

# Kajian Eksperimental Sistem Refrigerasi Adsorpsi Karbon Aktif – Methanol Menggunakan Karbon Aktif Lokal

RUDI RUSTANDI<sup>1,2</sup>, PURNOMO<sup>2</sup>, PRAJITNO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara  
Politeknik Negeri Bandung

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri  
Universitas Gadjah Mada Yogyakarta  
Email: rustandis@gmail.com

## ABSTRAK

*Sistem refrigerasi adsorpsi merupakan sistem refrigerasi alternatif untuk menghadapi krisis energi dan penipisan lapisan ozon yang disebabkan oleh penggunaan refrigeran CFC dan HCFC pada sistem refrigerasi konvensional. Sistem ini menggunakan energi kalor yang bisa berasal dari minyak bumi, gas alam, listrik, energi buangan industri/ proses, atau energi matahari. Tetapi mesin refrigerasi adsorpsi jarang ditemui dipasaran, kalau ada harganya cukup mahal dan biasanya perlu diimpor. Karena mesinnya harus diimpor, medium pendingin yang digunakan juga harus diimpor dengan harga yang mahal. Pada penelitian ini dilakukan pengujian sistem refrigerasi adsorpsi dengan medium pendingin karbon aktif –metanol dengan menggunakan karbon aktif yang terdapat di pasaran lokal. Sistem refrigerasi adsorpsi telah dibuat dengan dirancang untuk bisa dioperasikan menggunakan energi matahari. Dalam pengujian digunakan karbon aktif sebanyak 2,67 kg, sumber energi yang digunakan berasal dari heater listrik. Pengujian dilakukan dengan variasi temperatur pemanasan (proses desorpsi) 140 °C dan 160 °C. Produk yang disimpan di kabin evaporator pada pengujian pendinginan adalah air 200 gram. Dari pengujian diperoleh temperatur terendah evaporator dan produk, ketika proses pendinginan di evaporator, untuk pemanasan 140 °C masing-masing adalah 14,1 °C dan 18,0, sedangkan pemanasan 160 °C adalah 10,0 °C dan 16,2 °C. Temperatur pendinginan yang tercapai masih jauh dari yang diharapkan, karena pasangan karbon aktif-metanol biasanya digunakan untuk menghasilkan es.*

*Kata kunci : Refrigerasi, adsorpsi, karbon aktif, metanol*

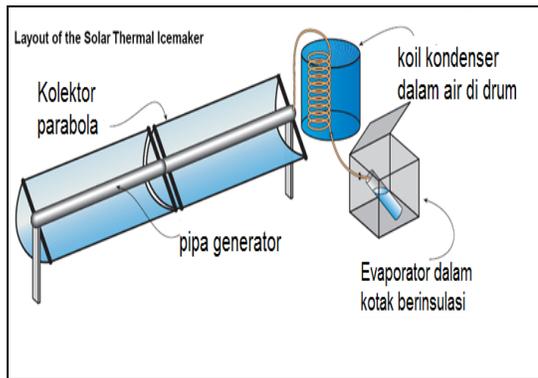
## 1. PENDAHULUAN

Penggerak utama dalam operasi sistem refrigerasi adsorpsi adalah energi kalor yang bisa berasal dari minyak bumi, gas alam, listrik, energi buangan industri atau energi matahari. Dengan energi penggerak yang tidak tergantung pada listrik dan minyak bumi, sistem ini bisa menjadi alternatif untuk mengurangi pengaruh krisis energi terutama yang disebabkan oleh sistem refrigerasi kompresi uap yang banyak berkontribusi dalam pemakaian energi saat ini. Dengan menggunakan energi matahari, sistem ini bisa beroperasi di tempat terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik, terutama di daerah tropis seperti Indonesia. Media kerja dari sistem refrigerasi adsorpsi terdiri dari dua zat yaitu adsorbent, penyerap yang berbentuk padat, dan refrigerant (adsorbat) yang diserap adsorbent dalam fasa uap. Pasangan media kerja bisa bermacam-macam, diantaranya Karbon aktif – Metanol, karbon aktif – amonia, CaCl – amonia, atau Silicagel – Air. Sistem adsorpsi dengan menggunakan pasangan media kerja karbon aktif – metanol dan CaCl – amonia dapat

digunakan untuk pembuatan es, karena temperatur kerjanya bisa berada di bawah 0 °C. Untuk pembuatan es pasangan karbon aktif – metanol lebih banyak digunakan. Pasangan silicagel–air digunakan untuk pengkondisian udara yang mempunyai temperatur kerja di atas 0°C (Pridasawas, 2006). Dengan media kerja yang tidak menggunakan senyawa CFC (chloro fluoro carbon) atau HCFC (hidrogen fluoro chloro carbon) yang banyak digunakan pada sistem refrigerasi kompresi uap konvensional, maka sistem ini tidak berpengaruh pada penipisan lapisan ozon.

