

**(SNTI-E2)**  
**Analisis Refrigeran R-134a, R-600a dan Campuran R-134a + R-600a  
sebagai Pengganti R-12**

**Amiruddin<sup>1)</sup>, Djuanda<sup>2)</sup>, dan Muhsin<sup>3)</sup>**

<sup>1), 2), 3)</sup> Jurusan Teknik Mesin FT-UNM

<sup>1)</sup> [amiruddinmahmud74@gmail.com](mailto:amiruddinmahmud74@gmail.com), <sup>2)</sup> [djuanda89@yahoo.com](mailto:djuanda89@yahoo.com), <sup>3)</sup> [muhsinznl@gmail.com](mailto:muhsinznl@gmail.com)

**ABSTRAK**

Dengan adanya efek buruk dari penggunaan refrigeran R-12, maka muncul inisiatif untuk mengganti refrigeran yang ada pada perangkat sistem refrigerasi tersebut dengan refrigeran yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini mengkaji secara mendalam karakteristik refrigeran pengganti R-12 dengan mengkaji sifat termodinamika, dan karakteristik refrigeran R-134a, R-600a dan campuran refrigeran R-134a + R-600a pada sistem refrigerasi. Jenis riset adalah penelitian pengembangan berupa kajian teoritis dan eksperimental melalui simulasi *software* NIST REFPROP 8.0, masing-masing refrigeran R-134a, R-600a dan campuran (R-134a + R-600a) dengan komposisi (53,20% : 46,80%), (33,85% : 66,15%), (50,79% : 49,21%), (47,83% : 52,17%), (70,45% : 29,55%), (63,64% : 36,36%) dan (50,00% : 50,00%). Maka penelitian ini dapat disimpulkan bahwa campuran refrigeran R-134a + R-600a dapat mengganti refrigeran R-12 berdasarkan kajian termodinamika, hasil simulasi *software* NIST REFPROP 8.0, hasil pengambilan data dan hasil perhitungan pada komposisi (53,20%) : (46,80%) dimana nilai temperatur rata-rata masuk ke evaporator adalah -21,5°C, perbandingan temperatur dengan tekanan vapor refrigerant berada antara ketiga jenis refrigerant tunggal dan nilai rata-rata COP = 2.43

**Kata kunci:** R-12, R-134a, R-600a, Campuran refrigeran, COP

**ABSTRACT**

*With the ill effects of the use of R-12 refrigerant, it appears the initiative to replace existing refrigerants in the refrigeration system device with a more environmentally friendly refrigerant. This study examines in depth the characteristics of R-12 refrigerant replacement to assess the thermodynamic properties, and characteristics of the refrigerant R-134a, R-600A and R-134a refrigerant mixture R-600A + on the refrigeration system. Type of research is the development of research is the study of theoretical and experimental simulation software through NIST REFPROP 8.0, respectively refrigerant R-134a, R-600A and mixtures (R-134a + R-600A) with composition (53.20%: 46.80 %), (33.85%: 66.15%), (50.79%: 49.21%), (47.83%: 52.17%), (70.45%: 29.55%), (63.64%: 36.36%) and (50.00%: 50.00%). So this research can be concluded that the mixture of refrigerant R-134a + R-600A refrigerant can replace R-12 based on thermodynamic studies, the results of simulation software NIST REFPROP 8.0, the results of the data collection and the calculation of the composition (53.20%): (46, 80%) where the value of the average temperature of the evaporator is entered into -21,5oC, comparison of temperature with pressure refrigerant vapor refrigerant is between the three types of single and average value of COP = 2.43.*

**Keywords:** R-12, R-134a, R-600A, refrigerant mixture, COP

**PENDAHULUAN**

Kemajuan peradaban saat ini, tidak lepas dari suatu peran perangkat pendingin udara dan refrigerasi. Seiring dengan itu, terjadi peningkatan temperatur bumi (*Global Warming*) yang menimbulkan tidaknyamanan, terutama pada daerah tropis. Sejak adanya penemuan bahwa lapisan ozon di bumi telah menipis, maka refrigeran yang mengandung *clorofluorocarbon* (CFC) dan *hydroflourocarbon* (HFC) diharapkan untuk tidak digunakan lagi. Refrigeran ini mempunyai efek buruk terhadap lingkungan, yaitu mempunyai nilai ODP (*Ozon Depleting Potential*) yang tinggi.

