



## Kajian Pustaka Pengaruh Porositas Buatan Pada Adsorber Terhadap Kualitas Transfer Panas Dan Massa

Shinta Melani Permatasari, Dewanto Harjunowibowo  
Email: [shintamelani90@yahoo.com](mailto:shintamelani90@yahoo.com), [dewanto\\_h@yahoo.com](mailto:dewanto_h@yahoo.com)  
Lab. Fisika Energi Program Studi Pendidikan Fisika FKIP UNS

### Abstrak

Pada mesin pendingin tenaga panas, efisiensi kerja mesin sangat dipengaruhi oleh kemampuan adsorber dalam menyerap refrigeran dalam jumlah yang banyak dan melepaskannya dalam waktu yang singkat. Kecepatan tersebut akan meningkat jika memiliki kecepatan transfer panas dan massa yang tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi besar pori-pori *adsorber* padat terhadap laju transfer massa dan panas pada karbon aktif. Metode penelitian ini menggunakan kajian pustaka dari berbagai sumber atau referensi yang relevan.

Hasil penelitian pustaka yang diperoleh adalah bahwa semakin besar volume pori menyebabkan transfer massanya dan panas tinggi namun terlalu banyak pori menjadikan volume *adsorber* menjadi kecil sehingga transfer massa mencapai titik maksimal dan menurun.

Kata Kunci : karbon aktif, pair adsorber, mesin pendingin

### PENDAHULUAN

Sistem pendingin adsorpsi merupakan salah satu dari sistem pendingin yang ramah lingkungan, dimana dalam operasinya sistem ini dapat dibangkitkan menggunakan sumber energi terbarukan seperti biomassa ataupun sinar surya. Perkembangan dari teknologi mesin pendingin tenaga surya mengarah pada teknologi berbasis sistem siklus tertutup dan terbuka yang dipengaruhi oleh panas matahari (Hartmann dkk, 2010).

Menurut Zhai dan Wang (2009) teknologi pendingin tenaga surya didominasi oleh proses absorpsi (Henning, 2007) dan adsorpsi (Li dkk, 2004a). Untuk menjamin kontinuitas operasional pendinginan, pada sistem yang berbasis adsorpsi membutuhkan minimal dua adsorber. Sistem pendingin adsorpsi menggunakan pasangan adsorber dan refrigeran pada sistem kerjanya. Contoh dari adsorber yaitu silika gel dan karbon aktif, sedangkan contoh dari refrigeran yaitu air dan metanol.

Bentuk adsorber yang sering digunakan adalah *flat plate* (Li dan Sumathy, 2004) dan *parabolic evacuated tube*, tetapi diantara kedua adsorber tersebut yang paling sering



digunakan adalah adsorber yang berbentuk *flat plate* karena lebih ekonomis, mudah perawatannya dan cukup efisien (Saha dkk., 2001).

Pasangan Karbon aktif dan metanol sudah banyak digunakan dalam penelitian-penelitian terdahulu. Karena suhu akhir yang diperoleh mampu mencapai suhu di bawah  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , meskipun ratio penyerapan efektif terhadap Metanol hanya  $0.26\text{ kg/kg}$  karbon aktif (Hussein, 2008). Selain itu pasangan adsorber tersebut memiliki *coeffisien of performance* (COP) yang tinggi dan lebih murah dibandingkan pasangan adsorber lain (Critoph, 1988; Pons dan Guillemiont, 1986).

Keberadaan adsorber dalam sistem mesin pendingin tenaga surya sangat menentukan efisiensi mesin. Oleh karena adsorber ini berfungsi sebagai *interface* antara mesin dengan sinar matahari. Adsorber yang baik harus mampu menyerap cairan refrigeran sebanyak-banyaknya dan melepaskannya kembali secepatnya dengan bantuan panas matahari. Untuk itu adsorber harus mampu menyebarkan aliran panas yang diterima secara baik dan cepat ke seluruh bagian adsorber.

