

REFRIGERAN HYDROKARBON UNTUK PENDINGINAN UDARA PADA MOBIL

Marsudi, Sjarifah Salmah
Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Nasional – Jakarta
Jl. Sawo Manila, Pasar Minggu, Jakarta 12420, Telp. (021) 7891753

Abstract

The world needs car air conditioning and hydrocarbon (HC) refrigerant 290/600a avoids stratospheric – ozone deflection and a typical 15% increase in TEWI – from R 134a leakage and service emissions. Measurement suggest that R 290/600a (55/45) matches the performance of R 134a best if ethane impurity is below 0,5%. Batches of HC replacement for R 12, R 134a, R 22 and R 502 can be manufactured from natural butane and propane by pumping ethane rich vapour off the propane before mixing in the system. From the replacement for R12, R134a, R22 and R502 in car air conditioning can be reduced fuel consumption are about 5% up to 10%.

Keywords : motor car, air conditioning, refrigerant hydrocarbon

I. PENDAHULUAN

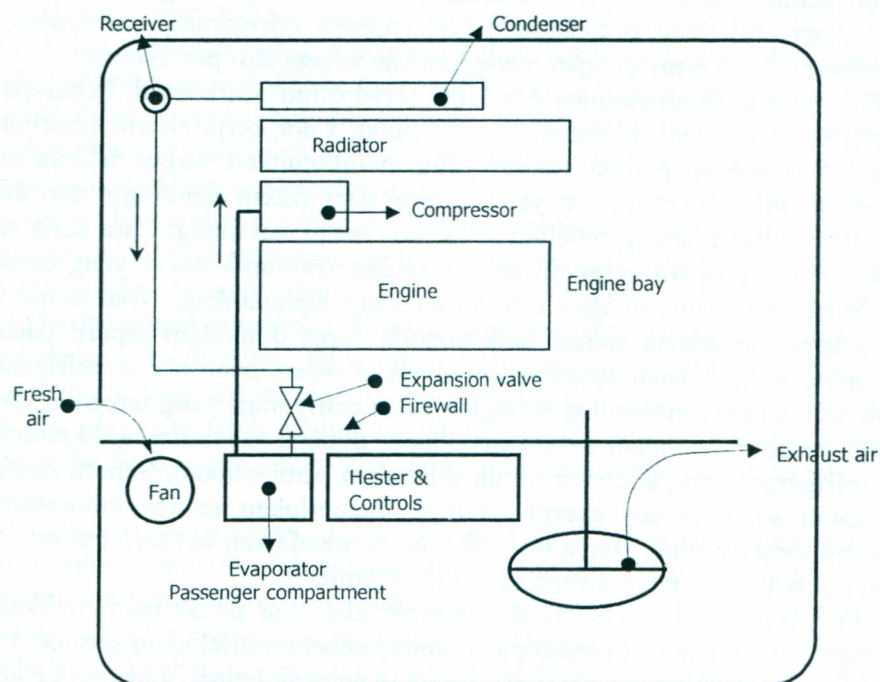
Pada umumnya penumpang-penumpang pada mobil-mobil yang modern memiliki penyekat untuk mengurangi bunyi yang berasal dari luar kabin, enersi panas yang kecil dan kira-kira 3 m² lapisan udara luar yang berasal dari radiasi matahari secara langsung maupun tidak langsung masuk ke dalam pendinginan mobil/cabin mobil. Melalui penutupan dan pembukaan pintu-pintu dan jendela-jendela kabin mobil biasanya memiliki penyekat yang baik, kecuali untuk dua ventilasi udara pada ketinggian yang sama, melalui ventilasi udara dalam keadaan tertutup dan kondisi udara dengan tekanan rendah dengan jumlah udara yang masuk tidak kurang dari 1 l/sec, kecuali dipasang damper udara segar (Maclaine – Cross 1997). Temperatur pada kabin mobil bisa jadi naik sekitar 20 derajat Kelvin diatas udara luar. Melalui pergerakan ventilasi udara bagian depan, udara yang masuk dibatasi pada temperatur 10 derajat Kelvin kecuali menggunakan alat bantu ukur untuk menghindari tekanan panas dan kesalahan-kesalahan pengemudi adalah penting dalam keadaan udara panas. Kesalahan-kesalahan yang biasa dilakukan adalah mengendarai mobil dengan semua jendela-jendela mobil dalam keadaan terbuka. Untuk meningkatkan koefisien kebocoran sebesar 0,1 pada kecepatan 72 km/jam diperlukan penambahan daya out put pada poros engkol mesin sebesar 1,4 KW.

