

*Jurnal*

# KETEKNIKAN PERTANIAN

ISSN 0216-3365

Terakreditasi "A"  
SK No. 395/DIKTI/Kep/2000

VOL. 19, No. 2  
AGUSTUS 2005



Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia  
Indonesian Society of Agricultural Engineering

Review

# PERKEMBANGAN TEKNIK REFRIGERASI DAN PEMANFAATAN HIDROKARBON SEBAGAI REFRIGERAN UNTUK MESIN PEMBEKU

***The Development of Refrigeration Engineering and the Utilization of Hydrocarbon as Refrigerant for Freezer***

P. Togi Edward Sihaloho<sup>1</sup>, Armansyah H. Tambunan<sup>2</sup>

## **Abstract**

As a tropical country relying on agricultural products, Indonesia has much concern in the development of refrigeration technology. After the ratification of the Montreal Protocol and Kyoto Protocol, the global problem in refrigeration industries will also be dealt with in Indonesia. This paper briefly reviews the history of research and development in the field of refrigeration, especially the research and invention in hydrocarbon refrigerant. It is shown that even though hydrocarbon refrigerant can potentially replace the CFC, HCFC and HFC refrigerant, especially after Montreal Protocol and Kyoto Protocol, its refrigerating performance is still below that of the commercial one. Research in this field is still focused on the development of new hydrocarbon composition. However, the utilization of hydrocarbon refrigerant could probably increase the complexity of the design and construction of the refrigerator itself. It is necessary to conduct research on the utilization of the hydrocarbon refrigerant from the thermal design approach in order to uncover the possibility of minimum modification or retrofitting of the existing refrigerator.

**Keywords:** Refrigeration technology, Refrigerant, Hydrocarbon, Retrofitting

## **Perkembangan Teknik Pendinginan**

Pada negara tropis yang masih sangat mengandalkan bidang pertanian seperti Indonesia, tentu saja refrigerasi dan industri pendinginan mempunyai peran yang sangat penting. Pendinginan dan pembekuan mempunyai peran yang sangat penting dalam bidang pertanian. Pendinginan dan pembekuan digunakan untuk menjaga agar produk pertanian yang mudah rusak tetap baik kualitasnya selama waktu tertentu sebelum produk tersebut akhirnya dikonsumsi.

Penyimpanan dan transportasi bahan pangan, proses pengolahan makanan dan minuman, pembuatan es (*ice making*) merupakan beberapa contoh kegiatan yang memerlukan proses pendinginan dan pembekuan.

Pendinginan terutama bertujuan untuk memperlambat aktivitas bakteri pada produk pertanian, sedangkan pembekuan bertujuan untuk menghentikan sepenuhnya aktivitas bakteri pada produk yang didinginkan (Marshall, \_\_\_\_). Sehubungan dengan itu, target suhu pendinginan pada mesin refrigerasi

---

<sup>1</sup> Mahasiswa S3 by-Research di PS Ilmu Keteknikan Pertanian, Institut Pertanian Bogor,

<sup>2</sup> Staf Pengajar Departemen Teknik Pertanian IPB

adalah 3 sampai 5°C dan pada mesin pembekuan -20 sampai -23°C (Stoecker dan Jones, 1985).

Setelah meratifikasi *Montreal Protocol* pada tahun 1992 dan *Kyoto Protocol* pada tahun 1996, Indonesia juga tidak luput dari permasalahan global yang dihadapi oleh industri pendinginan dunia sebagai dampak dari kedua perjanjian internasional di atas. Dengan demikian, penelitian di bidang refrigeran dan pendinginan sangat penting dan bermanfaat dilakukan di Indonesia. Jenis refrigeran yang cocok diteliti kemungkinan pemakaianya di Indonesia adalah refrigeran hidrokarbon, karena selain bersifat alami (natural) hidrokarbon juga tersedia sebagai sumber daya alam yang relatif besar. Penggunaan refrigeran hidrokarbon juga dapat menghemat energi bila dibanding refrigeran R12 (MacLaine-cross dan Leonardi, 1997). Aisbett dan Pham (1998) menyatakan bahwa penggunaan hidrokarbon sebagai refrigeran pengganti CFC dan HFC dapat memberikan penghematan biaya yang signifikan untuk negara-negara di Asia Timur dan Asia Selatan, termasuk Indonesia.