Kecepatan transfer panas ini berbeda-beda hasilnya antara adsorber berbentuk butiran (*granules*) dan padatan (*solid*). Menurut Wang, dkk. (2006), transfer panas pada padatan lebih baik daripada yang butiran. Meski demikian tranfer massa nya rendah. Hal ini dikarenakan kerapatan karbon aktif bentuk padat lebih tinggi daripada bentuk butiran. Selain itu ukuran pori-pori (*porosity*) dari adsorber juga mempengaruhi laju transfer panas dan massa cairan (Kaczmariski dan Bellot, 2003). Jika ukuran pori dari adsorber sesuai dengan ukuran atom dari cairan maka tingkat penyerapannya semakin baik. Sebaliknya jika ukuran pori adsorber terlalu kecil daripada ukuran molekul cairan, maka kemampuan penyerapannya sangat rendah.

Penggunaan *Solid Adsorber Pairs* yang tepat akan mampu meningkatkan performa dari mesin pendingin (*Solar Cooling*) sehingga efisiensinya meningkat (COP-*Coefficient of Performance*). Beberapa penelitian terkait efektifitas *Solid Adsorber Pairs* telah dilakukan, namun belum ada yang meneliti mengenai pengaruh ukuran diameter pori-pori buatan pada lapisan adsorber serta pengaruh jarak antar pori-pori terhadap laju transfer panas dan massa cairan refrigeran.

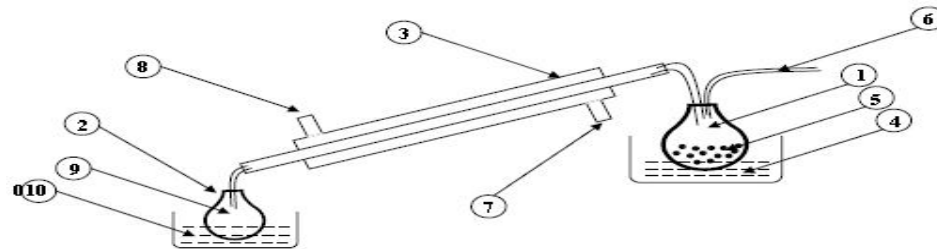
Sehingga dalam makalah ini akan ditelaah secara kepustakaan prinsip kerja secara umum dari Solar Cooling dan keterkaitan antara porositas buatan dengan kemampuan transfer panas dan massa dari sebuah adsorber.



## Prinsip Kerja Solar Cooling

Solar Cooling merupakan sistem pendingin dengan memanfaatkan panas matahari. Mesin tersebut terdiri atas tiga komponen utama (Li dkk., 2004a), yaitu Generator yang berisi Solid absorbent pair, Kondensor, dan Evaporator penghasil suhu dingin.

Skema *Solar Cooling* terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema inti dari *Solar cooling*. 1. Generator; 2. Evaporator; 3. Kondensor; 4. Oli pemanas; 5. karbon aktif; 6. pipa vakum; 7 & 8. inlet & outlet air kondensor; 9. Metanol; 10. air yang didinginkan.

Alat utama terdiri dari dua ruangan yang saling terhubung dengan salah satu ruang berisi adsorber (bagian generator) dan ruang yang lain sebagai *evaporator*. Di dalam generator terdapat padatan yang berfungsi sebagai penyerap cairan bisa berupa pasangan Silika gel-Air (Maggio dkk., 2009) atau Karbon Aktif-Metanol (Li dan Sumathy, 1999; Li dkk., 2004b; Dai dkk., 2002).

Saat siang hari, pada generator terjadi penguapan (desorpsi), uap tersebut menuju kondensor (mengembun) lalu terkumpul di *evaporator*. Produksi es terjadi saat malam hari (Li dan Sumathy, 1999; Dieng dan Wang, 2001). Karena tekanan dan suhu di generator lebih rendah dari *evaporator*, metanol di *evaporator* mengambil kalor dari lingkungannya untuk menguap menuju *adsorber* pada Generator (adsorpsi). Karena penyerapan kalor lingkungan oleh Metanol di *evaporator*, terjadilah es dari air yang berada di lingkungan *evaporator*.

