

Model Eksperimen Konversi Energi Sistem Refrigerasi Dengan Metode Adsorpsi

Dewanto Harjunowibowo¹, Danar Susilo Wijayanto², July Trianita Widya Rahayu³

^{1,2,3} Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir.Sutami No.36 A Surakarta 57126

E-mail : dewanto_h@yahoo.com¹, danarsw@yahoo.com², julytrianita@gmail.com³

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun model eksperimen konversi energi panas untuk refrigerasi. Selain itu juga untuk mengetahui cara kerja dan efisiensi sistem pendingin dengan metode adsorpsi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen, alat dan bahan menggunakan alat destilator, alat ukur suhu, dan *adsorbent-pair*. *Adsorbent-pair* yang digunakan dalam penelitian ini adalah karbon aktif dan metanol. Data dalam penelitian ini diambil melalui eksperimen di laboratorium menggunakan alat eksperimen yang telah dibangun. Hasil percobaan menunjukkan keberhasilan sistem pendingin yang dibangun ditinjau dari penurunan suhu pada evaporator dari 27 °C hingga 19 °C. Sistem pendingin adsorpsi ini memiliki dua siklus desorpsi dan adsorpsi sehingga proses pendinginan bersifat *intermittent*. Efisiensi kerja dari sistem (COP) mencapai 0,18 pada tekanan operasional 1 atm.

Kata kunci : refrigerasi, adsorpsi, desorpsi, COP (*Coeffisien Of Performance*), karbon aktif, metanol, *intermittent*.

I. Pendahuluan

Eksperimen dalam ilmu fisika merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari pembelajarannya. Eksperimen selalu mampu memberikan pengalaman yang unik dan sangat mengesankan sehingga mampu memaksa otak untuk mengingat dan memahami dalam jangka panjang.

Konversi energi dari panas menjadi listrik, ataupun panas menjadi mekanik adalah hal yang biasa dipelajari. Namun konversi energi panas menjadi dingin merupakan hal yang baru.

Pada umumnya sistem pendingin saat ini bekerja dengan sistem kompresi uap menggunakan energi listrik dan refrigeran sintetik. Hal ini berarti terjadi pemborosan energi listrik yang besar. Untuk itu, diperlukan adanya sistem pendingin alternatif yang dapat meminimalkan dampak negatif sistem pendingin yang sudah ada. Sistem refrigerasi dengan metode adsorpsi merupakan sistem pendingin alternatif yang ramah lingkungan dan efisien terhadap energi.

Sistem referigasi dengan menggunakan pasangan karbon aktif-methanol ini hanya

memerlukan energi panas untuk dapat bekerja. Di samping itu, sistem referigasi ini termasuk ramah lingkungan karena tidak menghasilkan gas buang yang dapat merusak lapisan ozon seperti halnya pada sistem pendingin yang banyak digunakan saat ini.

Li et al (2004b) melakukan penelitian mengenai efektivitas pasangan adsorber karbon aktif-methanol dan karbon aktif-ethanol terhadap penurunan suhu yang dihasilkan oleh sistem referigasi. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil terbaik adalah pada adsorber-pair karbon aktif-methanol yang mampu menghasilkan 3.45 kg es dengan energi radiasi 15.2 MJ. Penggunaan adsorber-pair yang tepat akan mampu meningkatkan performa dari SIM sehingga efisiensinya meningkat (*COP-Coefficient of Performance*).

Berdasarkan kajian tersebut, maka rancang bangun eksperimen ini ditujukan untuk menganalisis kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap metanol serta penurunan temperatur yang dihasilkan oleh sistem referigasi ini. Variabel yang diukur dalam penelitian ini adalah temperatur generator (T_{gen}), temperatur evaporator (T_{evap}), temperatur wadah ($T_{chiller}$) dan temperatur lingkungan (T_{lingk}). Dari data

berupa temperatur tersebut dapat diukur nilai COP (*Coeffisien Of Performance*) yang dihasilkan oleh sistem refrigerasi menggunakan pasangan karbon aktif-metanol.

Nilai COP tersebut menggambarkan efisiensi sistem. Semakin tinggi nilai COP, maka sistem tersebut semakin efisien. Selain itu, juga diukur volume metanol yang dapat diserap oleh karbon-aktif. Data ini dapat digunakan untuk menggambarkan daya serap karbon aktif terhadap metanol.