Suatu pendinginan udara pada mobil dengan type jendela-jendela mobil dalam keadaan tertutup akan meningkatkan daya pada poros engkol sebesar 1 kw pada kecepatan rata-rata 72 km/jam. Dalam kondisi cuaca/udara panas mobil berjalan dengan kecepatan tinggi, pendinginan udara pada mobil biasanya akan mengurangi konsumsi bahan bakar secara keseluruhan. Komponen-komponen pemanas (heater) dari suatu pendingin udara pada mobil biasanya dibutuhkan sebagai regulasi keamanan. Komponen-komponen pendingin dari pendinginan udara pada mobil akan meningkatkan pemakaian bahan bakar sebesar 3% untuk kendaraan yang digunakan untuk angkutan umum dari porsi kecepatan jalannya kendaraan,

dan dari gesekan perputaran mesin sekitar 2%. Selama dalam perjalanan temperatur pendinginan pada pendinginan udara di mobil akan meningkatkan pemakaian bahan bakar. Pendinginan udara pada mobil adalah merupakan kebutuhan akan kenyamanan bagi penumpang yang berjalan pada udara panas dan biasanya akan mengurangi pemakaian bahan bakar pada kendaraan tersebut.

II. EMISI REFRIGERAN PADA MOBIL

Pendinginan udara pada mobil menggunakan siklus Rankine yang sederhana. Penggunaan komponen-komponen, refrigerant dan aliran udara dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini :



Gambar 1. Skematik Pendingin Udara pada Mobil dengan komponen-komponennya

Suatu kompresor yang dipasang pada mesin yang memiliki sistem terbuka agar perpindahan daya dapat efisien dan pipa-pipa refrigerant yang flexibel akan dapat mengurangi getaran-getaran mesin yang terjadi. Katup ekspansi yang permanen dibagi dalam dua aliran yaitu aliran refrigerant tekanan rendah dan aliran refrigerant tekanan tinggi, sehingga refrigerant dapat dengan mudah dipindahkan, udara mudah dikeluarkan dan alat ukur tekanan mudah dibaca. Alat refrigerasi rumah tangga mempunyai kebocoran tidak kurang dari 0.001lt/tahun cairan dikarenakan sistem penyekat motor penggerak berada didalam jaringan. Sistem terbuka motor penggerak, pipa-pipa refrigerant, dan katup ekspansi pada kendaraan/mobil memiliki kebocoran secara keseluruhan sekitar 0,1-1,0 lt/tahun cairan refrigerant. Perbaikan-perbaikan biasa dilakukan apabila kebocoran tidak melebihi 0,4 lt/tahun. Tabung pendingin udara pada mobil berisi sampai dengan 0,5 liter cairan refrigerant