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan kelayakan pemanfaatan sistem refrigerasi adsorpsi ini. A. Boubakri (A Boubakri, 2003) telah melakukan penelitian dengan sistem adsorpsi carbon aktif -metanol yang digerakkan oleh tenaga surya, menggunakan kolektor surya jenis datar (plat), kondenser menyatu dengan adsorber dengan menggunakan pendingin udara. Dengan alat tersebut berhasil dikurangi biaya komponen dan juga peningkatan COP. Dari hasil

penelitian diketahui salah satu kelemahan dari sistem adsorpsi adalah rendahnya koefisien perpindahan kalor pada adsorbent (karbon aktif) sehingga perlu dilakukan upaya untuk meningkatkannya. N.M. Khatab (N.M. Khatab, 2004) melakukan penelitian dengan beberapa bentuk susunan pengumpul surya, dan melakukan pencampuran karbon aktif dengan butiran logam. Dari hasil penelitiannya diketahui terdapat peningkatan koefisien perpindahan kalor pada kumpulan adsorbent yang dicampur dengan butiran logam. Sumathy dan Zhongfu (Sumathy, K, Zhongfu, Li, 1999) telah membuat sistem adsorpsi karbon aktif-metanol yang digerakan oleh sinar matahari menggunakan pengumpul sinar matahari jenis datar (flat plate collector) dengan luas  $0,92 \text{ m}^2$  alat tersebut bisa menghasilkan es sebanyak 4 - 5 kg per hari. Vanek (Jaroslav Vanek, 1996) telah membuat sistem adsorpsi  $\text{CaCl}_2$  - amonia dengan sumber energi matahari, menggunakan pengumpul Sistem refrigerasi adsorpsi bisa dioperasikan menggunakan energi matahari dengan bantuan konzentror parabola, seperti terlihat pada gambar 1. Pada sistem ini proses regenerasi terjadi di waktu siang dan refrigerasi terjadi di waktu malam, secara bergantian, oleh karena itu sistem ini dikenal sebagai sistem *intermiten*.



Gambar 1. Sistem adsorpsi menggunakan energi matahari

Siklus refrigerasi adsorpsi yang menggunakan energi matahari pada dasarnya terdiri dari 4 proses (N.M. Khatab, 2004), seperti terlihat pada gambar 2.5, yaitu :

1. Proses pemanasan (A-B)  
Proses pertama, A-B, Adsorbent dipanaskan oleh energi matahari sampai tekanannya mencapai tingkat yang memungkinkan terjadinya pelepasan uap refrigeran dari permukaannya (kondisi B).
2. Proses Pelepasan uap refrigeran (B-D)  
Proses ke dua, setelah kondisi B tercapai, penambahan panas dari energi matahari

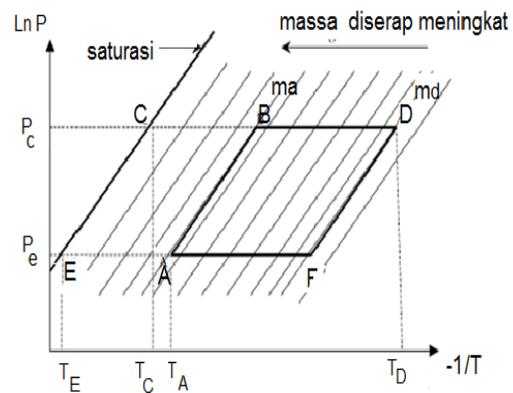
sinar matahari berbentuk parabola. dalam satu siklus alat bisa menghasilkan es sekitar 4 kg. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian sistem refrigerasi adsorpsi Karbon aktif-metanol dengan menggunakan karbon aktif yang terdapat di pasaran lokal. Generator dirancang untuk bisa dioperasikan oleh energi matahari dengan bantuan kolektor surya. Untuk memudahkan dalam pengujian, sumber kalor diperoleh dari *heater* listrik.

