

KAJI EKSPERIMEN SISTEM PENDINGIN ADSORPSI *DOUBLE BED* ADSORBER PADA TEMPERATUR DESORPSI 85° C DENGAN SILIKA GEL-AIR SEBAGAI PASANGAN ADSORBEN-ADSORBAT

Moh. Arief Indra Permana¹, Awaludin Martin²

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

¹moharief.indrapermana@student.unri.ac.id, ²awaludinmartin01@gmail.com

ABSTRACT

The adsorption cooling system is one of the technologies for air conditioning and refrigeration systems that are energy efficient and environmentally friendly. The double bed adsorption cooling system with silica gel as adsorbent and water as an adsorbate, and the performance of the system were examined experimentally. The adsorption cooling system consists of two u-tube adsorber with finned tube structure, evaporator, condenser, one heater and one cooling, and is equipped with additional measuring instruments and system components. Based on the test data and calculations obtained, the COP value of the adsorption cooling system is 0.295 at the time of operation 1200 s with a desorption temperature of 85 °C. The SCP value obtained is 0.04. The average temperature of chilled water that comes out of the evaporator for 1 minute is the adsorption process, for adsorption of adsorber 2 the average temperature of chilled water coming out of the evaporator is 28.3 °C with the chilled water temperature entering the evaporator 30.06 °C, and for adsorption adsorber 1 the average temperature of the chilled water coming out of the evaporator is 27.82 °C with the chilled water temperature entering the evaporator 29.31 °C.

Keywords: Adsorption, Desorption, Cooling System, Adsorbent-Silica Gel, Two Bed

1. Pendahuluan

Sistem pendingin dengan pemanfaatan panas buang maupun panas matahari merupakan salah satu alternatif yang ramah lingkungan untuk menjawab isu dan masalah pemanasan global dan semakin menipis lapisan ozon karena efek pendinginan dan energi panas digunakan sebagai media penggerak. Sistem pendingin ini disebut dengan sistem adsorpsi. Pada sistem *adsorption cooling* merupakan sistem pendingin yang memiliki nilai nol ODS (*Ozone Depleting Substance*) dan GWP (*Global Warning Potential*) karena menggunakan refrigeran yang memiliki nilai nol ODS dan GWP. Tapi umumnya, adsorpsi refrigerasi tidak seefisien *absorption* dan juga memiliki kelemahan pada sistem volume yang besar. Karena keunggulan dan kerugian, adsorpsi Pendingin diakui oleh para akademisi sebagai teknologi pelengkap utama untuk pendinginan penyerapan (Wang, et al, 2014).

Pasangan kerja adsorpsi refrigeran terdiri dari silika gel-air, zeolit-air, karbon aktif-amonia, karbon aktif-R1341 dan CaCl₂-amonia. Kemudian pasangan kerja adsorpsi yang dipilih adalah pasangan silika gel-air karena pasangan memiliki temperatur desorpsi yang paling rendah yaitu 50-100 °C, mudah dan murah untuk mendapatkan silika gel dan air sebagai pasangan adsorben dan adsorbat.

Menurut Wang et al, 2004 (dalam Najeh, 2016) menyatakan bahwa untuk temperatur *hot water* 84,8 °C, temperatur *cooling water* 30,6 °C

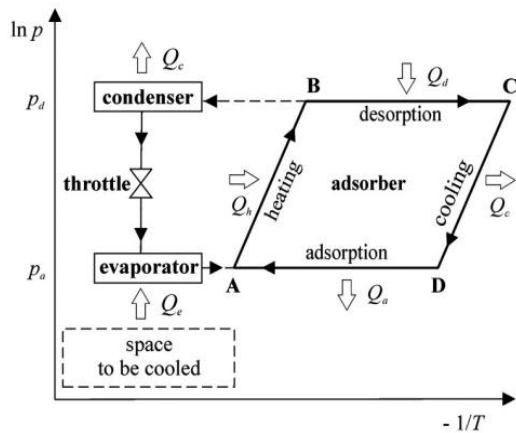
dan temperatur air *inlet chilled* 11,7 °C menghasilkan COP 0.38 untuk *single bed adsorption chiller* pasangan silika gel-air.

Berdasarkan Penelitian Seung Taek Oh (2013), dengan melakukan penelitian *Silica gel/Water Based Adsorption Cooling System Employing Compact Fin-Tube Heat Exchanger*. Waktu yang cukup untuk adsorpsi atau desorpsi terjadi ketika waktu siklus lebih pendek dari 600 detik menghasilkan kapasitas pendinginan berkurang secara drastis. Namun, pendinginan kapasitas menunjukkan nilai maksimum pada waktu siklus antara 900 dan 1200 s. Pendinginan kapasitas berkurang secara bertahap ketika waktu siklus lebih dari 1200 s.

Menurut Wang, et al (2014) menyatakan waktu adsorpsi / desorpsi, temperatur masuk air pendingin dan temperatur keluar air dingin dikendalikan pada 680 s, 30 °C, dan 15 °C, dengan variasi temperatur air panas masuk 60 °C -85 °C dengan interval 5 °C menghasilkan COP dan SCP maksimum pada temperatur desorpsi 80 °C.