yang diperbolehkan melakukan operasi secara terus menerus selama beberapa tahun, kecuali ada kebocoran didalam sistem pendinginan. Pengisian penuh pada tabung pendingin udara pada mobil berkisar antara 0,4-1,0 liter cairan refrigerant. Terbuangnya refrigerant ke udara luar akan menambah jumlah kebocoran sehingga dengan mudah menghitung besar emisi rata-rata. Terbuangnya refrigerant dapat terjadi selama proses manufaktur, pada saat pengapalan atau saat dilakukan service mesin pendingin udara. Terbuangnya refrigerant selama proses manufaktur, selama pengangkutan dan selama pengapalan bisa saja terjadi, hal itu tergantung pada prosedur-service yang dilakukan. Terbuangnya refrigerant dikarenakan service dapat menimbulkan kebocoran, hal itu tergantung pada prosedur pengisian refrigerant, tenaga ahli yang melakukan saat pengisian refrigerant dan usaha-usaha lainnya. Prosedur-prosedur utama sistem service pendingin udara terdiri dari tiga bagian yaitu service berat, service sedang, dan service ringan. Terbuangnya refrigerant dari sistem service berat adalah sekitar 10 ml cairan refrigerant per-service dengan menggunakan tenaga ahli yang tidak profesional. Terbuangnya refrigerant dari sistem service sedang adalah tidak kurang dari 10 ml dengan menggunakan tenaga ahli yang profesional. Terbuangnya refrigerant dari sistem service ringan adalah sekitar 0,3 – 0,6 ml dengan menggunakan tenaga ahli profesional.

Untuk CFC (Chlorofluorocarbon) dan HFC (Hydrofluorocarbon) di beberapa negara berkembang banyak menggunakan sistem service berat. Cara kerja sistem tersebut adalah dengan menggunakan sebuah pompa vakum yang membutuhkan waktu selama 30 menit untuk memindahkan seluruh refrigerant yang berasal dari sistem pendingin dan kemudian ditampung ke dalam sebuah tabung sebelum dilakukan pengisian ulang. Cara kerja semacam ini akan memindahkan sebagian besar oli pelumas dan kotoran-kotoran yang berada pada sistem pendingin bersama-sama dengan refrigerant yang dipindahkan. Nilai komersial dari refrigerant yang tercemar adalah sangat baik apabila dapat dilakukan seperti pada sistem tersebut. Keuntungan yang didapat dengan menggunakan sistem pemindahan refrigerant yang tercemar adalah dengan cara menyuling sebagian besar refrigerant yang tercemar, kemudian menggunakannya kembali ke dalam sistem pendingin, dimana sebelumnya dikembalikan ke dalam silinder refrigerant yang tercemar untuk dilakukan pembersihan. Seperti destilasi dan pembersihan adalah suatu proses energi intensif, memerlukan tenaga laboratorium dan dengan harga yang sangat mahal. Biaya investasi untuk melakukan hal tersebut masih belum layak dilakukan untuk banyak negara yang sedang berkembang.

Pendinginan udara pada mobil tidak memiliki alat ukur untuk menunjukkan berapa banyak sisa refrigerant yang masih tersisa pada tabung sebelum dilakukan service. Prosedur-prosedur pengisian ulang refrigerant yang biasa dilakukan akan keluar sebagian ke udara luar dan kemudian akan dilakukan pengisian ulang refrigerant kembali. Emisi total diakibatkan kebocoran kecil pada saat pengisian ulang refrigerant dapat teratasi dengan meningkatkan tekanan. Dengan melalui konservasi masa, hal ini akan memperoleh hasil yang sama pada saat penambahan tekanan di awal pengisian ulang refrigerant. Emisi total tahunan dengan cara pengisian ulang refrigerant serta penambahan refrigerant dapat dilakukan dua kali setiap tahunnya. Tingkat kebocoran rata-rata dengan pengisian ulang refrigerant tidak mempengaruhi total emisi rata-rata. Di seluruh dunia hal ini yang paling umum dilakukan.

III. DAMPAK TERHADAP LINGKUNGAN SEKITAR

Dampak-dampak lingkungan dikarenakan pengisian ulang refrigerant terhadap pengisian udara pada mobil dapat mudah terbentuk. Seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1 : Perbandingan carbon dioksida terhadap emisi pendinginan udara pada mobil.