Efek pendinginan kemungkinan besar telah diketahui sejak abad ke-4 karena saat itu Ibn Abi Usaibia, seorang penulis Arab, telah menuliskan efek pendinginan pada campuran air-garam di India. Meskipun demikian, perkembangan teknik pendinginan mulai mengalami kemajuan sejak abad ke-16 setelah Zimara (1530) dan Blas Villafranca (1550), masing-masing ahli fisika Italia dan Spanyol mencatat penggunaan potassium nitrat pada pendinginan air di Padua dan Roma.

Perkembangan selanjutnya ditandai dengan penelitian mengenai refleksi yang disebabkan oleh panas dan dingin yang dilakukan oleh Robert Boyle (1627-1691), seorang filsuf dan ilmuwan Inggris, dan dilanjutkan oleh filsuf dan ilmuwan Rusia Mikhail Lomonossov (1711-1765).

Penelitian di bidang termometri sebagai kelanjutan penelitian awal Galileo yang dilakukan oleh Isaac Newton (Inggris; 1642-1727), Guillaume Amontons (Prancis; 1663-1705), dan René de Réaumur (Prancis; 1683-1757) mem memberi pengaruh yang sangat besar terhadap perkembangan teknik pendinginan. Penelitian tersebut akhirnya membawa ilmuwan Jerman yang bekerja di Inggris dan Belanda Daniel Fahrenheit (1686-1736) dan ilmuwan Swedia Anders Celsius (1701-1744) menemukan thermometer. Pada tahun 1755, William Cullen (1710-1790) berhasil mendapatkan sejumlah kecil es dengan cara menguapkan air di dalam "labu uap"-dan menemukan bahwa penguapan ethyl ether selalu disertai oleh penurunan suhu. Hasil penelitian ini membawa Joseph Black (1728-1799), seorang Skotlandia yang merupakan murid dan penerus Cullen, melakukan klarifikasi tentang istilah panas dan suhu dan dapat dianggap sebagai penemu kalorimetri

### Perkembangan Teknik Refrigerasi Kompresi Uap

Tulisan Sadi Carnot (1796-1832), seorang Perancis, yang sangat terkenal pada tahun 1824 dan menjadi titik awal ke Hukum Termodinamika II. Tulisan ini menjadi inspirasi bagi banyak penelitian yang dilakukan mengenai berbagai konsep termodinamika dan sistem pendinginan, termasuk James Prescott Joule (Inggris, 1818-1889), Julios von Mayer (Jerman, 1814-1878), Herman von Helmholtz (Jerman, 1821-1894), Rudolph Clausius (Jerman, 1822-1888), Ludwig Boltzmann (Austria, 1844-1906), dan William Thomson (Lord Kelvin, Inggris, 1824-1907). Berdasarkan konsep termodinamika tersebut, Oliver Evans (Amerika, 1755-1819) merupakan orang pertama yang menjelaskan siklus refrigerasi kompresi uap. Akan tetapi,

paten pertama mengenai mesin pendingin dengan siklus kompresi uap diperoleh oleh seorang Amerika lain yang bekerja di Inggris Jacob Perkins (1766-1849) pada tahun 1835. Mesin ini menggunakan ethyl ether sebagai refrigeran. Selanjutnya, James Harrison (1816-1893), seorang Scotlandia yang beremigrasi ke Australia, berhasil mengembangkan mesin pendingin dengan siklus kompresi uap skala industrial dan mematenkannya pada tahun 1855, 1856, dan 1857. Mesin yang dikembangkan Harrison diproduksi di Inggris dan dapat menghasilkan es atau brine pendingin (refrigeran sekunder). Refrigeran yang digunakan adalah ethyl ether.