## 2. METODELOGI

Siklus refrigerasi pada sistem adsorpsi terdiri dari dua proses utama, yaitu proses refrigerasi (adsorpsi) dan proses regenerasi. Pada saat proses refrigerasi uap refrigeran diserap oleh adsorbent digenerator, yang menghasilkan pendinginan di evaporator. Sedangkan saat regenerasi (desorpsi) uap refrigeran dilepaskan dari adsorbent dengan bantuan pemberian kalor pada generator.

selanjutnya menyebabkan pelepasan uap refrigeran (desorpsi), selanjutnya uap tersebut akan berkondensasi di kondenser dan masuk ke evaporator.

3. Penurunan temperatur adsorbent (D-F)  
Proses ke tiga, ketika energi matahari menurun, temperatur adsorbent turun dan tekanan uap refrigeran pun turun sampai mencapai kondisi dimana mulai terjadi kembali penyerapan uap refrigeran oleh adsorbent (F).
4. Pengikatan (adsorpsi) di adsorber dan pendinginan di Evaporator (F-A)  
Proses ke empat, semakin turunnya temperatur adsorber menyebabkan terjadinya penyerapan (adsorpsi) kembali uap refrigeran, sehingga refrigeran cair yang ada di evaporator menguap, menyebabkan terjadinya pendinginan di ruangan tempat evaporator



Gambar 2. Siklus refrigerasi adsorpsi ideal Pada diagram Clapeyron

**Persamaan Energi**

Dari diagram Calpeyron, persamaan energi dari proses yang terjadi adalah:

$$Q_T = Q_{AB} + Q_{BD} \quad (2.1)$$

$$Q_{AB} = (m_{AC}C_{pAC} + C_{p_m}m_{mA})(T_B - T_A) \quad (2.2)$$

$$Q_{BD} = [m_{AC}C_{pAC} + C_{p_m}(m_{mA} + m_{mD})/2](T_D - T_B) + (m_{mA} - m_{mD})H \quad (2.3)$$

Keterangan :

$Q_T$  = Energi total yang diterima sistem.

$Q_{AB}$  = Energi penikan temperatur karbon aktif dan metanol dari A ke B.

$Q_{BD}$  = Energi untuk menaikkan temperatur karbon aktif dari B ke D dan energi pelepasan (desorption) metanol.

$m_{AC}$  = Massa karbon aktif

$m_{mA}$  = massa metanol pada karbon aktif di titik A.

$m_{mD}$  = massa metanol pada karbon aktif di titik D.

$C_p$  = Kalor spesifik.

$T_A$  = Temperatur di titik A

$T_B$  = Temperatur di titik B.

$H$  = Energi pelepasan metanol dari karbon aktif.

Kalor yang diserap selama pendinginan dievaporator  $Q_{e1}$ , sama dengan energi penguapan dari metanol.

$$Q_{e1} = (m_{mA} - m_{mD})L \quad (2.4)$$

Sedangkan energi yang digunakan untuk menghasilkan es adalah:

$$Q_e = Q_{e1} - Q_{e2} \quad (2.5)$$

$Q_{e2}$  adalah energi yang diperlukan untuk mendinginkan cairan adsorbat dari temperatur kondensasi ke temperatur evaporasinya.

$$Q_{e2} = (m_{mA} - m_{mD})C_{p_m}(T_c - T_e) \quad (2.6)$$

$Q_{ice1}$  adalah energi yang diperlukan untuk mendinginkan air dari  $T_A$  ke  $0^\circ\text{C}$  dan untuk menghasilkan es.

$$Q_{ice1} = M^*(L^* + C_{p_{Water}}(T_A - 0)) \quad (2.7)$$

$M^*$  dan  $L^*$  masing-masing adalah massa dan kalor laten peleburan es dan pendinginan neto yang dihasilkan adalah

$$Q_{ice} = M^* L^* \quad (2.8)$$

**Perkiraan Unjuk Kerja**

Perkiraan unjuk Kerja (performance estimates) dari system refrigerasi adsorpsi tertutup bisa dinyatakan sebagai berikut :

1. Efisiensi kolektor :

$$\eta_1 = Q_T/Q_I \quad (2.9)$$

$Q_I$  adalah energi input total ke sistem selama proses generasi.