Refrigerant	R12	R134a	R290//600a
ODP (R11 ODP=1)	0.82	0.00	0.00
GWP (100 year)	8500	1300	3
Liquid density (kg/m ³)	1300	1206	523
Emissions (g/year)	520	482	290
CO2 equiv. (kg/year)	4420	627	0.6
Ratio to fuei CO ₂ (%)	102.8	14.6	0.0

Perbandingan-perbandingan pemakaian refrigerant untuk mobil dengan menggunakan 200 lt/tahun bahan bakar, akan menambah pengisian sebesar 0,8 lt cairan refrigerant dan pengisian ulang refrigerant dapat dilakukan setiap dua (2) tahun sekali. Anggapan-anggapan semacam itu merupakan ketentuan yang berlaku umum, belum ada ketentuan-ketentuan yang pasti. Dari satu liter bahan bakar yang terbakar akan mengeluarkan 2,15 kg karbondioksida sehingga untuk konsumsi bahan bakar selama setahun akan mengedarkan sebanyak 4300 kg karbondioksida. Jadi emisi cairan refrigerant total per tahun adalah sebesar $0,8/2 = 0,40$ lt/tahun emisi yang ditimbulkan oleh refrigerant seperti terlihat pada Tabel 1. Aisbett dan Pham (1998) telah melakukan penelitian terhadap dampak-dampak lingkungan sekitarnya pada pendinginan-pendinginan udara pada mobil di dua belas (12) negara-negara yang sedang berkembang dengan jumlah separuh penduduk dunia. Mereka telah mempertimbangkan tiga percobaan untuk pergantian terhadap CFC – 12 yang dimulai dari tahun 1985 sampai dengan tahun 2020. Dua percobaan mereka adalah pergantian dengan HFC – 134a dan empat percobaan lainnya adalah pergantian dengan Hydrokarbon (HC) yang dicampur dengan R 290/600a. Pada tahun 2020, percobaan HFC menghasilkan panas total terhadap dampak lingkungan sebesar 286 juta Mg/tahun lebih besar dari pada percobaan terhadap HC. Hal yang lebih penting adalah harga dari pada HFC adalah sebesar 3,5 milyar dollar Amerika Serikat per tahun lebih besar dari pada harga HC pada tahun-tahun terakhir ini.

Pengukuran-pengukuran dilakukan di Kota Cape Grim, Tasmania menunjukkan bahwa konsentrasi atmosfer global dari defleksi ozon refrigerant terdapat adanya peningkatan dan penggantian-penggantian fluorocarbon meningkat secara eksponensial (Fraser 1997-1998). Kontribusi terbesar untuk negara-negara tersebut adalah diawali dengan pembebasan dari pembatasan-pembatasan perjanjian Montreal Protocol. Pada tahun 1998 harga R12 di India hanya sebesar 1,5 dollar Amerika per-kg nya, sedangkan R12 di Indonesia sebesar 3 dollar Amerika per-kg. Pada tahun 1998 harga R134 a yang masih digunakan di Indonesia sebesar 4 dollar Amerika per-kg.

IV. GAS ASAP PHOTOCHEMICAL DAN OZON

Pembuangan gas asap dari kendaraan yang menggunakan refrigerant HC mengandung sedikit carbon monoksida, HCs dan Oksida Nitrogen. HCs dapat terjadi dari penguapan tangki bahan bakar dan sistem suplai bahan bakar. Apabila sinar matahari menyentuh udara dengan konsentrasi yang tinggi terhadap nitrogen dioksida dan HCs, maka lapisan ozon terbentuk sebagai hasil oksidasi dalam nitrasi HC (Carter 1994). Reaksi-reaksi ini terjadi dari HCs yang ringan maupun yang berat dan halon-halon seperti HFCs dan HCFCs (Derwent et. al). Konsentrasi-konsentrasi dari ozon menurun setelah matahari terbenam dan kemudian HCs menjadi oksida atau oksida nitrogen menjadi nitrat

Untuk halon yang berat dan reaksi-reaksi HC seperti bahan bakar cair, tekanan penguapan yang dihasilkan mempunyai kondensasi yang cukup rendah untuk menjadi kabut, yang disebut gas asap. Refrigerant halon dan HCs adalah ringan sehingga tekanan uapnya terlalu tinggi untuk terkondensasi menjadi gas asap (Avallone dan Baumcister 1986).