II. Pembahasan

Langkah pertama yang dilakukan yaitu menyiapkan alat dan bahan praktikum sistem refrigerasi dan merangkainya sebagaimana Gambar 1. Tahap selanjutnya melakukan eksperimen sesuai langkah yang telah dirancang. Data-data meliputi perubahan suhu setiap menit pada generator, kondensor, *chiller*, dan lingkungan direkap ke dalam tabel.

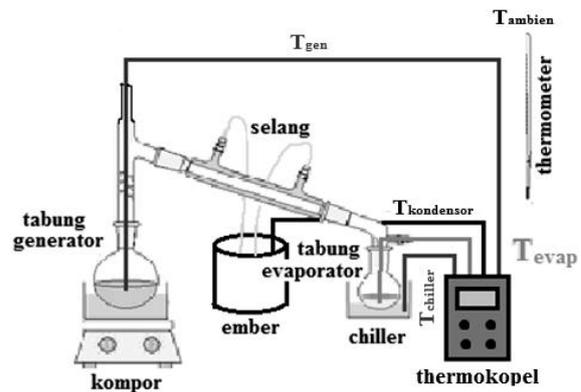
Tahapan terakhir melakukan analisis terhadap data-data yang diperoleh dari eksperimen. Dari data tersebut diolah menjadi informasi berupa grafik perubahan suhu yang terjadi saat siklus desorpsi dan adsorpsi. Selain itu *Coefficient of performance* (COP) ditentukan dari perbandingan antara suhu yang dibuang pada *chiller* dengan suhu generator.

2.1 Setting Eksperimen

Sistem pendingin adsorpsi tenaga panas ini terdiri dari tiga komponen, yaitu :

1. Generator
2. Kondensor
3. Evaporator

Pada penelitian ini, dirancang sistem refrigerasi berbasis proses evaporasi. Secara sederhana, sistem refrigerasi dengan proses evaporasi ini digambarkan pada Gambar 1 :

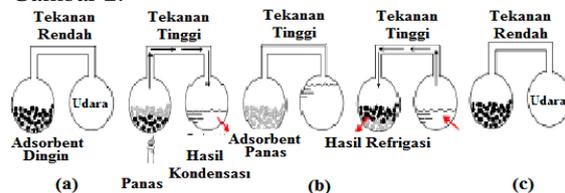


Gambar 1. Rancangan Eksperimen Sistem Refrigerasi

Tabung generator dan tabung evaporator, saling dihubungkan dengan pipa kondensor. Tabung generator diletakkan di atas pemanas untuk menaikkan suhu dalam tabung tersebut saat siklus desorpsi. Sedangkan tabung evaporator dimasukkan ke dalam air (*chiller*). Pada pipa kondensor terdapat dua saluran yang merupakan saluran untuk air masuk (*inlet*) dan air keluar (*outlet*). Kondensor berfungsi untuk mendinginkan uap refrigerant sehingga mengembun kembali. Pada masing-masing bagian dipasang termokopel untuk mendeteksi perubahan suhu tiap menit.

2.2 Siklus Sistem Refrigerasi

Siklus sistem refrigerasi ini diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Siklus Sistem Refrigerasi

Ginting, F.D. (2008) menjelaskan bahwa Gambar 2a, menunjukkan siklus desorpsi. Siklus saat terjadi penguapan cairan pendingin dari tabung generator menuju tabung evaporator melalui pipa kondensor. Gambar 2b, memperlihatkan proses adsorpsi yakni proses penyerapan kembali cairan pendingin dari evaporator ke tabung generator oleh adsorber.

Proses adsorpsi juga dikenal sebagai proses pendinginan karena cairan metanol di evaporator menyerap panas lingkungan (air) sehingga metanol menguap dan diserap oleh karbon aktif. Akibat dari penyerapan kalor dari air (*chiller*) menyebabkan suhu *chiller* menurun

sampai metanol atau /cairan pendingin habis menguap.

2.3 Adsorbent-Pair

Adsorbent-Pair adalah jenis *adsorber* (bahan penyerap) dan *adsorbate* (cairan pendingin) yang digunakan dalam sistem refrigerasi tenaga panas ini. *Adsorber* terbuat dari bahan-bahan yang sangat berpori, dan proses adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada daerah tertentu di dalam partikel itu.