Teori Roland dan Molina mengenai proses pengikisan lapisan ozon di atmosfer bumi telah melahirkan kontroversi yang berujung dengan disepakatinya Protokol Montreal tahun 1987 mengenai penghentian produksi dan penggunaan fluida kerja gugus *chlorofluorocarbon*. Ini disebabkan karena unsur klor yang dikandung senyawa ini diduga sebagai unsur yang mengakibatkan disosiasi ozon sehingga lapisan ozon yang berguna menahan radiasi sinar ultraviolet dari matahari ke permukaan bumi menjadi menipis.

Selain itu, hal lain yang mendorong penghentian penggunaan dan produksi CFC (R-12) adalah ditandatanganinya Protokol Kyoto tahun 1997 mengenai pemanasan global. Makin meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> serta CFC sebagai akibat emisi dari berbagai proses yang menggunakan senyawa ini, maka efek rumah kaca ini menjadi masalah karena sebagian energi panas yang seharusnya diradiasikan kembali keluar atmosfer bumi menjadi terperangkap. Akibatnya temperatur di dalam lapisan atmosfer bumi menjadi semakin tinggi, membawa berbagai masalah terhadap manusia.

Dengan adanya efek buruk dari penggunaan refrigeran R-12, maka muncul inisiatif untuk mengganti refrigeran yang ada pada perangkat sistem refrigerasi tersebut dengan refrigeran yang lebih ramah lingkungan seperti refrigeran R-134a. Namun sifat *thermophysical* antara R-12 dan R134a sangat mirip. ODP yang dimiliki R-134a sangat rendah dibandingkan dengan R-12 tetapi GWP (*Global Warming Potential*) pada R-134a sangat tinggi (GWP = 1300), dengan alasan ini maka produksi dan penggunaan R-134a akan berakhir dalam waktu dekat ini.

Sementara refrigeran hidrokarbon ramah lingkungan R-600a (isobutana) memiliki nilai ODP = 0 dan GWP = 3, merupakan bahan pendingin jangka panjang pengganti R-12 dan R134a dan memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan bahan pendingin R-12 dan R134a. Namun dalam penggunaannya R-600a (isobutana) harus sesuai standar prosedur operasi, yaitu dengan persyaratan tertentu yang harus dilakukan agar lebih aman dan nyaman. Karena sifatnya yang mudah terbakar (*flammable*), pengelolaan (managemen) dan penggunaan hidrokarbon sebagai refrigeran harus dilakukan dengan lebih hati-hati.

Sebagai refrigeran campuran, isobutana (R-600a) juga telah dicampur dengan berbagai refrigeran lain untuk menghasilkan refrigeran baru. Sebagai contoh campuran antara propana, iso-butana dan butana dipakai untuk sistem pendingin pada mobil untuk menggantikan R-134a (Wongwises, 2006), serta campuran antara propana dan iso-butana untuk menggantikan refrigeran R-22 pada sistem pompa kalor (Chang, 2000). Namun isobutana (R-600a) sebagai pengganti R-12 masih perlu dikembangkan untuk menghasilkan refrigeran baru. Sehingga penelitian ini mengkaji secara mendalam karakteristik refrigeran pengganti R-12 dengan mengkaji sifat termodinamika, dan karakteristik refrigeran R-134a, R-600a dan campuran refrigeran R-134a + R-600a pada sistem refrigerasi.

**TINJAUAN PUSTAKA**

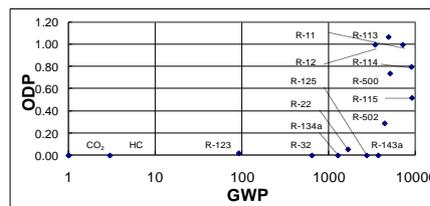
Penggunaan *refrigerant syntetic* tersebut pada umumnya mempunyai sifat-sifat yang sangat baik dari segi teknik seperti kestabilan yang sangat tinggi, tidak mudah terbakar, tidak beracun dan mudah diperoleh. Namun disamping sifat-sifat yang baik itu *refrigerant syntetic* terutama yang mengandung senyawa CFC seperti R-11 dan R-12 mempunyai efek negatif terhadap lingkungan seperti merusak lapisan ozon (ODP) dan menimbulkan pemanasan global (GWP).