Johnson dan Derwent (1996) menemukan bahwa emisi dari refrigerant HCs dapat mengurangi ozon tropospheric secara keseluruhan. Apabila terdapat udara atau sinar matahari atau kendaraan-kendaraan di jalan maka emisi yang berasal dari refrigerant HC dapat mengurangi ozon pada kota-kota besar. Untuk refrigerant HC pada pendinginan udara di mobil akan meningkatkan lapisan ozon selama beberapa waktu tertentu, emisi rata-ratanya akan meningkat lebih besar dibandingkan pada saat penyimpanan emisi-emisi pembuangan gas asap HC.

Beberapa pendinginan udara pada mobil yang menggunakan HC akan terjadi kebocoran sebesar 200 gr/th atau 6,34 mg/det. Apabila kecepatan rata-rata dari mobil sebesar 20 km/jam maka akan terjadi kebocoran sebesar 1,14 mg/km. Maclaine – Cross dan Leonardi (1996) menemukan bahwa penghematan rata-rata dari pemakaian R12 diganti dengan pemakaian Refrigerant HC adalah sebesar 1,3%. Emisi gas buang untuk pemakaian refrigerant HC sebesar 100 mg/km masih dikategorikan batas yang umum untuk pemakaian mobil-mobil baru menurut standar Australia (FORS 1995). Diharapkan penghematan emisi dari pembuangan gas asap dari pemakaian refrigerant HC adalah sebesar 1,3 mg/km. Penghematan bersih emisi dari pembuangan gas asap adalah sebesar 0,16 mg/km. Umumnya pengurangan emisi dari pembuangan gas asap pada mobil dengan pemakaian refrigerant HC adalah lebih besar. Pemakaian refrigerant HC pada pendinginan udara mobil dapat mengurangi terbentuknya gas asap dan ozon. Keuntungan-keuntungan terhadap lingkungan akan semakin baik untuk mengurangi pemanasan global dan defleksi ozon stratosfir.

V. SIFAT – SIFAT REFRIGERANT HIDROKARBON

Ethane HCs, propane, isobutane, butane normal, isopentane dan pentane normal terjadi secara alami dalam jumlah masif di dalam gas bahan bakar/refrigerant itu sendiri. Nama-nama refrigerant hidrokarbon yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : R170, R290, R 600a, R 600, R601a dan R601. Batas tekanan uap refrigerant HC sebanding dengan refrigerant fluorokarbon yang sedang populer akan tetapi jumlah molukel yang lebih rendah memberikan perbedaan nyata dalam hal sifat-sifat dari jalannya aliran refrigerant yang lebih cepat. Refrigerant-refrigerant HC adalah bersifat hygrokospis dan dapat dicampur dengan minyak pelumas yang umum dipasaran maupun synthesis. Refrigerant-refrigerant HC merupakan penghantar listrik yang baik dan dapat digabungkan dengan isolasi plastik yang digunakan di dalam sistem pendinginan.

Refrigerant HC memiliki kandungan racun yang rendah akan tetapi dapat mudah terbakar. Ada beberapa persyaratan penting berhubungan dengan standar keselamatan HC (Maclaine-Cross, 1997) adalah sebagai berikut :

- Tidak boleh melakukan pekerjaan pengelasan dan menyalakan korek api pada saat pengisian Refrigerant HC.
- Tidak diperkenankan melakukan pemompaan udara pada saat melakukan test kebocoran pada sistem pendinginan.
Gunakan udara kering atau gas lainnya
- Tidak diperkenankan menyimpan lebih dari 20 liter refrigerant didalam ruangan yang tertutup.

Berat jenis cairan yang rendah dari R20/600a dan perbedaan-perbedaan sifat lainnya membuat kemampuan lebih baik dibandingkan dengan menggunakan R12 atau R134a. R290/600a dapat digunakan pada semua peralatan refrigerant yang standar kecuali alat pendeteksi kebocoran. Alat pendeteksi kebocoran dapat digunakan deteksi kebocoran akan tetapi dengan metoda gelembung sabun akan lebih efektif.

