang dihasilkan juga semakin besar. Adapun peningkatan konsentrasi CO₂ pada kecepatan aliran udara tetap, menyebabkan koefisien prestasi menurun. Sesuai dengan persamaan 4, maka penurunan efek refrigerasi dan peningkatan kerja kompresor menyebabkan koefisien prestasi sistem refrigerasi menurun.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Udara terhadap Koefisien Prestasi

Adapun data hasil perhitungan koefisien prestasi jika ditampilkan dalam bentuk temperatur evaporator versus koefisien prestasi ditunjukkan pada gambar 5. Data ini sesuai dengan data yang dihasilkan oleh Niu (2007), dimana peningkatan temperatur evaporator menyebabkan koefisien prestasi meningkat. Pada temperatur evaporator 209 K, koefisien prestasi mencapai nilai tertinggi kemudian setelah mencapai 209 K, koefisien prestasi mulai menurun.



Gambar 5 Pengaruh temperatur evaporator terhadap koefisien prestasi

KESIMPULAN

Penelitian tentang pengaruh campuran LPG-CO₂ dalam sistem refrigerasi kompresi uap telah dilakukan. Dari hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : Semakin meningkatnya konsentrasi CO₂ menyebabkan koefisien prestasi mesin AC semakin menurun. Meningkatnya kadar CO₂ dalam refrigeran LPG menyebabkan kerja kompresor semakin besar. Selain itu meningkatnya konsentrasi CO₂ juga menyebabkan efek refrigerasi menurun sehingga koefisien prestasi (COP) mesin AC menjadi menurun.

DAFTAR PUSTAKA

1. Suwono Aryadi, *Experience in Conversion of Various HCFC 22 System to Hydrocarbon*, International Conference, Bangkok, Thailand, 2008.
2. Mohanraj M., et.all., *Environment Friendly Alternative to Halogenated Refrigerants-A Review*, 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, 28th February to 2nd 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 (2005) 45–49.
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 (2005) 81–84.
10. Alsaad, MA., MA Hammad, The Application of propane/butane mixture for domestic refrigerator, Applied Thermal Engineering 18 (1998) 911-918