Pemakaian refrigeran isobutana saat ini lebih banyak ditujukan untuk sistem pendingin skala kecil (Palm, 2007). Sedangkan penggunaan refrigeran dari jenis hidrokarbon pada sistem pompa kalor lebih banyak menggunakan propana (R-290). Lee (2001) menggunakan refrigeran isobutana (R-600a) pada sistem refrigerasi. Hasil pengujian menunjukkan *Coefficient of Performance* (COP) sistem terletak antara 1,2 – 4,5 untuk aplikasi *cold storage*, serta antara 0,8 – 3,5 untuk aplikasi *freezer*, yang sebanding dengan COP sistem bila menggunakan refrigeran R-12 dan R-22.

Pemakaian hidrokarbon dengan isu hemat energi dan ramah lingkungan masih belum bisa diterima secara luas seperti pemakaian freon sebagai refrigeran. Hal ini disebabkan oleh kekhawatiran masyarakat akan sifat hidrokarbon yang bisa terbakar. Rahman. M. M. and Rahman H. Y. (2012:11976) menjelaskan bahwa selama 15 tahun terakhir sejumlah hidrokarbon dan campuran hidrokarbon (*hydrocarbon blends*) telah digunakan secara komersial sebagai refrigeran. Hidrokarbon yang sebelumnya telah digunakan sebagai pendingin, dan dengan meningkatnya kesadaran dampak lingkungan, maka kembali menjadi isu terkini, beberapa negara Eropa menggunakan HC (hidrokarbon) refrigeran dalam lemari es.

Mohd. Aasim Nazeer Ahmad Quraishi, dan U. S.Wankhede (2013:250) menyajikan studi refrigeran ramah lingkungan hidrokarbon atau HFC. Hidrokarbon (HC) memiliki nol ODP dan GWP sangat rendah sedangkan HFC memiliki nol ODP tapi GWP cukup tinggi. Hampir dalam semua kasus, ketika R-134a diganti dengan HC, maka COP sistem membaik, dan konsumsi energi berkurang.

Keunggulan refrigeran isobutana (R-600a) dan refrigeran lain dari jenis hidrokarbon adalah nilai ODP dan GWP yang bernilai sangat rendah, seperti terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Kriteria pemilihan refrigeran jangka panjang

Somchai Wongwises, dkk, (2004) melakukan eksperimen unjuk kerja campuran propane, butane dan isobutane pada refrigerator yang menggunakan R-134a. Tiga jenis campuran hidrokarbon yaitu: campuran propane, butane dan isobutane, campuran 2 hidrokarbon dan campuran 2 hidrokarbon dengan R-134a. Dengan mengambil data hubungan antara tekanan saturasi dan temperatur hasil campuran refrigeran. Dan Kadam Sanjay V., Sutar S.S., (2012) juga melakukan penelitian dan menarik kesimpulan refrigeran R-134a adalah refrigeran alternatif pengganti R-12 dan R-134a dapat digunakan pada sistem kerja R-12.

Refrigeran merupakan zat yang bersirkulasi secara terus-menerus melewati komponen utama. Refrigeran tidak akan berkurang jika tidak terjadi kebocoran pada sistem. Saat melewati komponen utama, refrigeran akan mengalami perubahan wujud, temperatur dan tekanan. Sirkulasi refrigeran dalam unit refrigerasi disebut siklus refrigerasi kompresi uap. Koefisien Prestasi (COP) didefinisi sebagai perbandingan laju kalor yang dikeluarkan dengan laju energi yang harus dimasukkan ke sistem.

$$COP_R = \frac{\text{output yang diinginkan}}{\text{input yang dibutuhkan}} = \frac{Q_E}{W_{\text{net,in}}} = \frac{Q_E}{Q_C - Q_E} = \frac{1}{\frac{Q_C}{Q_E} - 1} \dots\dots (1)$$

Untuk keperluan mesin refrigerasi maka refrigeran harus memenuhi persyaratan tertentu agar diperoleh performa mesin refrigerasi yang efisien. Hidrokarbon kembali diperhitungkan sebagai alternatif pengganti CFC (R-12), setelah aspek lingkungan mengemuka dan sulitnya perlakuan R-134a sebagai pengganti R-12 serta masih memiliki dampak GWP, bahkan *Greenpeace* suatu LSM di Jerman yang sebelumnya gencar mendorong peralihan R-12 ke R-134a, kemudian beralih mempromosikan penggunaan hidrokarbon sebagai refrigeran.