VI. KEMAMPUAN REFRIGERANT HIDROKARBON

Laboratorium pendinginan udara dan refrigerant pada Universitas New South Wales telah melakukan perbandingan kemampuan terhadap R12, R134a dan R290/600a pada pendinginan udara pada mobil sejak tahun 1993.

Dari tahun 1994 sampai dengan tahun 1995, R12 dan R290/600a telah dibandingkan pemakaiannya terhadap 10 (Sepuluh) jenis mobil-mobil buatan Australia (Maclaine Cross and Leonardi 1996, 1997). Mobil-mobil yang akan diuji dihidupkan mesinnya dalam keadaan stasionari dan pintu-pintu, jendela-jendela mobil dikondisikan dalam keadaan tertutup. Pada pengukuran temperatur superheater pada mesin pendinginan udara mobil yang menggunakan HC menunjukkan lebih rendah sebesar 1 °K dan campuran gas HC pada tekanan kondensor menunjukkan 8% lebih tinggi dibandingkan dengan mobil yang tidak menggunakan HC. Torsi pada poros kompresor tidak dilakukan pengukuran. Bahkan kapasitas pendinginan relatif dari HC dan R12 dihitung berdasarkan udara yang masuk dan keluar yang ditentukan dari ruang penumpang dan dari tekanan, kecepatan kompresor dan temperatur dalam sirkulasi refrigerant pada sistem pendinginan udara. Perbandingan rata-rata kapasitas pendinginan dari refrigerant HC terhadap R12 adalah sebesar 1,1 dengan konsumsi bahan bakar untuk pendinginan HC 13% lebih rendah dibandingkan R12. Kerugian-kerugian bahan bakar pada saat pengisian, dikarenakan udara luar dan peralatan pendingin dapat dipertimbangkan dari hasil penelitian ini.

Dari tahun 1996 sampai dengan tahun 1999, refrigerant 12, 134a dan refrigerant komersial R290/600a pada pemasangan pendinginan udara di dalam suatu mobil menggunakan kalorimeter keseimbangan udara yang dibandingkan dengan ruangan evaporator dan kondensor. Ruang-ruang evaporator dan pendinginan udara dioperasikan pada temperatur konstan dan aliran panas dijalankan selama satu jam sebelum pengujian dilakukan untuk menghilangkan pengaruh-pengaruh perpindahan panas. Temperatur ruang evaporator ditentukan sebesar 23,9°C dan temperatur ruang kondensor sebesar 35 °C untuk semua percobaan yang dilakukan. Percobaan-percobaan yang telah dilakukan pada mesin penyegaran udara pada mobil menggunakan R134a. Perhitungan kapasitas pendinginan dari keseimbangan energi pada ruang kondensor ditentukan sebesar 2% lebih kecil dari keseimbangan energi yang ditentukan pada ruang evaporator untuk semua percobaan-percobaan yang dilakukan terhadap refrigerant. Pada tabel 2 di bawah ini menunjukkan 6 (enam) hasil awal perbandingan kapasitas pendinginan dan koefisien performance untuk R134a dan R290/600a yang dilakukan pada tahun 1996 dan 1998. Pada tahun 1996 R290/600a belum dilakukan analisa akan tetapi dari pabrik pembuat yakin bahwa kandungan ethane adalah sebesar 2%. Pada tahun 1998, R290/600a telah dianalisa terhadap R170/290/600a/600 dengan hasil yaitu pada temperatur 15 °C tekanan penguapan untuk R290/600a telah diukur dan menunjukkan tekanan penguapan sebesar 590 kPa.

Tabel 2. Perbandingan kapasitas pendinginan dan COP dari tiga macam jenis refrigerant pada dua kecepatan kompresor yang berbeda (Binti Zakaria 1999).