2. Efisiensi Evaporator

$$\eta_2 = Q_{ice}/Q_e \quad (2.10)$$

3. COP Siklus refrigerasi

$$COP = Q_{e1}/Q_T \quad (2.11)$$

4. COP neto matahari (Sumber kalor lain)

$$COP = Q_{ice}/Q_I \quad (2.12)$$

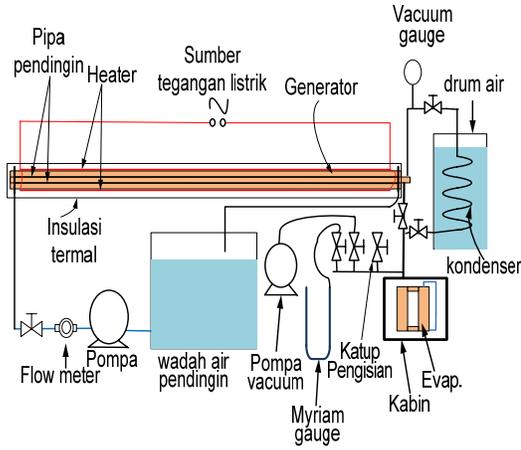
**Karbon Aktif**

Karbon aktif (activated carbon) adalah suatu bentuk dari karbon yang telah diolah supaya zat tersebut mempunyai banyak pori-pori sehingga mempunyai luas permukaan yang sangat besar untuk penyerapan(adsorption) atau reaksi-reaksi kimia (Wikipedia). Disebut karbon aktif karena mempunyai derajat mikroporositas (degree of microporosity) yang tinggi, satu gram karbon aktif mempunyai luas permukaan lebih dari  $500\text{ m}^2$ . Karbon aktif bisa dihasilkan dari beberapa bahan diantaranya tempurung kelapa, kayu, dan batubara. Bentuk karbon aktif yang digunakan untuk penyerapan gas adalah Granular (butiran). Pada penelitian ini karbon aktif yang digunakan adalah bentuk granular yang terdapat di pasaran lokal.

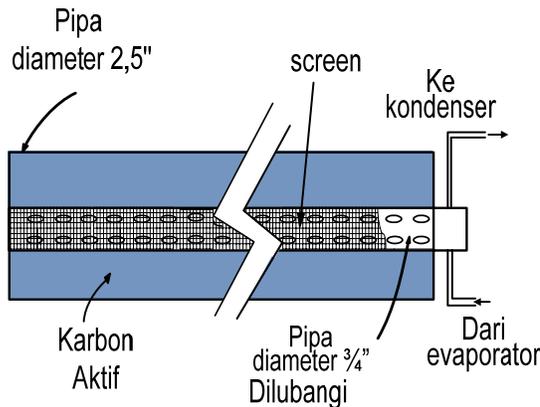
**3. PENGUJIAN**

Sistem refrigerasi adsorpsi yang dibuat dirancang untuk bisa digerakan oleh energi matahari dengan bantuan konsentrator parabola. Pengujian yang dilakukan baru sampai tahap unjuk kerja generator dengan bantuan sumber kalor dari heater listrik. Skema sistem terlihat pada Gambar 3.

Generator terbuat dari dua pipa tembaga masing-masing berdiameter 2,5 inci dan 3/4 inci, yang dipasang secara konsentrik, panjang 196 cm. Pipa dalam diberi lubang-lubang berdiameter 5 mm, dengan jarak antar lubang 1 cm, kemudian ditutup screen. Karbon aktif sebanyak 2,67 kg diletakan di ruang antara ke dua pipa tersebut (anulus). Metanol yang digunakan adalah jenis praktikal analisis, dari Merck, diisikan ke evaporator sebanyak 400 ml. Skema konstruksi generator terlihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Skema sistem adsorpsi pengujian  
 Pengujian dilakukan dengan temperatur pemanasan generator 140 °C dan 160 °C, lama pemanasan 4 jam.



