

## Perancangan Mesin Pembuat Es dengan Sistem Adsorpsi

**Nasruddin, Riki Wendri, Ray Usmar**

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia  
Depok, Jawa Barat  
E-mail: nasruddin@eng.ui.ac.id

### Abstrak

Mesin pendingin penghasil es yang banyak digunakan saat ini adalah jenis kompresi uap yang mengkonsumsi energi cukup besar dan menggunakan jenis-jenis refrigeran yang kurang bersahabat dengan lingkungan. Salah satu alternatifnya adalah mesin pendingin adsorpsi. Mesin pendingin adsorpsi adalah jenis khusus dimana fungsi kompresor mekanik diganti dengan adsorber. Energi yang dibutuhkan untuk memompa refrigeran adalah energi termis. Keuntungan dari penggunaan energi termis adalah sumber energinya bisa berasal dari panas gas buang hasil pembakaran atau panas matahari. Keuntungan lain dari jenis mesin ini adalah tidak adanya komponen yang bergerak dan kebebasan memilih refrigeran yang lebih bersahabat dengan lingkungan.

Penelitian ini dilakukan dengan merancang sebuah mesin pendingin penghasil es adsorpsi siklus semi kontinyu yang komponen-komponen utamanya terdiri dari generator-adsorber, sebuah evaporator, dan sebuah kondensor. Sebagai pasangan adsorbent-adsorbat digunakan karbon aktif dan methanol.

Kata kunci : adsorpsi, adsorber, methanol, karbon aktif

### 1. Pendahuluan

Kendala yang ada pada sistim refrigerasi kompresi uap yang banyak digunakan saat ini adalah terbatasnya ketersediaan energi dan pencemaran lingkungan meskipun beberapa alternatif penggunaan refrigeran seperti CFC, HFC134a tidak membahayakan lapisan ozon tapi dapat menimbulkan efek rumah kaca, sedangkan pada sistim pendingin adsorpsi memiliki keuntungan diantaranya adalah ramah lingkungan, *zero ozone depletion potential* (ODP) dan *zero global warming potential* (GWP). Keuntungan lainnya adalah siklus kerjanya dapat menggunakan sumber panas yang rendah seperti menggunakan panas matahari, refrigeran yang digunakan adalah refrigeran yang non-CFC dan non-HFC seperti air, methanol dan ammonia dan memiliki bentuk konstruksi yang sederhana dibanding sistim refrigerasi kompresi uap dimana tidak ada komponen yang bergerak atau saling bergesekan [1,2].

Sistim adsorpsi ini pertamakali didefinisikan oleh Faraday pada tahun 1848 dan mulai dikembangkan pada tahun 1920 sampai sekarang [3]. Sistim pendingin adsorpsi merupakan sistim pendinginan yang tidak menggunakan CFC sebagai refrigeran atau fluida kerjanya sehingga hal ini merupakan sistim yang sangat menarik untuk mengatasi pemanasan global.

Konsep penggunaan energi matahari untuk sistim refrigerasi dan *ice maker* sudah dimulai sekitar 40 tahun yang lalu. Sistim pendingin adsorpsi merupakan sistim pendingin yang memanfaatkan panas matahari untuk refrigerasi dan *ice maker* dan sangat cocok untuk diterapkan pada daerah terpencil yang beriklim panas dan belum terjangkau oleh aliran listrik dengan penerapannya antara lain untuk menghasilkan es untuk keperluan sehari-hari juga untuk penyimpanan vaksin dan obat-obatan [4].

### 2. Perancangan sistim pendingin adsorpsi

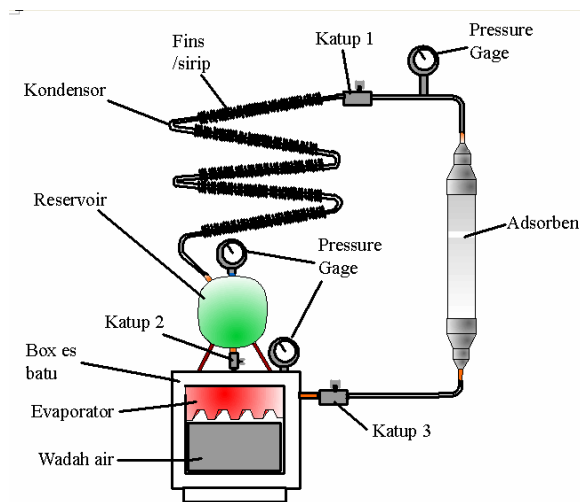
Pasangan adsorben-adsorbat untuk adsorpsi adalah silica gel-air, zeolit-air, aktif karbon-ammonia, aktif karbon-metanol. Zeolit-air dan silica gel-air merupakan pasangan untuk *cold storage* sedangkan aktif karbon-metanol merupakan pasangan untuk pembuatan es [5]. Mesin pendingin adsorpsi pada *paper* ini dirancang untuk percobaan skala laboratorium yaitu dengan menggunakan *single adsorption bed* dan menggunakan *thermoelectric heater* sebagai sumber panas.