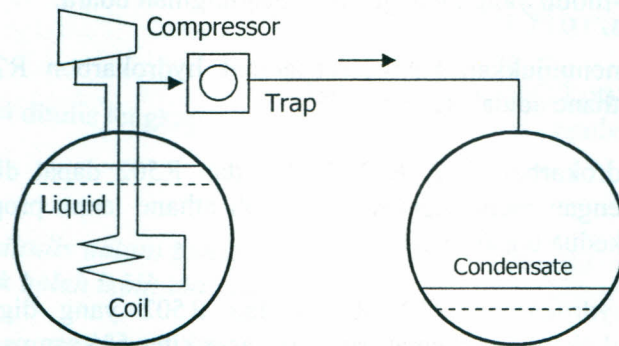
Refrigerant	Pengisian (gram)	Kecepatan (rad/det)	Kapasitas (kw)	COP
134a	1000	105	3,17	2,78
1996		209	4,36	1,27
290/600a	303	105	2,14	2,43
1996		209	3,68	1,70
290/600a	309	105	2,69	2,86
1998		209	4,06	1,85

Seperti terlihat pada tabel 3 di bawah ini adalah menunjukkan spesifikasi umum untuk penggunaan refrigerant hidrokarbon yang digunakan pada mobil-mobil yang memiliki pendinginan udara.

Tabel 3. Spesifikasi kualitas refrigerant hidrokarbon untuk pendinginan udara pada mobil (IAHRA, 1997).

Komponen	Unit	Toleransi Spesifikasi
Saturated	% mass	> 99.5
Ethane	% mass	< 0.5
Propane	% mass	-
Isobutane	% mass	-
Normal butane	% mass	-
Pentanes	% mass	< 0.5
Normal hexane	Mg/kg	< 100
Aromatics	Mg/kg	< 10
Unsaturated HCs	% mass	< 0.05
Water	Mg/kg	< 10
Ethyl mercaptan	Mg/kg	25
Other sulphur compounds	Mg/kg	< 5
15°C bubble point pressure	kPa	480 – 570
Temperature glide	Kelvin	< 12
Lubricant additive	% mass	< 2

Penggantian zat Ethane dari R170/290 merupakan kondisi yang cukup baik untuk CFC (Chlorofluorocarbon) yang digunakan pada pendinginan udara mobil komersial. Propane yang diperdagangkan dipasaran biasanya berisi lebih dari 2% ethane, sehingga tidak dapat dicampur dengan butane yang diperdagangkan untuk menjadi suatu kenyamanan dari R290/600a. Sebagian besar unsur ethane akan meningkatkan temperatur pendinginan dan selalu akan berubah selama sistem bekerja. Sebuah kompresor dengan volume 1lt/det dapat memompa lebih dar 1 mg/hari dalam bentuk uap melalui koil kondensor dengan kapasitas 6 kW dalam bentuk cairan propane. Suatu komponen pemisah (trap) pada koil pengeluaran dapat mencegah uap yang masuk melalui tank condensate seperti terlihat pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Skematik diagram aliran pompa kompresor dari uap jenuh ethane menjadi cairan propane melalui fraksi massa – dalam bentuk cair.

Konservasi massa aliran ethane dan propane didalam cairan memberikan fraksi massa terakhir dari ethane sebesar X_f dimana merupakan fungsi fraksi massa masukan X_i dengan ditunjukkan pada formula dibawah ini :

$$X_f = X_i \left(\frac{m_f}{m_i} \right)^{K-1} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana : m_i = massa aliran masuk ethane dan propane dalam bentuk uap
 m_f = massa aliran akhir ethane dan propane dalam bentuk cair
 K = diasumsikan konstan

Konservasi keseluruhan massa ethane dan propane akan menghasilkan fraksi massa rata-rata ethane didalam condensate dan bentuk fasa uap sebesar X_c , dengan bentuk formula sebagai berikut :

$$X_c = \frac{X_i m_i - X_f m_f}{m_i - m_f} \dots\dots\dots (2)$$

Apabila volume uap ethane dan propane yang berada diatas zat yang berbentuk cairan kurang dari setengah volume tangki dalam bentuk cair pada saat pemompaan selesai dilakukan, maka besar X_c akan mendekati fraksi massa ethane di dalam tangki condensate, sebagai contoh diasumsikan harga $K = 3$, $X_i = 3,0\%$ dan $m_f/m_i = 0,6181$, maka dari formula 1 didapat $X_f = 1,146\%$ dan dari formula 2, akan didapatkan $X_c = 6,0\%$. Penggantian-penggantian refrigerant hidrokarbon dari R12, R22 dan R502 telah dilakukan di negara Australia.