Adsorber yang telah jenuh dapat diregenerasi agar dapat digunakan kembali untuk proses adsorpsi. Suatu *adsorber* dipandang baik untuk adsorpsi ditinjau dari lama waktu operasional. Yaitu waktu penyerapan dan waktu regenerasi atau pengeringan adsorber. Makin cepat penyerapan dan pelepasan cairan refrigeran tersebut, berarti makin baik unjuk kerja adsorber tersebut (Ambarita, N., 2008). *Adsorbate* adalah substansi dalam bentuk cair atau gas yang terkonsentrasi pada permukaan *adsorber* (Suzuki, 1990).

Pasangan penyerap padat yang sering digunakan dalam pembuatan sistem refrigerasi dengan sistem evaporasi, diantaranya yaitu, Karbon aktif-Metanol (Li dan Sumathy, 1999; Li et al, 2004; Dai et al. 2002), LiCl-CaCl₂ (Li XW et al, 2009), dan Silika Gel-Air (Yang dalam Li, G et al, 2012).

Karbon aktif dibuat dari material semacam kayu, batubara, tulang, dan kulit kelapa (Wang dkk, 2009). Beberapa hal yang membedakan antara karbon aktif dengan adsorber lain yaitu pada bentuk permukaannya. Permukaan karbon aktif, secara keseluruhan, diliputi dengan matrik oksida dan beberapa material anorganik, oleh karena itu karbon aktif bersifat non polar atau hanya memiliki sebuah polaritas yang lemah (Wang dkk, 2009).

Penyerapan panas dari pasangan karbon aktif lebih rendah dibandingkan pasangan padatan yang lain. Daya serap ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi jika terhadap karbon aktif tersebut dilakukan aktivasi dengan aktif faktor bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi.

Adsorber karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini berupa granul (butiran).

Adapun sifat dari karbon aktif yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Adsorber Karbon Aktif

Sifat Adsorber Karbon Aktif	
Massa Jenis	352,407 – 544,629 m ³ /kg
Pore Volume	0,56 – 1,20 cm ³ /g
Diameter rata-rata pori	15 – 25 Å
Regeneration Temperature (Steaming)	100 – 140 °C
Ukuran Karbon Aktif	3 mm

(Sumber : Hussein, 2008)

Metanol juga dikenal sebagai metil alkohol, *wood alcohol* atau spiritus. Metanol (Tabel 2) merupakan bentuk alkohol paling sederhana. Pada keadaan atmosfer, metanol berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar dan beracun dengan bau yang khas (berbau lebih ringan dari pada etanol). Metanol digunakan sebagai bahan pendingin anti beku, pelarut, bahan bakar dan sebagai bahan aditif bagi etanol industri (Gupta N et al, 2008)

Tabel 2. Sifat Metanol

Sifat Metanol	
Massa Jenis	787 kg/m ³ , cair
Titik Lebur	-97,7 °C
Titik Didih	64,5 °C
Klasifikasi EU	Flammable (F), Toxic (T)
Panas Laten Penguapan (L _e)	1100 kJ/kg

(Sumber : Hussein, 2008)

2.4 COP (Coefficient of Performance)

COP (*Coefficient of Performance*) refrigerasi merupakan gambaran efisiensi siklus alat refrigerasi, yang dinyatakan oleh perbandingan energi kalor yang diserap dari evaporator (Q_{evap}) terhadap energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor (W). Pada sistem refrigerasi ini, pemakaian kompresor digantikan dengan karbon aktif. Untuk menaikkan tekanan refrigeran yang teradsorpsi agar mencapai tekanan kondensasinya, karbon aktif dipanaskan sampai pada temperatur tertentu.

Coefficient of Performance (Alva and González, 2001) dapat ditunjukkan pada persamaan 1.

$$COP = \frac{Q_{in}}{W}$$

$$COP = \frac{T_{amb} - T_{chiller}}{T_{gen}} \tag{1}$$

T_{amb} adalah suhu lingkungan yang diserap ($^{\circ}C$), $T_{chiller}$ adalah suhu chiller ($^{\circ}C$), dan T_{gen} adalah suhu generator yang dibutuhkan ($^{\circ}C$).