Menurut Li dan Sumathy (1999), mesin pendingin dengan satu kolektor pelat ( $0.92 \text{ m}^2$ ), dengan *Solid Adsorber Pairs* karbon aktif-metanol mampu memproduksi  $4.3\text{-}5.4 \text{ kg/m}^2$  es per hari dengan COP  $0.10\text{-}0.12$ . Hal tersebut senada dengan Li dkk., (2004a), desain SIM tanpa katup menghasilkan es  $4.5\text{-}7 \text{ kg/m}^2$  perhari dengan COP  $0.12\text{-}0.14$  dan satu kolektor pelat  $0.94 \text{ m}^2$ .

## Solid Absorbent Pair



Proses adsorpsi secara garis besar terbagi menjadi dua jenis yakni adsorpsi secara fisis (Critoph dan Metcalf; 2004) dan kimia (Kato, dkk., 2001). Ikatan van der Walls antara molekul adsorber dengan adsorbat menyebabkan penyerapan secara fisis (Ponec, dkk., 1974). Banyaknya pori yang dimiliki oleh adsorber membuatnya mampu menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak. Penyerapan secara fisis ini akan maksimal jika ukuran pori penyerap sama dengan ukuran molekul cairan yang diserap. Oleh karena itu dilakukan rekayasa pembuatan ukuran pori yang bervariasi sesuai kebutuhan agar diperoleh penyerapan yang maksimal pula. Pembuatan pori-pori tersebut memiliki perlakuan yang berbeda tergantung dari jenis penyerapnya (Zhang, 1989), bisa dengan direaksikan dalam aliran gas atau agen tertentu.

Pembuatan campuran adsorber dilakukan untuk mendapatkan peningkatan pada transfer massa dan panas daripada ketika dalam bentuk aslinya. Jenis adsorber ini biasanya diperoleh dari kombinasi antara adsorber yang dibentuk secara kimiawi dan media pori yang menjadi adsorber secara fisis ataupun tidak. Beberapa contoh dari komposit adsorber tersebut adalah karbon aktif, grafit maupun serat karbon (Wang, dkk., 2004; 2006; Aidoun dan Ternan, 2002).

Adsorber yang sering digunakan adalah Karbon aktif (Li dan Sumathy, 1999; Li dkk., 2004b; Dai dkk., 2002), Serat karbon aktif, zeolit (Wang, dkk., 2009), dan Silika Gel-Air (Yang dalam Li, G dkk., 2012).

## **Hubungan Porositas terhadap Kemampuan Transfer Panas dan Massa Adsorber**

### **1. Adsorber**

Adsorber atau kebanyakan zat pengadsorpsi adalah bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada daerah tertentu di dalam partikel itu. Karena pori-pori adsorber biasanya sangat kecil maka luas permukaan dalamnya menjadi beberapa kali lebih besar dari permukaan luar. Adsorber yang telah jenuh dapat diregenerasi agar dapat digunakan kembali untuk proses adsorpsi. Suatu adsorber dipandang sebagai suatu adsorber yang baik untuk adsorpsi dilihat dari sisi waktu. Lama operasi terbagi menjadi dua, yaitu waktu penyerapan hingga komposisi diinginkan dan waktu regenerasi/pengeringan adsorber. Makin cepat dua variabel tersebut, berarti makin baik unjuk kerja adsorber tersebut.