Refrigeran (fluida pendingin) yang selama ini banyak digunakan pada mesin pendingin, termasuk mesin refrigerasi dan mesin pembekuan, adalah

chlorofluorocarbon (CFC) seperti R12, hydrochlorofluorocarbon (HCFC) seperti R22, dan campuran CFC dan HCFC seperti R502. Akan tetapi, sejak Mario Molina dan Sherwood Rowland pada tahun 1974 membuktikan bahwa CFC dapat merusak lapisan ozon (Singer, 1992), kekhawatiran masyarakat internasional atas bahaya penggunaan senyawa-senyawa perusak ozon seperti CFC dan HCFC (Tabel 1) semakin meningkat. Akhirnya, melalui *Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer* yang disetujui pada tahun 1987, dan diratifikasi oleh Indonesia pada tahun 1992, masyarakat internasional sepakat untuk melarang produksi dan penggunaan refrigeran CFC dan HCFC.

Untuk menggantikan refrigeran CFC dan HFC, industri pendinginan kemudian mengembangkan refrigeran alternatif yang tidak mengandung klorin dan tidak

Tabel 1. Efek beberapa refrigeran terhadap kerusakan lapisan ozon dan pemanasan global untuk beberapa refrigeran (Hwang et al, 1998)

Jenis Refrigeran	Nama Refrigeran	ODP	GWP selama 100 tahun
CFC	R-11	1	3800
	R-12	1	8100
HCFC	R-22	0.055	1500
	R-141b	0.11	630
	R-142b	0.065	2000
HFC	R-32	0	650
	R-125	0	2500
	R-134a	0	1300
	R-407C	0	1520
	R-410A	0	1725
Refrigeran Alami	R-744 (CO <sub>2</sub> )	0	1
	R-717 (Amonia)	0	0
	HC-600a (Isobutana)	0	3
	HC-290 (Propana)	0	3
	Siklopentana	0	3

merusak lapisan ozon. Refrigeran alternatif yang mulai banyak digunakan adalah *hydrofluorocarbon* (HFC), misalnya R134a, yang dianggap dapat mengimbangi performansi refrigeran CFC dan HCFC. Akan tetapi, seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 1, HFC ternyata mempunyai potensi yang cukup tinggi dalam menimbulkan pemanasan global sehingga penggunaannya hanya akan bersifat sementara (Hwang, et al, 1998). HFC bahkan dikategorikan termasuk gas *rumah kaca* yang penggunaannya akan berangsur-angsur dikurangi oleh masyarakat internasional yang meratifikasi *Kyoto Protocol on Climate Change*.

Kedua kesepakatan internasional tersebut, *Montreal Protocol* dan *Kyoto Protocol*, memaksa industri pendinginan dan industri terkait (industri yang intensif menggunakan pendinginan) mencari refrigeran lain yang lebih ramah lingkungan, khususnya senyawasenjawa yang memiliki ODP (*Ozone Depletion Potential*) dan GWP (*Global Warming Potential*) sekecil mungkin. Selain ODP dan GWP, faktor lain seperti keamanan, toksitas, efisiensi energi, ketersediaan (*availability*), kompatibilitas dengan peralatan pendingin yang sudah

umum digunakan (kemungkinan *retrofit*), harga, dan sebagainya harus pula turut dipertimbangkan dalam pencarian refrigeran alternatif.

Salah satu bahan yang sampai saat ini banyak diteliti untuk melihat kemungkinan penggunaannya sebagai refrigeran alternatif untuk CFC/HCFC/HFC adalah hidrokarbon. Pertimbangan penggunaan hidrokarbon sebagai refrigeran didasarkan pada sifatnya yang alamiah (*natural*), banyak tersedia, memiliki sifat termodinamis yang baik, harganya murah, kompatibel dengan minyak pelumas dan bahan konstruksi yang biasa digunakan pada mesin pendingin (Lorentzen, 1995). Perbandingan antara beberapa sifat termodinamis hidrokarbon dan refrigeran konvensional seperti R12 dan R134a diperlihatkan dalam Tabel 2.