2.5 Daya Serap

Sifat karbon aktif yang paling penting yaitu daya serap. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya serap adsorpsi (Jayaswabowo, N., 2008), yaitu :

a. Sifat Adsorber

Karbon aktif adalah suatu padatan berpori yang sebagian besar terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing berikatan secara kovalen. Dengan demikian, permukaan karbon aktif bersifat non polar. Selain komposisi dan polaritas, struktur pori juga merupakan faktor yang penting. Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil pori-pori karbon aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar. Dengan demikian kecepatan adsorpsi bertambah. Untuk meningkatkan kecepatan adsorpsi, digunakan karbon aktif yang telah dihaluskan.

b. Sifat Serapan

Banyak senyawa yang dapat diadsorpsi oleh karbon aktif, tetapi kemampuannya untuk mengadsorpsi berbeda untuk masing-masing senyawa. Adsorpsi akan bertambah besar sesuai dengan bertambahnya ukuran molekul serapan dari struktur yang sama. Adsorpsi juga dipengaruhi oleh gugus fungsi, posisi gugus fungsi, ikatan rangkap, struktur rantai dari senyawa serapan.

c. Temperatur

Dalam pemakaian karbon aktif dianjurkan untuk menyelidiki temperatur pada saat berlangsungnya proses. Karena tidak ada peraturan umum yang bisa digunakan dalam adsorpsi. Faktor yang mempengaruhi temperatur proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas termal senyawa serapan. Jika pemanasan tidak mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didihnya.

d. Waktu Singgung

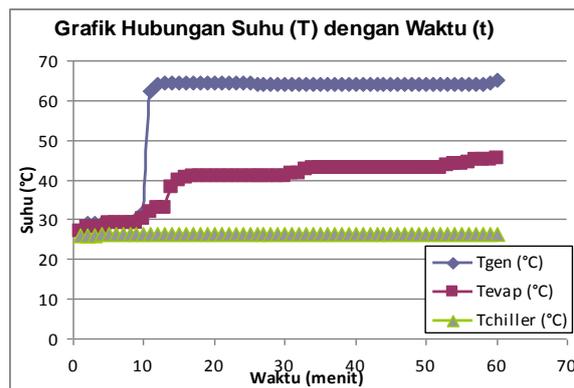
Bila karbon aktif ditambahkan ke dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan ini berbanding terbalik dengan jumlah karbon yang digunakan.

2.6 Hasil Penelitian

Adsorpsi dan desorpsi merupakan suatu proses yang dapat berlangsung secara ireversible. Adsorpsi merupakan proses *exothermic* dimana *adsorber* (karbon aktif) dan *adsorbate* (metanol) melepaskan

panas sehingga menyebabkan penurunan pergerakan molekul adsorber yang mengakibatkan adsorbate menempel pada permukaan adsorber dan membentuk suatu lapisan tipis.

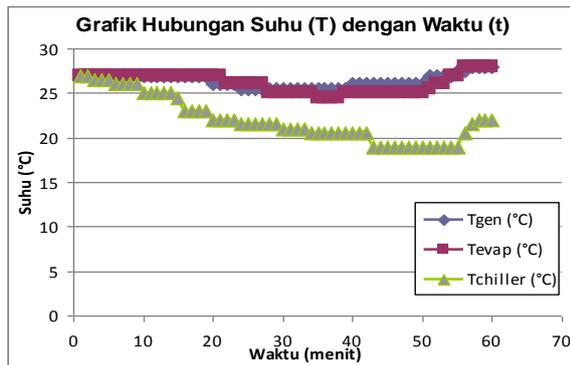
Pada saat sistem dipanaskan, pergerakan molekul adsorber akan meningkat sehingga pada jumlah panas tertentu akan menghasilkan energi kinetik yang cukup untuk melepaskan adsorbate dari adsorber. Proses pelepasan adsorbate dari adsorber disebut sebagai proses desorpsi, dimana proses ini membutuhkan energi panas sehingga disebut proses *endothermic*.



Gambar 3. Grafik Hubungan Suhu terhadap Waktu pada saat Desorpsi

Hubungan temperatur terhadap waktu saat siklus desorpsi ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa pada saat siklus desorpsi/pemanasan pada Generator, terjadi kenaikan suhu pada masing-masing komponen. Kenaikan suhu paling signifikan terjadi pada Generator, yaitu dapat mengalami kenaikan hingga $35^{\circ}C$ kemudian stabil di kisaran suhu $64^{\circ}C$. Hal ini sesuai dengan titik didih metanol (Hussein, 2008). Sedangkan suhu pada evaporator mengalami kenaikan suhu secara perlahan, bahkan suhu Chiller stabil di $27^{\circ}C$.