Tujuan umum dari penelitian ini adalah mensimulasi kedua refrigeran R-134a dan R600a sebagai pengganti refrigeran R-12 sehingga cocok diterapkan pada sistem refrigerasi yang akan digantikan dengan mempertimbangkan nilai ODP, GWP dan COP. Di dalam riset ini, dikembangkan refrigeran campuran (R-134a + R-600a) pengganti R-12 dengan melakukan simulasi menggunakan software NIST REFPROP 8.0. untuk studi termodinamika refrigeran dan pengujian COP refrigeran pada sistem refrigerasi.

**METODE PENELITIAN**

Jenis riset yang dilakukan adalah penelitian pengembangan berupa kajian teoritis, eksperimental, dan simulasi *software*. Penelitian ini akan dilaksanakan mengikuti alur sistematika penelitian dengan kajian teoritis seperti studi pustaka sifat termodinamika (temperatur dan tekanan jenuh refrigeran) masing-masing refrigeran R-134a, R-600a dan campuran (R-134a + R-600a) dengan melakukan simulasi menggunakan *software* NIST REFPROP 8.0. Desain alat uji unjuk kerja sistem refrigerasi akan disesuaikan untuk skala laboratorium. Spesifikasi umum alat dibutuhkan untuk menentukan kebutuhan COP masing-masing refrigeran R-134a, R-600a dan campuran (R-134a + R-600a) dengan komposisi (53,20% : 46,80%), (33,85% : 66,15%), (50,79% : 49,21%), (47,83% : 52,17%), (70,45% : 29,55%), (63,64% : 36,36%) dan (50,00% : 50,00%).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**1.1. Hasil**

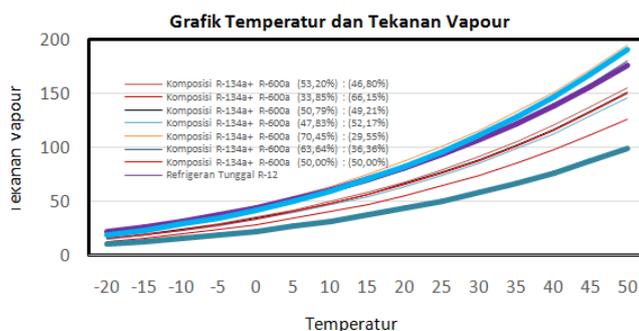
Berdasarkan sistematika penelitian, kajian teoritis seperti studi pustaka sifat termodinamika (temperatur dan tekanan jenuh refrigeran) masing-masing refrigeran R-12, R-134a dan R-600a serta campuran R-134a+R-600a menggunakan *software* NIST REFPROP 8.0 sebagai berikut :

**Tabel 1.** Perbandingan Temperatur dengan Tekanan Vapor Refrigeran R-12, R134a, R-600a dan Campuran R-134a + R-600a

Temp	Refrigeran Campuran Komposisi R-134a+ R-600a							Refrigeran Tunggal		
	(53,20%) : (46,80%)	(33,85%) : (66,15%)	(50,79%) : (49,21%)	(47,83%) : (52,17%)	(70,45%) : (29,55%)	(63,64%) : (36,36%)	(50,00%) : (50,00%)	R-12	R-134a	R-600a
-20	16.526	13.341	16.052	15.46	21.751	19.498	15.849	21.86	19.25	10.44
-15	20.282	16.387	19.704	18.98	26.595	23.891	19.455	26.44	23.78	12.84
-10	24.673	19.953	23.975	23.10	32.232	29.018	23.674	31.73	29.1	15.65
-5	29.772	24.095	28.934	27.89	38.745	34.958	28.573	37.79	35.29	18.92
0	35.651	28.875	34.653	33.40	46.22	41.794	34.223	44.69	42.47	22.69
5	42.388	34.354	41.208	39.73	54.744	49.612	40.699	52.51	50.71	27.01
10	50.064	40.599	48.677	46.94	64.41	58.503	48.079	61.3	60.13	31.93
15	58.761	47.678	57.142	55.11	75.311	68.558	56.443	71.16	70.83	37.5
20	68.569	55.662	66.689	64.32	87.546	79.875	65.876	82.15	82.92	43.77
25	79.579	64.623	77.407	74.67	101.22	92.554	76.467	94.36	96.51	50.8
30	91.886	74.639	89.389	86.24	116.43	106.7	88.308	107.9	111.7	58.64
35	105.59	85.789	102.73	99.12	133.3	122.43	101.49	122.7	128.6	67.35
40	120.8	98.155	117.54	113.42	151.94	139.84	116.13	139.1	147.4	76.98
45	137.62	111.82	133.93	129.24	172.47	159.08	132.32	156.9	168.2	87.6
50	156.19	126.89	152	146.69	195.03	180.26	150.18	176.5	191.1	99.25