Akan tetapi, karena sifatnya yang mudah terbakar, penggunaan hidrokarbon sebagai refrigeran memerlukan tingkat keamanan yang tinggi (McMullan, 2002 dan Granryd, 2000). Untuk mengurangi bahaya *inflammability* hidrokarbon saat digunakan dalam pendinginan (refrigerasi) beberapa upaya telah dicoba dilakukan orang. Stevenson (1994) mencampurkan *flame retardant* pada refrigeran

Tabel 2. Sifat termodinamis beberapa refrigeran hidrokarbon dibanding R12 dan R134a (Bodio et al., 1993)

Refrigeran	Suhu kritis (°C)	Suhu titik didih (°C)	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	Panas Penguapan (kJ/kg)
R12	112.0	-29.7	6.240	166.00
R134a	100.5	-26.5	5.080	208.8
Propilena	91.4	-47.8	1.955	440.16
Propana	96.8	-42.1	2.019	425.92
1-Butilena	146.6	-6.3	2.550	391.58
Isobutilena	144.7	-7.0	2.500	397.02
Isobutana	135.0	-11.7	2.668	366.03
n-Butana	152.0	-0.5	2.703	387.81

hidrokarbon (propana dan isobutana). *Flame retardant* yang digunakan adalah gas CO<sub>2</sub> dengan persentase molar sebesar 5-35% dari total refrigeran yang digunakan. Selain sebagai *flame retardant*, CO<sub>2</sub> dalam campuran refrigeran itu juga berfungsi sebagai pendingin. Cara lain untuk meningkatkan keamanan atau mengurangi bahaya *inflammability* hidrokarbon dalam mesin pendingin adalah dengan menggunakan zat pembau (odorant). Komatsubara et al. (2002) mencampurkan zat pembau *tetrahydrothiophene* dengan refrigeran propana dan isobutana untuk mendeteksi kebocoran refrigeran hidrokarbon tersebut. *Tetrahydrothiophene* yang merupakan substansi berbau keras dan khas dan berbentuk cair pada temperatur normal itu mempunyai titik didih 122°C dan titik beku -98°C sehingga cocok digunakan pada mesin pendinginan tanpa menimbulkan penyumbatan pada saluran-saluran refrigeran.

### Perkembangan Refrigeran Hidrokarbon

Sampai saat ini belum ada refrigeran hidrokarbon dalam bentuk murni (senyawa tunggal) yang dilaporkan benar-benar dapat menggantikan refrigeran refrigeran R12, R22 dan R134a yang banyak digunakan selama ini. Bodio et al. (1993) menyatakan bahwa hidrokarbon dalam bentuk murni, misalnya propana saja atau butana saja, tidak mempunyai sifat-sifat termodinamis yang dapat mengimbangi dan menggantikan R12 (lihat Tabel 2). Bodio et al. (1993) menyebutkan bahwa hidrokarbon dapat menjadi pengganti refrigeran R12 bila digunakan dalam bentuk campuran beberapa senyawa hidrokarbon dengan persentase perbandingan tertentu (metana 0.1%, etana 4.5%, propana 34%, butana 61.3% dan hidrocarbon C<sup>5+</sup> 0.1%). Konsumsi energi refrigerator yang

menggunakan campuran hidrokarbon ini dilaporkan hampir sama dengan konsumsi refrigerator yang menggunakan R12. Akan tetapi, setelah campuran hidrokarbon di atas digunakan selama tiga bulan untuk menggantikan R12, Bodio et al. (1993) melaporkan bahwa sebagian dari butana yang digunakan "terlarut" dalam minyak pelumas mesin pendinginan. Sayangnya, Bodio et al. (1993) tidak menjelaskan jenis pelumas yang digunakan dan tidak merekomendasikan jenis pelumas yang cocok digunakan untuk refrigeran campuran hidrokarbon. Akan tetapi, paling tidak penelitian Bodio et al. (1993) mengindikasikan bahwa perlu dilakukan pemilihan pelumas yang cocok untuk refrigeran hidrokarbon.