2.1 Parameter rancangan :

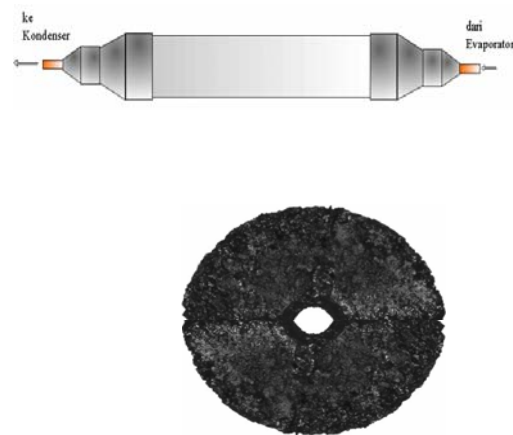
Sumber panas	: <i>Thermoelectric heater</i>
Temperatur rata-rata lingkungan sekitar	: 30° C
Temperatur regenerasi adsorben	: 100° C
Pasangan adsorben dan adsorbat	: Aktif karbon/Methanol
Temperatur kondensasi	: 35° C
Temperatur Evaporasi	: -10° C
Massa air yang didinginkan	: 1 kg
Temperatur es	: -5° C
Massa aktif karbon dan adsorben <i>bed</i>	: 4.7 kg

2.2 Perancangan alat

Mesin pendingin adsorpsi terdiri dari tiga komponen utama seperti pada gambar 1, yaitu adsorben, kondensor dan evaporator. Adsorben dibuat dari pipa stainless steel dengan ukuran diameter luar (DL) 76.2 mm, diameter dalam (DD) 73.8 mm dan panjang 500 mm. Tabung diisi dengan 16 buah aktif karbon yang dipadatkan sehingga memiliki densitas yang tinggi memiliki dan kemampuan adsorpsi yang lebih baik jika dibandingkan dengan aktif karbon yang hanya berupa butiran [6]. Masing-masing karbon aktif berukuran diameter 73.8 mm, tebal 30 mm dan lubang untuk aliran gas berdiameter 16 mm dengan berat total 1.7 kg, aktif karbon yang dipadatkan dibuat dari tempurung kelapa dengan ukuran butiran 14-28 (gambar 2).



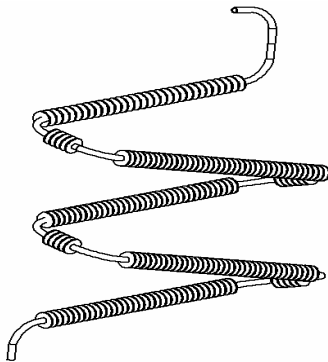
Gambar 1. Konstruksi mesin pendingin adsorpsi



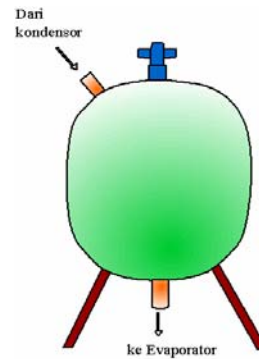
Gambar 2. Adsorben dan aktif karbon

Dalam perancangan, letak kondensor dan evaporator dibuat berdekatan dengan adsorben, hal ini bertujuan untuk meminimalisasi *pressure losses* karena tekanan yang dihasilkan oleh sistem adalah tekanan penguapan metanol karena panas yang diberikan oleh *thermoelectric heater* yang relatif kecil. Dalam perancangan kondensor perlu diperhatikan bentuk kondensor agar tidak banyak belokan dan pemanfaatan gaya gravitasi untuk meminimalkan *pressure losses* pada kondensor. Kondensor dirancang seperti pada gambar 3 [7], dibuat dari pipa tembaga berdiameter 9.525 mm dengan sudut kemiringan 10°, sudut kemiringan ini bertujuan agar dalam proses perubahan fasa metanol uap menjadi cair diharapkan agar dapat mengalir secara bebas karena gaya gravitasi. Sedangkan untuk *fins*-nya dibuat dari plat aluminium berukuran 40 mm x 40 mm dan tebal 0.5 mm.

Untuk menampung metanol yang terkondensasi maka dibutuhkan sebuah resevoir seperti pada gambar 4 yaitu berupa tabung bekas refrigeran yang dimodifikasi, selain itu resevoir ini juga berfungsi untuk menghindari kurangnya pasokan metanol ke evaporator akibat fluktuasi daya serap karbon aktif.