VII. KESIMPULAN

Dari analisa-analisa yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Pendinginan udara pada mobil yang menggunakan refrigerant hidrokarbon akan mengurangi emisi gas refrigerant sebesar 0,4 l /th, dikarenakan kebocoran-kebocoran yang terjadi selama pendinginan udara beroperasi dan selama service atau perbaikan-perbaikan dilakukan terhadap mesin pendingin tersebut.

2. Refrigerant hidrokarbon 134a akan mengurangi sekitar 15% dari total emisi pemanasan bumi yang berasal dari mobil-mobil yang menggunakan pendinginan udara.
3. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa refrigerant hidrokarbon R290/600a dan R134a, ketidakmurnian zat ethane adalah sebesar 0,5%.
4. Pergantian refrigerant hidrokarbon R12, R22, R134a dan R502 dapat dihasilkan dari butane dan propane alami dengan memompakan uap jenuh ethane tanpa propane sebelum dilakukan pencampuran dari kedua unsur tersebut.
5. Pemakaian refrigerant hidrokarbon R22, R134a dan R502 yang digunakan pada pendinginan udara pada mobil akan menghemat bahan bakar sekitar 5% sampai dengan 10% dan ramah terhadap lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maclaine-Cross, I. L., 1996, *Insurance Risk for Hydrocarbon Refrigerants in Car Air-Conditioners*, Refrigeration Science and Technology Proceedings, International Institute of Refrigeration, Proceedings of meeting of Scientific Commissions E2, E1, B1, B2 Melbourne (Australia), February 11-14th, pp.262-271.
- [2] Maclaine-Cross, I. L., 1997, *Refrigerant Concentrations in Car Passenger Compartments*, Conference on Ozone Protection Technologies, November 12-13th, Baltimore MD, pp. 403-412.
- [3] Maclaine-Cross, I. L., and Leonardi, E., 1996, *Comparative Performance of Hydrocarbon Refrigerants*, Refrigeration Science and Technology Proceedings, International Institute of Refrigeration, Proceedings of meeting of Scientific Commissions E2, E2, B1, B2 Melbourne (Australia), February 11-14th, pp. 238-245.
- [4] Maclaine-Cross, I. L., and Leonardi, E., 1997, *Why hydrocarbons save energy*, AIRAH Journal, vol. 51, No. 6, June, pp. 33-38
- [5] Fraser, P., 1997, *Global and Antarctic ozone depletion: What does the future hold?*, AIRAH Journal, vol. 51, No. 4 April, pp. 23-30.
- [6] Fraser, P., 1998, *Refrigerants: contributions to climate change and ozone depletion*, AIRAH Journal, vol. 52, No. 6, June, pp. 18-25.
- [7] IAHRA, 1996, *Code of Practice for the Use of Hydrocarbon Refrigerants in Motor Vehicle Air Conditioning*, The Independent Australian Hydrocarbon Refrigeration Association, Brisbane QLD, December.
- [8] Johnson, C. E. and Derwent, R.G., 1996, *Relative Radiative Forcing Consequences of Global Emissions of Hydrocarbons, Carbon Monoxide and No from Human Activities Estimated with a Zonally-Averaged Two-Dimensional Model*, Climatic Change, vol. 34, pp. 439-462.
- [9] Aisbett, E. K. and Pham, Q. T., 1998, *Natural replacements for ozone-depleting refrigerants in eastern and southern Asia*, International Journal of Refrigeration, Vol. 21, No. 1, pp. 18-28.
- [10] Avallone, E. A. and Baumeister, T., 1986, *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers 9th ed.*, McGraw-Hill, New York, pp. 9-112-9-114.
- [11] Binti Zakaria, H., 1999, *Car Air Conditioner Performance Tests*, draft BE Project Report, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, The University of New South Wales.