Hubungan temperatur terhadap waktu saat siklus adsorpsi terlihat pada Gambar 4. Setelah proses desorpsi selesai yang ditandai dengan kenaikan suhu Generator maka dilakukan tahapan selanjutnya. Tahapan berikutnya adalah penghentian proses pemanasan dan menutup tabung evaporator serta menunggu suhu sistem stabil seimbang dengan suhu ruangan.



Gambar 4. Grafik Hubungan Suhu terhadap Waktu pada saat Adsorpsi

Proses pendinginan dilakukan setelah semua suhu sistem sama dengan suhu lingkungan dan tabung evaporator kembali dibuka serta dipasang lagi pada pipa kondensor. Dari Gambar 4, dapat dilihat bahwa semua komponen terjadi penurunan suhu.

Pada siklus ini peristiwa pendinginan difokuskan pada chiller. Hal tersebut terjadi pada saat refrigeran dalam tabung evaporator menyerap kalor dalam chiller sehingga menguap dan terjadi penurunan suhu pada chiller. Selama siklus adsorpsi, suhu Chiller terus mengalami penurunan hingga mencapai 19 °C pada menit ke-43. Pada menit ke-56, suhu Chiller kembali naik karena metanol pada evaporasi mulai menipis.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa untuk suhu lingkungan yang ada disekitar sistem sebesar 29 °C, dengan suhu awal chiller sebesar 27 °C dan akhir 19°C, maka suhu yang diserap oleh refrigeran sebesar 8 °C. Sementara itu, suhu yang dibutuhkan untuk memanaskan Generator adalah sebesar 35 °C. Dari data tersebut, maka nilai COP dari sistem ini sebesar :

$$COP = \frac{8}{35} \cong 0,23$$

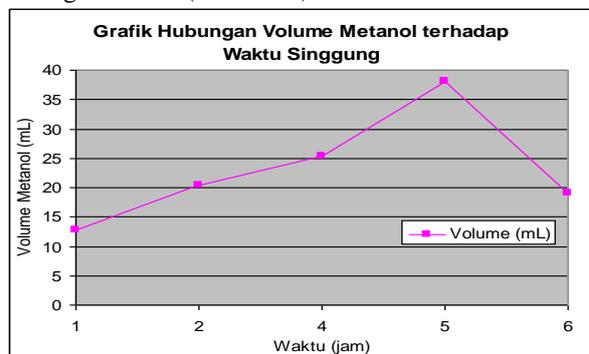
Untuk daya serap karbon aktif terhadap metanol, dilakukan uji coba serapan menggunakan karbon aktif sebanyak 100 gram dan volume metanol 100 mL dengan variasi waktu singgung, yaitu 1 jam, 2 jam, 4 jam, 5 jam, dan 6 jam,. Dari pengamatan ini diperoleh bahwa semakin lama waktu perendaman, maka volume metanol yang diserap juga semakin banyak.

Tabel 3 menunjukkan hasil pengamatan daya serap karbon aktif terhadap metanol :

Tabel 3. Data Pengamatan Daya Serap Karbon Aktif terhadap Metanol

WAKTU (jam)	MASSA KARBON AKTIF (gr)		VOLUME METHANOL (mL)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
1	100	110	100	87,3
2	100	116	100	79,7
4	100	120	100	74,6
5	100	130	100	61,9
6	100	115	100	80,9

Hasil tersebut dapat digambarkan dalam grafik sebagai berikut (Gambar 5) :



Gambar 5. Grafik Volume Methanol yang Diserap oleh Karbon Aktif

Berdasarkan data pengamatan di atas, dapat dilihat bahwa karbon-aktif dapat menyerap hingga hampir 30% dari volume methanol awal. Hal ini sesuai dengan Hussein (2008) bahwa maksimum kapasitas adsorpsi karbon aktif terhadap metanol adalah 26% berat karbon aktif. Sedangkan waktu optimal perendaman karbon aktif dalam metanol adalah 5 jam.

Siklus sistem refrigerasi ini merupakan siklus semi kontinyu atau *intermittent*. Hal ini karena terjadinya proses pendinginan harus menunggu penurunan suhu sistem hingga seimbang. Satu siklus terdiri dari siklus desorpsi dan siklus adsorpsi.

III. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Rancang bangun alat praktikum konversi energi panas ke dingin menggunakan metode evaporasi telah berhasil. Proses refrigerasi ini berlangsung dengan menggunakan sistem adsorpsi *adsorbent-pair* karbon aktif-metanol.
2. Dari hasil penelitian, diperoleh nilai COP Sistem eksperimen sebesar 0,23. Sedangkan kemampuan

serap karbon aktif terhadap metanol dapat mencapai 30% dari massa karbon aktif dengan waktu optimal penyerapan selama 5 jam.