Penelitian mengenai penggunaan refrigeran hidrokarbon untuk menggantikan R22 juga dilakukan oleh Purkayastha dan Bansal (1997). Refrigeran hidrokarbon yang digunakan dalam penelitian ini adalah R290 (propana) dan campuran LPG komersial (yang terdiri atas propana, etana, isobutana dan zat-zat minor lainnya) yang dipakai dalam aplikasi refrigerasi dan pompa kalor (heat pump). Dalam penelitian ini dipilih temperatur evaporasi yang berkisar -15 sampai +15°C dan temperatur kondensasi sekitar 35, 45 atau 55°C. R290 dan campuran LPG dibandingkan dengan R22 berdasarkan COP (Coefficient of Performance), kapasitas refrigerasi volumetrik (Q<sub>v</sub>), kapasitas kondenser (Q<sub>c</sub>), temperatur pengeluaran refrigeran (discharge temperature, T<sub>dis</sub>), input daya pada kompresor (W<sub>E</sub>), dan laju aliran massa refrigeran (m). Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama operasi pendinginan: a) COP R290 > COP LPG > COP R22, b) Q<sub>v</sub> R22 > Q<sub>v</sub> LPG > Q<sub>v</sub> R290, c) Q<sub>c</sub> R22 > Q<sub>c</sub> LPG > Q<sub>c</sub> R290, d) T<sub>dis</sub> R22 > T<sub>dis</sub> R290 > T<sub>dis</sub> LPG, e) W<sub>E</sub> R22 > W<sub>E</sub> LPG > W<sub>E</sub> R290, dan f) m R22 > m LPG > m R290. Penelitian ini

menyimpulkan bahwa penggunaan campuran LPG lebih baik dibanding R290 saja (tanpa campuran). Komparasi hasil-hasil pengujian di atas merupakan interpretasi umum dari penelitian yang dilakukan oleh Purkayastha dan Bansal (1997), dan pada temperatur kondensasi yang berbeda, misalnya pada temperatur kondensasi 55°C dan temperatur evaporasi 3°C,  $Q_v$  LPG hampir sama dengan  $Q_v$  R290. Pada Pada prinsipnya, Purkayastha dan Bansal (1997) hanya menggunakan prinsip *retrofit* dan sama sekali tidak mempertimbangkan modifikasi pada sistem pendinginan.

Suwono et al. (1992) menggunakan hidrokarbon sebagai refrigeran pengganti R12 dan R134a untuk sistem refrigerasi kompresi uap. Akan tetapi, Suwono et al. (1992) sama sekali tidak mengungkapkan kondisi kerja sistem kompresi uap di mana hidrokarbon tersebut digunakan, sifat-sifat termodinamis dan parameter-parameter empiris yang menunjukkan kelebihan performansi refrigeran hidrokarbon tersebut dibanding R12 dan R134a.

Henderson el al. (2001) juga meneliti kemungkinan penggantian R22 dengan refrigeran hidrokarbon. Yang dipakai sebagai refrigeran hidrokarbon di sini adalah R290 dan digunakan untuk aplikasi pompa kalor. Dalam penelitian ini, senyawa HFC seperti R125 dan R32 serta HFC yang berupa campuran non-azeotropic R410a dan R410b juga diteliti kemungkinannya sebagai pengganti R22. Henderson el al. (2001) membandingkan sifat-sifat termodinamis refrigeran-refrigeran ini dengan menggunakan perhitungan teoritis dan temperatur-temperatur yang dijumpai pada aplikasi tipikal pompa kalor skala rumah tinggal (*residential*). Perbandingan yang digunakan mencakup COP teoritis untuk pendinginan dan pemanasan, panas evaporasi teoritis, panas kondensasi teoritis dan efisiensi volumetrik teoritis dan efek refrigerasi per unit volume pada

temperatur 35°C. Penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun mempunyai efisiensi energi yang mendekati R22 dan mempunyai tekanan kerja yang mendekati R22, R290 tidak memiliki performansi yang benar-benar lebih baik dan malahan memiliki efisiensi volumetrik yang cenderung lebih rendah.