### **2. Karakteristik Karbon Aktif sebagai Adsorber**



Karbon aktif biasa dibuat dari material semacam kayu, batubara, tulang, dan kulit kelapa (Wang dkk, 2009). Gambar 2 memperlihatkan struktur dari karbon aktif yang diproduksi dari tulang memiliki cincin enam elemen atom karbon (Zhang, 1989). Kinerja adsorpsi dipengaruhi oleh gugus fungsional yang terhubung ke cincin atom karbon. Sebagai contoh, gugus Aromatis (gugus aromatis) meningkatkan adsorpsi, sedangkan gugus sulfonat menurunkan daya adsorpsi. Asam gugus fungsional meningkatkan selektivitas adsorpsi. Gugus fungsi pada permukaan karbon aktif berbeda jika bahan asli karbon dan metode aktivasinya berbeda. Area spesifik karbon aktif adalah antara 500 dan 1500 m<sup>2</sup>/g.



Gambar 2. Struktur atom karbon aktif (Zhang, 1989)

Beberapa hal yang membedakan antara karbon aktif dengan adsorber lain adalah 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.

### 3. Pengaruh Volume Pori Buatan Adsorber Layer terhadap Transfer Massa dan Panas

Dari Tabel 1 terdapat parameter tentang *density* atau massa jenis, dan *Average thermal conductivity* (konduktivitas panas rerata) untuk mengetahui hubungan jarak antar pori adsorber terhadap transfer panas dan massa. Dari data tersebut diketahui bahwa massa jenis karbon aktif yang dipadatkan lebih besar daripada massa jenis karbon aktif dalam bentuk serbuk/butiran.

Tabel 1. Parameter Karbon Aktif

<i>Physical properties</i>	<i>Granular activated carbon</i>	<i>Consolidated active carbon</i>
<i>Density</i>	460 kg m <sup>-3</sup>	600 kg m <sup>-3</sup>
<i>Average thermal conductivity</i>	0.11 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	0.30 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
<i>Specific heat capacity</i>	0.93kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	0.93kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>

(Sumber : Hussein, 2008)

Mengingat persamaan massa jenis adalah



$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

dimana  $\rho$  adalah massa jenis ( $\text{kgm}^{-3}$ ),  $m$  adalah massa ( $\text{kg}$ ), dan  $V$  adalah volume ( $\text{m}^3$ )

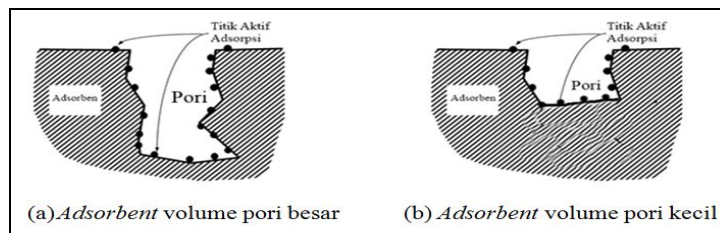
Berdasarkan persamaan (1), massa jenis berbanding lurus dengan massa ( $\rho \approx m$ ), jadi massa dari karbon aktif yang dipadatkan lebih besar dari massa karbon aktif dalam bentuk serbuk/butiran. Dengan mengasumsikan volume ruang keduanya adalah sama.

Pemadatan tersebut mengakibatkan jarak antar materi semakin rapat sehingga mengakibatkan panas dari satu titik dapat menginduksi titik-titik lain disekitarnya secara cepat daripada dalam bentuk granul. Hal tersebut mengakibatkan nilai konduktivitas reratanya lebih tinggi dibandingkan dengan granul.

Menurut Sudibandriyo (2011) luas permukaan karbon aktif sebagai adsorber merupakan salah satu parameter yang penting. Karbon aktif dapat dikatakan sebagai adsorber yang baik jika memiliki luas permukaan yang besar. Hal ini karena luas permukaan adsorber merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi. Luas permukaan karbon aktif di pengaruhi oleh struktur pori yang menyusunnya. Dalam penelitiannya, Subandriyo mengemukakan bahwa semakin banyaknya pori-pori yang terbentuk, maka luas permukaan yang dihasilkan juga semakin tinggi.