Saran

Untuk meningkatkan akurasi data maka perlu menjaga sistem terisolasi dari kontak lingkungan. Selain itu untuk mendapatkan COP yang lebih baik maka pemvakuman sistem akan sangat baik.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada DIKTI dan UNS atas dana Hibah yang diberikan dengan no kontrak 501/UN27.11/PN/2014.

IV. DAFTAR PUSTAKA

- Alva, L.H. and González J.E., 2001. Simulation Of An Air-Cooled Solar-Assisted Absorption Air Conditioning System, Proceedings of Forum 2001 Solar Energy: The Power to Choose, April 21-25, Washington, DC.
- Ambarita, N. 2008. Modifikasi Mesin Pendingin. Jakarta : Universitas Indonesia
- Critoph, R.E. 1996. Evaluation of alternative refrigerant-adsorbent pairs for refrigeration cycles. Applied Thermal Engineering 16(11), pp.891-900
- Dai, Y.J., Wang, R.Z., dan Xu, Y.X. 2002. Study of a solar powered solid adsorption-desiccant cooling system used for grain storage. Renewable Energy 25, pp. 417-430.
- Dieng, A., dan Wang, R.Z., 2001. Literature review on solar adsorption technologies for icemaking and air-conditioning purposes and recent developments in solar technology, Renewable & Sustainable Energy Reviews 5 (4), pp. 313-342.
- Ginting, F.D., 2008. Pengujian Alat Pendingin. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Gupta N, Sonambekar AA, Daksh SK, Tomar L. 2008. A rare presentation of methanol toxicity. *Ann Indian Acad Neurol*, pp. 249
- Hussein, W.K.S., 2008. Solar Energy Refrigeration by Liquid-Solid Adsorption. Technique, Master Thesis, An-Najah University, Palestine.
- Jayaswabowo, N., 2008. Desain Sistem Pendingin. Jakarta : Universitas Indonesia
- Li, M., Sun, C.J., Wang, R.Z., dan Cai, W.D., 2004a. Development of no valve solar ice maker. Applied Thermal Engineering 24, pp. 865-872.
- Li, M., Huang, H.B., Wang, R.Z., Wang, L.L., Cai, W.D., dan Yang W.M. 2004b. Experimental study on adsorbent of activated carbon with refrigerant of methanol and ethanol for solar ice maker. Renewable Energy 29, pp. 2235-2244.
- Li, M., dan Wang, R.Z., 2002c. A study of the effects of collector and environment parameters on the performance of a solar powered solid adsorption refrigerator. Renewable Energy 27, pp. 369-382.
- Li, Z.F., dan Sumathy, K., 1999. A solar powered ice-maker with the solid adsorption pair of activated carbon and methanol, International Journal of Energy Research 23 (6), pp.517-527.
- Li, G., Hwang, Y., dan Radermacher, R., 2012. Review of cold storage materials for air conditioning application, International Journal of Refrigeration 35(8), pp. 2053-2077.
- Li, X.W., Xiao-Song Zhang, Rong-Quan Cao, dan Xiu-Zhang Fu. 2009. A novel ice slurry producing system: Producing ice by utilizing inner waste heat. Energy Conversion and Management 50 pp. 2893-2904.
- Maggio, G., Gordeeva, L.G., Freni, A., Yu. I. Aristov, Santori, G., Polonara, F., dan Restuccia, G., 2009. Simulation of a solid sorption ice-maker based on the novel composite sorbent "lithium chloride in silica gel pores". Applied Thermal Engineering 29, pp.1714-1720.
- Meza, J.I., Khan, A. Y., and González, J. E., 1998, Experimental assessment of a solar-assisted air conditioning system for applications in the Caribbean, Proceedings of the Solar Engineering Conference, pp. 149-154, New Mexico.
- Sutresna, N. 2008. Kimia. Jakarta : Grafindo Media Pratama
- Suzuki, M. 1990. Adsorption Engineering. Tokyo : Kodansha Ltd.
- Wang, L.W., Wang, R.Z., dan Oliveira, R.G., 2009. A review on adsorption working pairs for refrigeration. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 13(3), pp. 518-534.
- Zhang, YH. 1989. Adsorption function. Shanghai, China: Publishing House of Scientific and Technological Literature in Shanghai.