Komatsubara et al. (2002) dan permohonan paten Amerika Serikat No. 20020194862 A1 mengungkapkan tentang refrigeran hidrokarbon yang ditambahkan zat pembau (odorant) untuk mendekripsi kebocoran refrigeran hidrokarbon yang mudah terbakar. Hidrokarbon yang digunakan memiliki satu sampai empat atom karbon (contohnya propane dan isobutane) dan zat pembau yang dipakai adalah *tetrahydrothiophene*. Dalam permohonan paten ini dilakukan penambahan alat pengering dan pengontrolan fluida pendingin untuk mencegah kebocoran. Komatsubara et al. (2002) ini sama sekali tidak menjelaskan tentang kelebihan performansi refrigeran hidrokarbon.

Matsumoto et al. (2004) mengajukan permohonan paten 20040118134 A1 ke Kantor Paten Amerika Serikat atas invensinya mengenai mesin pendingin yang terdiri atas kompresor, sarana pendingin gas, mekanisme ekspansi dan evaporator yang dihubungkan secara berurutan dengan menggunakan pipa refrigeran. Refrigeran yang digunakan adalah CO<sub>2</sub> dan hidrokarbon etana (R1270) atau propilena. Tujuan dari pencampuran kedua senyawa ini adalah untuk memungkinkan penggunaan hidrokarbon lebih banyak (150g) dari kuantitas yang biasanya digunakan (50g) untuk aplikasi refrigerasi. Alat ini dioperasikan pada temperatur evaporation -25°C dan temperatur kondensasi 25°C. Dengan mesin pendingin yang memiliki sarana berpendingin ini, COP dan lebih aman bila refrigeran yang digunakan hanya hidrokarbon tunggal. Dengan demikian,

kapasitas refrigerasi dapat ditingkatkan. Matsumoto et al. (2004) telah menawarkan cara untuk meningkatkan kapasitas refrigerasi hidrokarbon. Akan tetapi Matsumoto et al. (2004) tidak menunjukkan perbandingan performansi campuran refrigeran yang digunakan dengan refrigeran CFC, HCFC atau HFC. Selain itu, penggunaan sistem peralatan ini juga tidak cocok untuk retrofit.

### Kesimpulan

Tinjauan singkat di atas memperlihatkan bahwa secara umum penelitian dan/atau invensi di bidang refrigeran hidrokarbon menunjukkan bahwa hidrokarbon mempunyai potensi yang cukup besar untuk menggantikan CFC, HCFC atau HFC komersial yang penggunaannya lambat atau cepat akan dihentikan menurut *Montreal Protocol* dan *Kyoto Protocol*. Akan tetapi, sampai saat ini belum ada jenis campuran hidrokarbon yang dilaporkan atau diakui mengimbangi performa CFC, HCFC atau HFC komersial.

Penelitian dan pengembangan penggunaan refrigeran hidrokarbon lebih terfokus pada penemuan campuran atau komposisi baru refrigeran hidrokarbon yang paling baik. Akan tetapi, penggunaan refrigeran campuran mungkin akan mengubah dan menambah kompleksitas desain dan konstruksi alat pendingin (McMullan, 2002). Oleh karena itu, penelitian di bidang pemanfaatan refrigeran hidrokarbon dengan menggunakan pendekatan desain termal untuk melihat kemungkinan modifikasi minimal, atau kemungkinan penggunaan retrofit, terhadap mesin pendinginan dan pembekuan yang telah ada (existing) sangat diperlukan.