### Pengaruh Volume Pori terhadap Transfer Massa

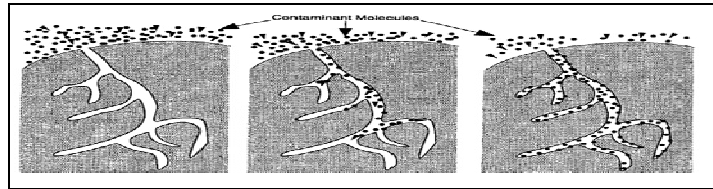
Transfer massa yang dimaksud dalam sistem ini merupakan perpindahan zat cair (refrigeran) dari *adsorber* menuju kondensor yang diwakili oleh satuan debit penguapan. Fungsi *adsorber* adalah untuk menyerap refrigeran (*adsorbate*) yang akan diupkan panas matahari menuju kondensor. Transfer massa ini berhubungan dengan kecepatan adsorpsi karena pada dasarnya pelepasan uap refrigeran ini adalah suatu proses desorpsi.



Gambar 3. Perbandingan Volume Pori Adsorber dan Titik Aktif Adsorpsinya.

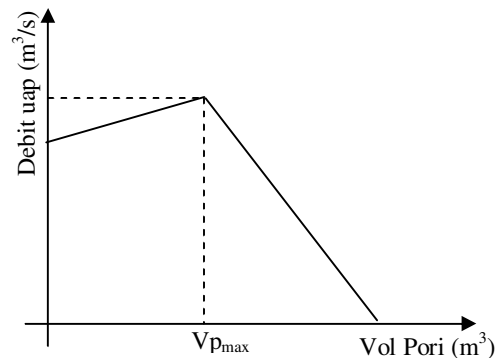


Dari Gambar 3 dapat dilihat semakin besar sebuah pori akan menambah luas permukaan *adsorber* tersebut, akibatnya titik-titik aktif untuk proses adsorpsi juga semakin banyak akibatnya proses adsorpsi akan semakin cepat dibandingkan *adsorber* yang memiliki pori kecil. Lebih lanjut lagi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses Terjadinya Adsorpsi Pada *Adsorber* Berpori  
(Sumber: Widy, 2012)

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa proses adsorpsi maupun desorpsi akan semakin maksimal jika menggunakan *adsorber* yang memiliki pori dengan volume yang besar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Suyati dalam Widyastuti, A. Dkk. (2013) bahwa untuk menghasilkan adsorber mikropori yang terbaik, volume total pori dan luas permukaan harus semakin besar namun rerata jari pori semakin kecil. Namun, apabila pemberian pori dilakukan terlalu banyak maka akan membuat rerata jari pori akan semakin besar. Hal ini mengakibatkan volume materi *adsorber* tersebut akan semakin kecil, sehingga massa jenisnya akan mengecil dan volume cairan yang diserap juga mengecil (Gambar 5).



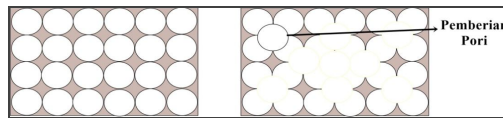
Gambar 5. Grafik titik jenuh karena volume pori yang terus bertambah

Pada Gambar 5 diperlihatkan bahwa saat adsorber padat belum berpori, telah memiliki transfer massa meskipun lebih rendah daripada tipe granul. Dengan penambahan pori buatan maka refrigeran yang menguap namun terjebak dalam adsorber dapat keluar melalui pori-pori tersebut sehingga meningkatkan transfer massanya. Peningkatan transfer massa ini terus terjadi hingga titik maksimal yakni volume



refrigeran yang diserap masih cukup banyak dan jumlah pori-porinya optimal. Selanjutnya, pada setiap penambahan pori-pori buatan mengakibatkan massa adsorber terus menurun, volume refrigeran yang terserap menurun sehingga debit penguapan juga mengalami penurunan. Penurunan transfer massa ini terus terjadi hingga volume pori-pori total sama dengan volume adsorber yang artinya tidak terdapat lagi adsorber sehingga tidak ada air yang diserap dan tidak ada penguapan.