Gambar 4 Konstruksi generator

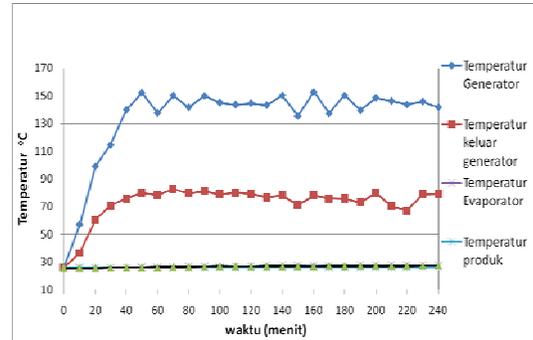
**5.HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari percobaan awal diperoleh kondisi metanol seperti Tabel 1. Dari tabel tersebut diperoleh bahwa daya serap karbon aktif yang digunakan terhadap metanol adalah  $0,087/2,67 \text{ kg/kg} = 32,679 \text{ g/kg}$ , jauh lebih kecil daripada yang dinyatakan oleh Leite dkk, yaitu 286 gr/kg. Sehingga perlu jumlah karbon aktif yang lebih besar untuk menyerap lebih banyak metanol.

Tabel 1. Kuantitas metanol yang digunakan

Metanol diisikan	400 ml
Metanol tersisa setelah adsorpsi	289,8 ml
Metanol terserap karbon aktif	110,2 ml
Massa metanol terserap	0,087 kg

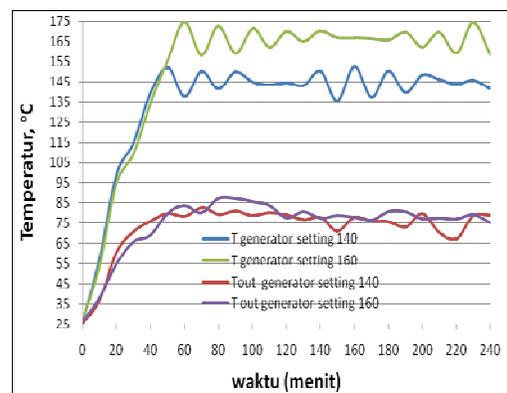
Dari hasil pengujian, untuk pemanasan diperoleh temperatur refrigeran keluar generator tidak sama dengan temperatur permukaan generator, perbedaan cukup jauh, seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemanasan generator 140 °C

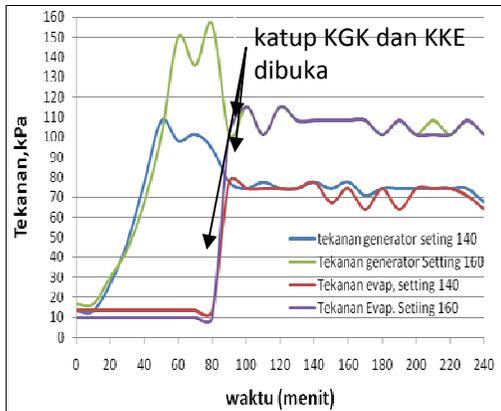
Perbedaan temperatur tersebut disebabkan karena rendahnya koefisien perpindahan kalor dari karbon aktif, hal ini sesuai dengan pernyataan A. Boubakri (A Boubakri, 2003).

Temperatur generator dan keluar generator selama 4 jam pemanasan untuk setting temperatur termostat 140 °C dan 160 °C terlihat pada Gambar 6. Dari Gambar 6 tersebut, pada 50 menit pertama temperatur generator tidak berbeda jauh untuk kedua setting termostat, hal ini karena kalor yang diberikan sama, sesuai dengan daya listrik heater yang digunakan. Termostat yang digunakan sudah berfungsi dengan baik.



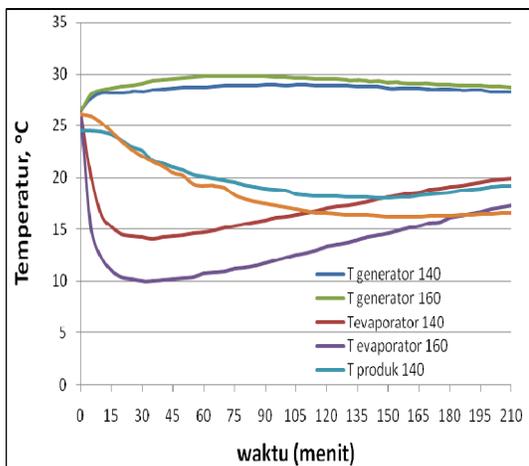
Gambar 6. Temperatur Pemanasan

Perubahan tekanan selama 4 jam pemanasan terlihat pada Gambar 7. Temperatur pemanasan yang lebih tinggi menghasilkan tekanan generator yang lebih besar, ketika katup generator ke Kondenser (KKG) dan katup kondenser ke evaporator dibuka (KKE) maka terjadi penyesuaian tekanan, tekanan gtenerator dan tekanan evaporator hampir sama.