**Tabel 2.** Perbandingan COP antara R-12, R134a, R-600a dan Campuran R-134a + R-600a

No.	Coefficient of Performance (COP) Rata-rata								
	Refrigeran Campuran Komposisi R-134a+ R-600a							Refrigeran Tunggal	
	(53,20%) : (46,80%)	(33,85%) : (66,15%)	(50,79%) : (49,21%)	(47,83%) : (52,17%)	(70,45%) : (29,55%)	(63,64%) : (36,36%)	(50,00%) : (50,00%)	R-134a	R-600a
1	2.43	2.35	2.3	1.47	2.18	1.802	2.03	2.38	1.86



**Gambar 2.** Perbandingan Temperatur dengan Tekanan Vapor Refrigeran R-12, R134a, R-600a dan Campuran R-134a + R-600a (50 : 50)

### Pembahasan

Berdasarkan hasil pengamatan, simulasi *software* NIST REFPROP 8.0 dan Hasil perhitungan masing-masing refrigeran R-12, R-134a dan R-600a serta campuran R-134a + R-600a dapat dilihat pada gambar 2 Perbandingan Temperatur dengan Tekanan Vapor Refrigeran yang menunjukkan bahwa campuran R-134a + R-600a dapat mengganti refrigeran R-12.

#### a) Analisis Sifat Termodinamika Refrigeran Campuran R-134a + R-600a

Penelitian menghasilkan beberapa campuran refrigeran R-134a + R-600a yang masing-masing menunjukkan sifat termodinamika refrigeran campuran R-134a + R-600a berdasarkan temperatur rata-rata masuk ke evaporator yaitu ; 1) komposisi (53,20%) : (46,80%) =  $-21,5^{\circ}\text{C}$ , 2) komposisi (33,85%) : (66,15%) =  $-10,9^{\circ}\text{C}$ , 3) komposisi (50,79%) : (49,21%) =  $-16,2^{\circ}\text{C}$ , 4) komposisi (47,83%) : (52,17%) =  $-16,6^{\circ}\text{C}$ , 5) komposisi (70,45%) : (29,55%) =  $-20,4^{\circ}\text{C}$ , 6) komposisi (63,64%) : (36,36%) =  $-20,6^{\circ}\text{C}$ , dan 7) komposisi (50,00%) : (50,00%) =  $-14,1^{\circ}\text{C}$ . sehingga komposisi (53,20%) : (46,80%), (70,45%) : (29,55%) dan (63,64%) : (36,36%) menunjukkan temperatur yang cukup baik untuk masuk ke evaporator. Sementara komposisi yang menunjukkan penggunaan arus listrik yang baik adalah komposisi (50,00%) : (50,00%) = 0,68A, (70,45%) : (29,55%) = 0,70A dan (53,20%) : (46,80%) = 0,704A.

#### b) Analisis Perbandingan Temperatur dengan Tekanan Vapor Refrigeran

Berdasarkan pada perbandingan temperatur dengan tekanan vapor refrigeran antara R-12, R-134a dan R-600a (gambar 2) menunjukkan bahwa 1) komposisi (53,20%) : (46,80%), 2) komposisi (50,79%) : (49,21%), 3) komposisi (47,83%) : (52,17%), dan 3) komposisi (50,00%) : (50,00%). Jika melihat dari temperatur dengan tekanan vapor refrigeran antara R-12 dan R-134a maka komposisi yang baik adalah komposisi (63,64%) : (36,36%).