Pada negara tropis yang masih sangat mengandalkan bidang pertanian seperti Indonesia, tentu saja refrigeran dan industri pendinginan mempunyai peran

yang sangat penting. Setelah meratifikasi Montreal Protocol pada tahun 1992 dan Kyoto Protocol pada tahun 1996, Indonesia juga tidak luput dari permasalahan global yang dihadapi oleh industri pendinginan dunia sebagai dampak dari kedua perjanjian internasional di atas. Dengan demikian, penelitian di bidang refrigeran dan pendinginan sangat penting dan bermanfaat dilakukan di Indonesia. Jenis refrigeran yang cocok diteliti kemungkinan pemakaianya di Indonesia adalah refrigeran hidrokarbon, karena selain bersifat alami (natural) hidrokarbon juga tersedia sebagai sumber daya alam yang relatif besar. Penggunaan refrigeran hidrokarbon juga dapat menghemat energi bila dibanding refrigeran R12 (MacLaine-cross dan Leonardi, 1997). Aisbett dan Pham (1998) menyatakan bahwa penggunaan hidrokarbon sebagai refrigeran pengganti CFC dan HFC dapat memberikan penghematan biaya yang signifikan untuk negara-negara di Asia Timur dan Asia Selatan, termasuk Indonesia.

### Daftar Pustaka

- Bodio, E. M. Chorowski dan M. Wilczek. 1993. Working parameters of domestic refrigerators filled with propane-butane mixture. Rev. Int. 16 (5).
- Granryd, E. 2001. Hydrocarbons as refrigerants – an overview. Int J. Refrig. 24: 15-24.
- Komatsubara, T., Y. Takahashi, Takayuki dan S. Miyuki, K. 2002. Refrigerant . Publikasi Permohonan Paten Amerika Serikat No. 20020194862 A1.
- Lorentzen, G. 1995. The use of natural refrigerants: a complete solution to the CFC/HCFC predicament. Int. J. Refrig. 18(3): 190-197.
- MacLaine-cross, I dan E. Leonardi. 1997. Why Hydrocarbons Save Energy. AIRAH Journal, 51(6): 33-37.

- Marshall, B. \_\_\_\_\_. How Food Preservation Works. <url:<http://home.howstuffworks.com/food-preservation.htm/printable>> Di-download 16 Desember 2004.
- Matsumoto, K., N. Tsuda, I. Kamimura, K. Toru M. Watanabe, T. Yoshizawa, H. Mukaiyama dan R. Kubo. 2004. Refrigerating device. Publikasi Permohonan Paten Amerika Serikat No. 20040118134 A1.
- McMullan, J. T. 2002. Refrigeration and the environment – issues and strategies for the future International Journal of Refrigeration, 25:89-99
- Singer, S.F., 1992. My Adventures in the Ozone Layer. Di dalam Lehr, J.H. (ed.). Rational Readings on Environmental Concerns. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Stevenson, R. 1994. Hydrocarbon Refrigerant For Closed Cycle Refrigerant Systems. Patent Amerika Serikat No. 5,360,566.
- Stoecker, W.F. dan J.W. Jones. 1985. Refrigeration & Air Conditioning. 2<sup>nd</sup> ed. McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Suwono, A., A. D. Darmawan dan N. P. Nathanael. 1992. Less Flammable Hydrocarbon Refrigerant As CFC-12 Substitute. Publikasi Permohonan Paten Internasional WO 01/57155 A2.
- Henderson, P.C., B. Mongey, N. J. Hewitt dan J. T. McMullan. 2001 Replacing R22 with a hydrocarbon or hydrofluorocarbon?. International Journal Of Energy Research, 25:281-290.
- Purkayastha, B. dan P. K. Bansal, 1998. An experimental study on HC290 and a commercial liquefied petroleum gas (LPG) mix as suitable replacements for HCFC22, Int J. Refrig. 2(1):3-17.