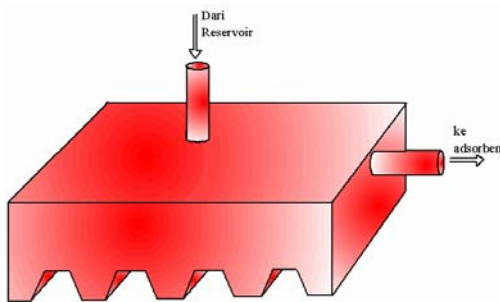


Gambar 3. Kondensor [7]

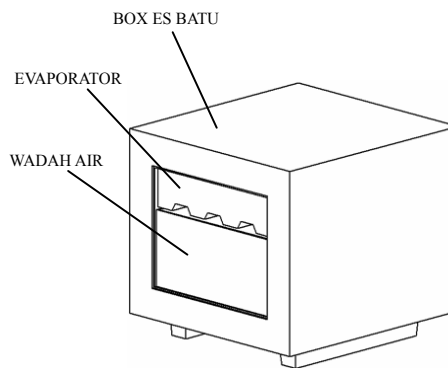


Gambar 4. Reservoir

Evaporator dirancang berbentuk wadah penampung seperti pada gambar 5 [8], dibuat menggunakan material plat tembaga setebal 0.8 mm dengan ukuran panjang 250 mm, lebar 220 mm dan tinggi 50 mm. Sama seperti kondenser, evaporator juga dirancang agar *losses* yang terjadi seminimal mungkin terutama *pressure losses*. Evaporator diletakan didalam *ice box* (gambar 6) yang terbuat dari kayu setebal 30 mm yang dilapisi plat aluminum pada bagian luar untuk menghindari lapuk dan pada bagian dalam dilapisi *rubber* sehingga ruang *ice box* terisolasi dari luar.



Gambar 5. Evaporator [8]

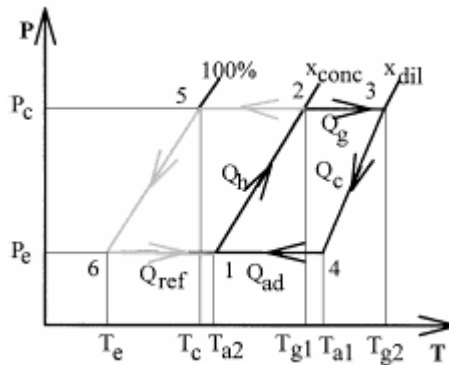


Gambar 6. Ice box

### 3. Prinsip kerja pendinginan

Siklus dimulai dengan proses pemanasan adsorben dengan menggunakan *thermoelectric heater* dimana pada adsorben terdapat metanol dengan konsentrasi yang tinggi. Ketika temperatur adsorben mencapai temperatur desorpsi-nya sehingga tekanannya naik dan mencapai tekanan yang stabil kemudian katup 1 dibuka (gambar 1) sehingga uap metanol yang ada pada adsorben terdesorpsi. Uap metanol yang terdesorpsi kemudian dikondensasikan pada kondensor hingga berubah menjadi cair dan ditampung pada resevoir. Setelah proses desorpsi selesai maka katup 1 ditutup dan katup 2 dibuka sehingga metanol cair yang ada pada resevoir mengalir keevaporator. Pada saat ini adsorben mulai didinginkan dengan menurunkan temperatur pada *thermoelectric heater* hingga adsorben mencapai tekanan evaporasinya kemudian katup 3 dibuka dan proses adsorpsi berlangsung dimana metanol cair pada evaporator mulai diserap oleh adsorben. Efek pendinginan akan berlangsung selama proses adsorpsi ini.

Diagram Clapeyron ( $\ln P$  vs.  $-1/T$ ) pada gambar 7 menunjukkan siklus intermitten yang terjadi pada sistim pendingin adsorpsi secara teoritis dimana terdapat dua proses yaitu proses desorpsi-kondensasi dan proses adsorpsi-evaporasi.



Gambar 7. Diagram Clapeyron (ln P vs. -1/T) [9]

Kapasitas pendinginan diukur melalui *coefficient of performance* (COP), yaitu  $COP_{cycle}$  sebagai berikut :

$$COP_{cycle} = \frac{Q_{ref} - Q_{ce}}{Q_g}$$

Kalor yang dibutuhkan untuk pendinginan  $Q_{ref}$  adalah :

$$Q_{ref} = \Delta x \cdot M_a \cdot L_e$$

$$\Delta x = x_{conc.} - x_{dil.}$$

$L_e$  adalah kalor laten penguapan,  $x_{conc.}$  adalah kapasitas adsorben sebelum desorpsi dan  $x_{dil.}$  adalah kapasitas adsorben setelah desorpsi. Kalor yang dibutuhkan untuk menurunkan temperatur adsorbat dari temperatur kondensasi  $T_c$  ke temperatur evaporasi  $T_e$  adalah :

$$Q_{ce} = M_a \cdot \Delta x \cdot C_{pl} \cdot (T_c - T_e)$$

Sehingga kalor yang dibutuhkan untuk regenerasi adsorben  $Q_g$  adalah:

$$Q_g = \int_{T_{g1}}^{T_{g2}} (M_m C_{pm} + M_a C_{pa}) dt + \int_{T_{g2}}^{T_{g1}} x_{conc} M_a C_{pl} dt + \int_{T_{g1}}^{T_{g2}} h_d M_a dx + \int_{T_{g1}}^{T_{g2}} x M_a C_{pl} dt$$