Oleh karena itu, dalam pemberian pori pada *adsorber* harus ada batas maksimalnya. Apabila melampaui batas ini maka proses desorpsi/transfer massa tidak lagi berjalan dengan baik. Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa volume pori *adsorber* akan memiliki titik jenuh. Gambar 6 adalah ilustrasi *adsorber* yang telah mencapai titik jenuhnya yang terus dilakukan pemberian pori lebih banyak lagi.



Gambar 6. Pemberian Pori Tambahan pada Adsorber yang Telah Melewati Titik Jenuhnya

Apabila pemberian pori dilakukan melewati batas maksimal titik jenuhnya maka titik aktif adsorpsi akan semakin berkurang. Hal ini karena pori-pori mengurangi massa *adsorber* tersebut.

### **Pengaruh Volume Pori terhadap Transfer Panas**

Transfer panas adalah perpindahan energi karena adanya perbedaan temperatur. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Transfer panas dalam sistem ini merupakan perpindahan panas dari panas matahari ke *adsorber* untuk menguapkan refrigeran.

Kecepatan transfer panas ini berbeda-beda hasilnya antara adsorber berbentuk butiran (*granules*) dan padatan (*solid*). Menurut Wang, dkk. (2006), transfer panas pada padatan lebih baik daripada yang butiran. Pada karbon aktif yang dipadatkan, jarak antar molekulnya rapat, hal ini memungkinkan transfer panas ke *adsorber* lebih cepat.

Sebaliknya, untuk *adsorber* karbon aktif dalam bentuk butiran mempunyai transfer panas yang lebih rendah karena jarak antar molekul penyusunnya renggang mengakibatkan panas dari matahari akan lama mengkonduksi molekul tetangganya. Akibatnya panas yang diterima *adsorber* akan lebih lama untuk menguapkan refrigeran. Dengan demikian transfer panas *adsorber* dalam bentuk padatan lebih baik daripada bentuk butiran.





Analisis yang telah dikemukakan dapat diperjelas dengan persamaan (2) sebagai berikut:

$$\frac{Q}{t} = k A \frac{\Delta T}{l} \quad (2)$$

Dimana,

- $\frac{Q}{t}$  = Laju kalor (J/s)  
k = Konduktivitas termal ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )  
A = Luas Penampang ( $\text{m}^2$ )  
 $\Delta T$  = Selisih kenaikan suhu (K)  
l = Panjang penghantar (m)

Berdasarkan persamaan (2) dapat disimpulkan bahwa semakin besar konduktivitas termal suatu bahan, maka laju panas juga akan semakin besar. Pada Tabel 1 diketahui bahwa konduktivitas termal karbon aktif yang dipadatkan lebih besar daripada karbon aktif yang berbentuk butiran, dengan demikian laju panas karbon aktif yang dipadatkan akan lebih besar daripada karbon aktif bentuk butiran, maka transfer panas *adsorber* karbon aktif yang dipadatkan lebih baik daripada *adsorber* bentuk butiran.

Menurut Hidayat (2011) menyatakan bahwa nilai konduktivitas termal akan berubah bila berat jenisnya berubah. Semakin tinggi berat jenis maka semakin baik pengalir konduktivitas tersebut.

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V} \quad (3)$$

Dimana,

- $\gamma$  : berat jenis ( $\text{kg/m}^3$ )                      m : massa (kg)  
g : gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )                         v : volume ( $\text{m}^3$ )

Sesuai dengan persamaan (3), apabila *adsorber* berpori dengan volume total yang luas maka massa *adsorber* itu sendiri menjadi lebih sedikit sehingga berat jenisnya akan semakin kecil, sehingga konduktivitas termalnya semakin kecil juga. Dengan kata lain, transfer panas akan lebih maksimal terjadi pada *adsorber* yang memiliki sedikit pori atau volume total pori yang kecil.