Gambar 7. Tekanan selama pemanasan

Pada saat proses pendinginan di evaporator (absorpsi), perubahan temperatur yang terjadi terlihat pada Gambar 8. Pada saat penyerapan (adsorpsi) metanol oleh karbon aktif terjadi, generator mengalami kenaikan temperatur, hal ini sesuai dengan teori bahwa reaksi adsorpsi menyebabkan terjadinya pelepasan kalor. Proses pendinginana di evaporator dari hasil pemanasan generator 140 °C menghasilkan temperatur evaporator terendah 14,1 °C dan produk 18 °C, sedangkan untuk pemanasan generator 160 °C temperatur evaporator terendah 10,0 °C dan produk terendah 16,2 °C. Dari Gambar 8 terlihat bahwa setelah temperatur evaporator terendah tercapai, evaporator mengalami kenaikan temperatur, demikian juga temperatur produk. Kenaikan temperatur yang cepat disebabkan masuknya kalor dari lingkungan luar kabin, berarti insulasi kabin kurang baik.



Gambar 8. Perubahan temperatur pada saat proses absorpsi (refrigerasi)

Temperatur evaporator dan produk yang tercapai tidak memungkinkan untuk menghasilkan es. Untuk mencapai temperatur rendah perlu digunakan karbon aktif yang lebih banyak.

## KESIMPULAN

- Dari hasil pengujian diperoleh kesimpulan :
1. Daya serap karbon aktif lokal terhadap metanol, dari penelitian ini diperoleh 32,679 gram/kg.
  2. Sistem refrigerasi adsorpsi menggunakan karbon aktif lokal, bisa bekerja namun temperatur yang dicapai masih terlalu tinggi.
  3. Daya serap karbon aktif lokal terhadap metanol yang rendah, memerlukan jumlah karbon aktif yang lebih besar untuk pencapaian temperatur yang sama dengan karbon aktif impor.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE ,ASHRAE HANDBOOK OF FUNDAMENTAL 2001, SI Edition, Atlanta, 2001.
- Boubakri, A., A New Conception of An Adsorptive solar powered ice maker, Renewable Energy 28 (2003) 831 – 842, Pergamon Press
- Hu, Eric Jing, Simulated Results Of A non-valve, daily-Cycled, Solar-Powered Carbon/Methanol Refrigerator With Tubular Solar Collector
- Khatib, N.M., A Novel Solar-Powered Adsorption Refrigeration Module, Applied Thermal Engineering 24 (2004) 2747-2760, Elsevier
- Leite, Antonio P. Ferreira, Machado, Moacir Martin, Riffel, Douglas Bressan, Belo, Francisco Antonio, Experimental Study of an Adsorptive Refrigeration Cycle, <http://dougbr.webng.com>
- Perry, Robert H., Green, Don W., Maloney, James O., Perry's Chemical Engineers' Hand Book, Mc Graw-Hill, New York, 1997.
- Pridasawas, W. Solar-Driven Refrigeration Systems with Focus on the Ejector Cycle, Doctoral Thesis School of Industrial Engineering and Management Insitute of Technology, KTH, Stockholm (2006).
- Saphis, N.,et all, Study on Solar Adsorption refrigeration cycle utilizing activated carbon prepared from olive stones, Revue des Energies renouvelables, vol 10 (2007), p 415 – 420.
- Sumathy, K, Zhongfu, Li, Experiments With Solar-powered Adsorption Ice-Maker, Renewable Energy 16 (1999) 704-707
- Thumautok, P., Wongsuwan, W., and Kiatsiriroat,T. Performance Analysis of A Solar Adsorption Heating And Cooling Sytem <http://www.thaiscience.info>

Vanek, Jaroslav, et al, A Solar Ammonia Absorption Icemaker, Home Power #53, 1966

Wang, R.Z., Li, M., XU, X, and Wu, J.Y., An Energy Efficient Hybrid System of Solar Powered Water Heater And Adsorption Ice Maker, Solar Energy Vol. 68. No. 2, pp 189-195, Elsevier Science Ltd, 2000.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Activated\\_carbon](http://en.wikipedia.org/wiki/Activated_carbon)

[http://www.engineeringtoolbox.com/methanol-properties-d\\_1209.html](http://www.engineeringtoolbox.com/methanol-properties-d_1209.html)