## Notasi

$C_{pa}$	specific heat of adsorbent (kJ/kg·K)
$C_{pl}$	specific heat of refrigerant liquid (kJ/kg·K)
$C_{pm}$	specific heat of metallic adsorber (kJ/kg.k)
$COP_{cycle}$	refrigeration cycle COP
$L_e$	latent heat of evaporation of refrigerant (kJ/kg)
$M_a$	mass of adsorbent (kg)
$M_m$	mass of metallic adsorber (kg)
$Q_{ce}$	cooling consumed to cool down refrigerant from condensing temperature to evaporation temperature (kJ)

$Q_g$	Heat for isobaric generation process (kJ)
$Q_{ref}$	refrigeration effect (kJ)
$T$	temperature ( $^{\circ}$ C, K)
$T_a$	environmental temperature ( $^{\circ}$ C)
$T_{a1}$	temperature to start adsorption ( $^{\circ}$ C)
$T_{a2}$	adsorption temperature ( $^{\circ}$ C)
$T_b$	adsorbent bed temperature ( $^{\circ}$ C)
$T_c$	condensing temperature ( $^{\circ}$ C)
$T_e$	evaporation temperature ( $^{\circ}$ C)
$T_f$	thermal fluid temperature ( $^{\circ}$ C)
$T_{g1}$	temperature to start desorption ( $^{\circ}$ C)
$T_{g2}$	desorption temperature ( $^{\circ}$ C)
$x$	adsorption capacity (kg-refrigerant/kg-adsorbent)
$x_{dil}$	adsorption capacity at desorbed state (kg/kg)
$x_{conc}$	adsorption capacity at adsorbed state (kg/kg)
$\Delta x$	adsorption capacity difference between adsorption phase and desorption phase $\Delta x = x_{conc} - x_{dil}$ (kg/kg)

#### Daftar pustaka

- [1] Z.S. Lu, R.Z. Wang, L.W. Wang, C.J. Chen, "Performance analysis of an adsorption refrigerator using activated carbon in a compound adsorbent", Carbon 44 (2006) 747-752.
- [2] W.Wang, R.Z. Wang, Y.X. Xu, J.Y. Wu, Y.B. Gui, "Investigation on Adsorption Refrigerator With A Single Adsorbent Bed", International Journal Of Energy Research, Vol. 22, May 1998 : 1157-1163.
- [3] Catherine Hildbrand, Philippe Dind, Michel pons, Florian Buchter, "A New Solar Powered Adsorption Refrigeration with High Performance", HES-SO-Ecole D'Ingenieurs Du Canton De Vaud-Lesbat.
- [4] M. Pons, "Analysis of Adsorption Cycles With Thermal Regeneration Based on The Entropic Mean Temperatures", Applied Thermal Engineering, Vol. 17, No.7, 1997: 615-627.
- [5] Miguel Ramos, Rafael L. Espinoza, Manfred J. Horn, "Evaluation of a Zeolite-Water Solar Adsorption Refrigerator", ISES Solar World Congress 2003.
- [6] L.W. Wang, R.Z. Wang, J.Y. Wu, K. Wang, S.G. Wang, "Adsorption ice makers for fishing boats driven by the exhaust heat from diesel engine: choice of adsorption pair", Energy Conversion and Management 45 (2004) 2043-2057.
- [7] E.E. Anyanwu, C.I. Ezekwe, "Design, construction and test run of a solid adsorption solar refrigerator using activated carbon/methanol, as adsorbent/adsorbat pair", Energy Conversion and Management 44 (2003) 2879-2892.
- [8] M. Li, R.Z. Wang, Y.X. Xu, J.Y. Wu, A. Dieng, "Experimental Study on Dynamic Performance Analysis of a Flat-Plate Solar Solid-Adsorption Refrigeration For Ice Maker", Renewable Energy 2002.
- [9] W.Wang, R.Z. Wang, Y.X. Xu, J.Y. Wu, Y.B. Gui, "Investigation on Adsorption Refrigerator With A Single Adsorbent Bed", International Journal Of Energy Research, Vol. 22, May 1998 : 1157-1163.