#### c) Analisis Nilai COP

Berdasarkan hasil perhitungan COP, menunjukkan bahwa campuran yang dapat mengganti refrigeran R-12 adalah komposisi (53,20%) : (46,80%) = 2.43, (33,85%) : (66,15%) = 2.35 dan (50,79%) : (49,21%) = 2.30. COP yang paling buruk adalah komposisi (47,83%) : (52,17%) = 1.47 dan komposisi (63,64%) : (36,36%) = 1.80

Meskipun refrigeran dapat menjadi zat yang tunggal, juga dapat dicampur dari dua atau lebih zat refrigeran, dan ini biasanya disebut sebagai "*blends*". Refrigeran campuran telah diformulasikan untuk memberikan pertandingan sifat dan karakteristik refrigeran yang semula digunakan.

### Kesimpulan

#### 1.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa campuran refrigeran R-134a + R-600a dapat mengganti refrigeran R-12 berdasarkan kajian termodinamika, hasil simulasi *software* NIST REFPROP 8.0, hasil pengambilan data dan hasil perhitungan pada komposisi (53,20%) : (46,80%) dimana nilai temperatur rata-rata masuk ke evaporator adalah  $-21,5^{\circ}\text{C}$ , perbandingan temperatur dengan tekanan vapor refrigerant berada antara ketiga jenis refrigerant tunggal dan nilai rata-rata COP = 2.43

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aasim N. A. Q. And Wankhede U. S. 2013. *Use of Hydrocarbons and Other Blends as Refrigerant*. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) www.ijmer.com Vol.3, Issue.1, pp-250-253 ISSN: 2249-6645.
- [2] Abhishek Tiwari et al. 2011. *Experimental Study of R-404a and R-134a in Domestic Refrigerator*. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), p. 6390-6393.
- [3] Alhamid. M. I. Et al, 2013. *Characteristics and COP Cascade Refrigeration System Using Hydrocarbon Refrigerant (Propane, Ethane and CO<sub>2</sub>) at Low Temperature Circuit (LTC)*, International Journal of Technology Vol. 2 p. 112-120.
- [4] Austin. N. At. El. 2013. *Experimental Study of HC Mixtures to Replace R-134a in a Domestic Refrigerator with Testing and Training of ANN*. Indian Journal of Applied Research, Volume : 3 Issue : 4, ISSN - 2249-555X. P. 163-167.
- [5] Chang, Y.S, Kim, M.S., Ro, S.T., 2000, *Performance and Heat Transfer Characteristics of Hydrocarbons Refrigerants in a heat Pump Sistem*, International Journal of Refrigeration 23, pp 232 – 242.

- [6] El-Awad. M.M. 2011. *Validation of a Computerised Analytical Model for Evaluating Natural Hydrocarbon Mixtures as Alternative Refrigerants*. Journal of Sustainable Energy & Environment, p. 175-177.
- [7] Granryd,E., 2001, *Hydrocarbons as Refrigerants – an Overview*, International Journal of Refrigeration 24, pp 15 -24.
- [8] Lee, Y.S, Su,C.C., 2001, *Experimental Studies of Isobutane (R600a) as the Refrigerant in the Domestic Refrigeration System*, Applied Thermal Energy 22 pp 507-519.
- [9] Palm, B.,2007, *Hydrocarbons as Refrigerants in small Heat Pump and Refrigeration Systems*, International Journal of Refrigeration, Article In Press.
- [10] Rahman. M. M. and Rahman H. Y. 2012. *Hydrocarbon as refrigerant for domestic air conditioner: a comparative study between R22 and R290*. Elixir International Journal. ISSN 2229-721x. P. 11976-11979.
- [11] Wongwises, S., Chimres, N., 2004, *Experimental study of hydrocarbon mixtures to replace HFC-134a in a domestic refrigerator*, Energy Conversion and Management 46 pp 85 – 100.
- [12] Wongwises, S., Kamboon, A., Orachon, B., 2006, *Experimental Investigation of Hydrocarbon Mixture to Replace HFC-134a in an Automotive Air Conditioning Systems*, Energy Conversion and Management 47 pp 1644 – 1659.