Dapat disimpulkan bahwa pemberian pori pada *adsorber* ini sangat mempengaruhi proses desorpsi pada sistem *solar cooling*. Maka dari itu untuk mendapatkan performa *adsorber* yang maksimal hendaknya memperhatikan kualitas *adsorber* tersebut. Namun pada kepadatan yang sama, pembuatan pori tidak akan mempengaruhi transfer panas bahkan justru meningkatkan. Hal ini karena panas dapat



masuk ke pori dan menginduksi materi tetangganya sehingga penyebaran panas dalam bahan menjadi lebih cepat.

## KESIMPULAN

Prinsip dasar dari teknologi solar cooling adalah peristiwa evaporasi pada kulit yang berkeringat karena kepanasan. Keringat menyerap panas tubuh kemudian menguap sehingga suhu tubuh menurun.

Semakin besar volume pori-pori buatan pada adsorber, maka semakin besar transfer panas dan massanya. Namun pada suatu ketika, transfer massa menjadi jenuh dan menurun karena volume adsorber makin berkurang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aidoun Z, dan Ternan M. 2002. Salt impregnated carbon fibres as the reactive medium in a chemical heat pump: the  $\text{NH}_3\text{-CoCl}_2$  system. *Appl Therm Eng*;22:1163–73.
- Critoph RE, Metcalf SJ. 2004. Specific cooling power intensification limits in ammonia–carbon adsorption refrigeration systems. *Appl Therm Eng*;24(5–6):661–78.
- Critoph, R.E. 1988. Performance limitations of adsorption cycles for solar cooling, *Solar Energy* 41 ; 21–31.
- Dai Y.J., R.Z. Wang, Y.X. Xu. 2002. Study of a solar powered solid adsorption–desiccant cooling system used for grain storage. *Renewable Energy* 25. hal 417–430.
- Dieng A.O., 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) hal. 313–342.
- Hartmann, N., Glueck, C., Schmidt, F.P., 2011. Solar cooling for small office buildings: Comparison of solar thermal and photovoltaic options for two different European climates. *Renewable Energy* 36. pg. 1329-1338.
- Henning H-M. 2007. Solar assisted air conditioning of buildings - an overview. *Applied Thermal Engineering*;27:1734-49
- Hidayat, Syarif. 2011. *Sifat Thermal Bahan*. Jakarta : Pusat Pengembangan Bahan Ajar Universitas Mercubuana
- Hussein, W.K.S., 2008. Solar Energy Refrigeration by Liquid-Solid Adsorption Technique, *Master Thesis*, An-Najah University, Palestine.
- Kaczmariski, K. dan Bellot, J. Ch., 2003. Effect Of Particle-Size Distribution and Particle Porosity Changes on Mass-Transfer Kinetics. *Acta Chromatographica*, No. 13.



- Kato Y, Yamada M, Kanie T, Yoshizawa Y. 2001. Calcium oxide/carbon dioxide reactivity in a packed bed reactor of a chemical heat pump for high-temperature gas reactors. *Nucl Eng Des*;210:1–8.
- 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) ; 517–527.
- Li, G., Hwang, Y., Radermacher, R., 2012. Review of cold storage materials for air conditioning application, *International Journal of Refrigeration*, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2012.06.003.
- Li, M, Huang, H.B., Wang, R.Z., Wang, L.L., Cai, W.D., Yang, W.M. 2004b. Experimental study on adsorber of activated carbon with refrigerant of methanol and ethanol for *Solar Ice Maker*. *Renewable Energy* 29. hal 2235–2244.
- Li, M, Sun, C.J., Wang,R.Z. dan Cai, W.D. 2004a. Development of no valve *Solar Ice Maker*. *Applied Thermal Engineering* 24. hal 865–872.
- Maggio G, L.G. Gordeeva, A. Freni, Yu.I. Aristov, G. Santori, F. Polonara, G. Restuccia. 2009. Simulation of a solid sorption ice-maker based on the novel composite sorbent “lithium chloride in silica gel pores”. *Applied Thermal Engineering* 29 hal. 1714–1720.
- Ponec V, Knor Z, Cerny S. 1974. *Adsorption on solids*. London, England: Butterworth Group;.
- Pons, M. dan Guillemont, J.J. 1986. Design of an experimental solar-powered, solid-adsorption ice maker, *Trans. ASME, J. Solar Energy Eng.* 108 (4) ; 332–337.
- Saha BB, Akisawa A, Kashiwagi T. 2001. Solar/waste heat driven two-stage adsorption chiller: the prototype. *Renew Energy*;23(1):93–101.
- Sudibandriyo. M, Lydia. 2011. *Karakteristik Luas Permukaan Karbon Aktif Dari Ampas Tebu dengan Aktivasi Kimia*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Wang K, Wu JY, Wang RZ,Wang LW. 2006. Effective thermal conductivity of expanded graphite–CaCl<sub>2</sub> composite adsorber for chemical adsorption chillers. *Energy Convers Manage*;47(13–14):1902–12.
- Wang LW, Wang RZ, Wu JY, Wang K. 2004. Compound adsorber for adsorption ice maker on fishing boats. *Int J Refrig*;27:401–8.
- Wang, L.W., Wang, R.Z., Oliveira, R.G., 2009. A review on adsorption working pairs for refrigeration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13(3), 518-534.
- Widy, Stefano. 2012. [Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi Hidrogen pada Karbon Aktif](http://fannowidy.blogspot.com/2012/03/faktor-yang-mempengaruhi-adsorpsi.html). <http://fannowidy.blogspot.com/2012/03/faktor-yang-mempengaruhi-adsorpsi.html>. Diakses pada tanggal 5 Juni 2013.
- Widyastuti, A., Sitorus, B., Jayuska, A., 2013. Karbon Aktif Dari Limbah Cangkang Sawit Sebagai Adsorben Gas Dalam Biogas Hasil Fermentasi Anaerobik Sampah Organik. *JKK*, tahun 2013, volume 2 (1), halaman 30-33.



Zhai, X.Q., dan Wang, R.Z., 2009. A review for absorbtion and adsorbtion solar cooling systems in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 hal 1523–1531

Zhang YH. 1989. *Adsorption function*. Shanghai, China: Publishing House of Scientific and Technological Literature in Shanghai.

**Pertanyaan dan Jawaban :**

Nama Pemakalah : Shinta Melani P

Nama Penanya 1 : Agus Purwanto

Pertanyaan :

- a. Solid adsorbent pair, maksudnya apa?
- b. Apa maksud dari solar cooling?

Jawaban :

Pasangan adsorber-adsorbat(refrigeran) yaitu karbon aktif dan methanol  
Solar cooling system yaitu sistem pendingin tenaga surya → pendingin menggunakan panas matahari sebagai sumber energinya

Nama penanya 2 : Lita Rahmasari

Pertanyaan :

- Bahan terbaik yang digunakan apa?  
Adakah parameter kimia atau fisis untuk memilih bahan?  
Apakah sudah mencoba dengan praktik?

Jawaban :

Pasangan adsorben-refrigeran yang digunakan adalah karbon aktif –methanol  
Pasangan adsorber refrigeran yang paling mudah dicari dan efisien  
Belum karena han ya terbatas pada studi opustaka

Nama Penanya 3 : Wiji Lestari

Pertanyaan :

dari rumus yang ditampilkan, perkiraan outrput yang dihasilkan berapa?

Jawaban :

makalah ini tidak membahas tentang output keluaran hasil sistem pendinginnya.  
Terbatas pada pengaruh pemberian pori.