Siklus mesin pendingin adsorpsi tidak membutuhkan energi mekanis, melainkan membutuhkan energi panas. Pada saat mesin pendingin beroperasi, beberapa proses yang terjadi pada adsorber yang melibatkan proses *endothermic* dan *exothermic*. Proses *endothermic* berlangsung selama proses pemanasan (peningkatan tekanan) dan proses pemanasan - desorpsi-kondensasi, sedangkan proses *exothermic* berlangsung selama proses pendinginan (penurunan tekanan) dan proses

pendinginan - adsorpsi - evaporasi. Keempat proses tersebut membentuk suatu siklus yang digambarkan oleh diagram *Clapeyron* ideal seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Clapeyron Ideal (Wang, et al, 2014)

2. Metode

Proses pengambilan data tekanan dan temperatur pada masing-masing komponen sistem pendingin adsorpsi *double bed adsorber* di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau.

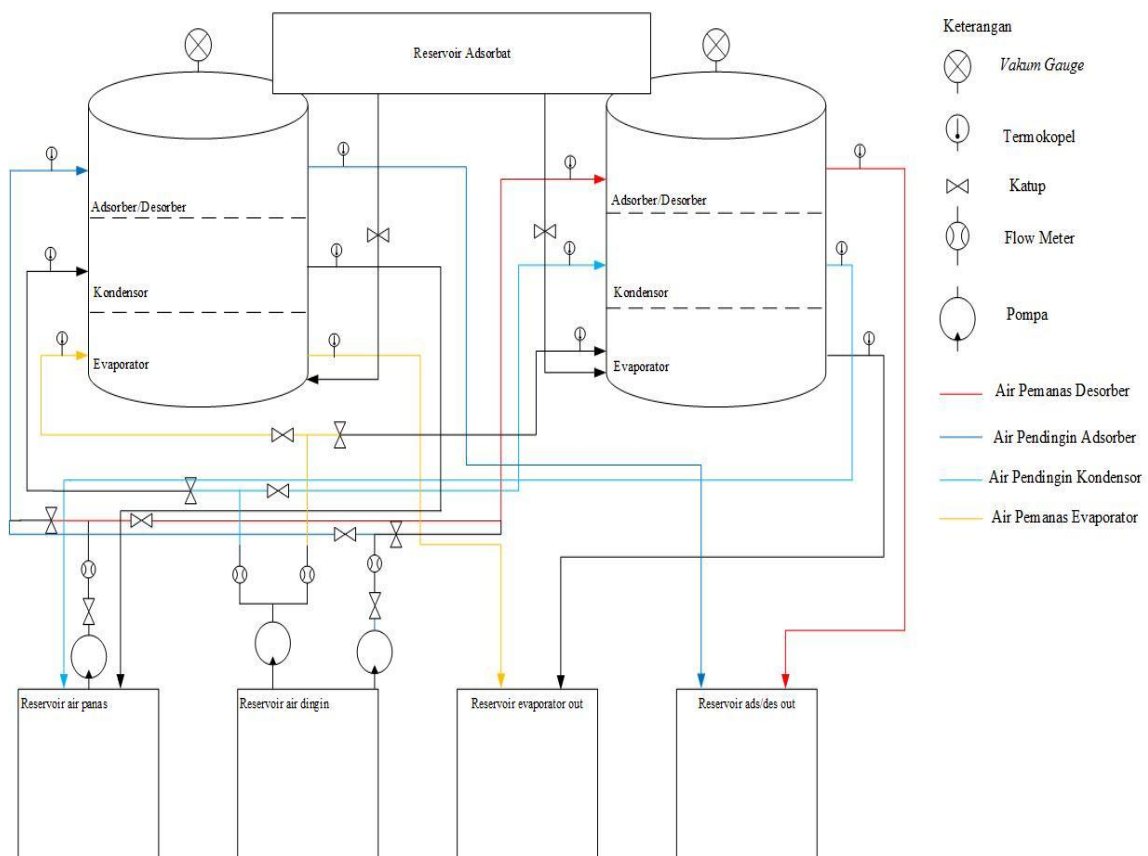
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental

(*experimental research*) yaitu proses perencanaan untuk mencari data sebab akibat dalam suatu proses melalui eksperimen. Pada pengujian untuk kerja sistem pendingin adsorpsi dengan *double bed adsorber* dengan silika gel-air sebagai adsorben dan adsorbat untuk, sumber panas yang digunakan untuk memanaskan air adalah dengan *heater* sampai temperatur 85 °C pada reservoir *hot water*.

Untuk menjaga temperatur air tetap konstan pada reservoir *hot water* digunakan *temperature controller* merek Autonic. Pengukuran temperatur menggunakan thermokopel tipe K yang terhubung ke *data logger* USB TC-08. Untuk mengatur laju aliran volume menggunakan *flowmeter*.

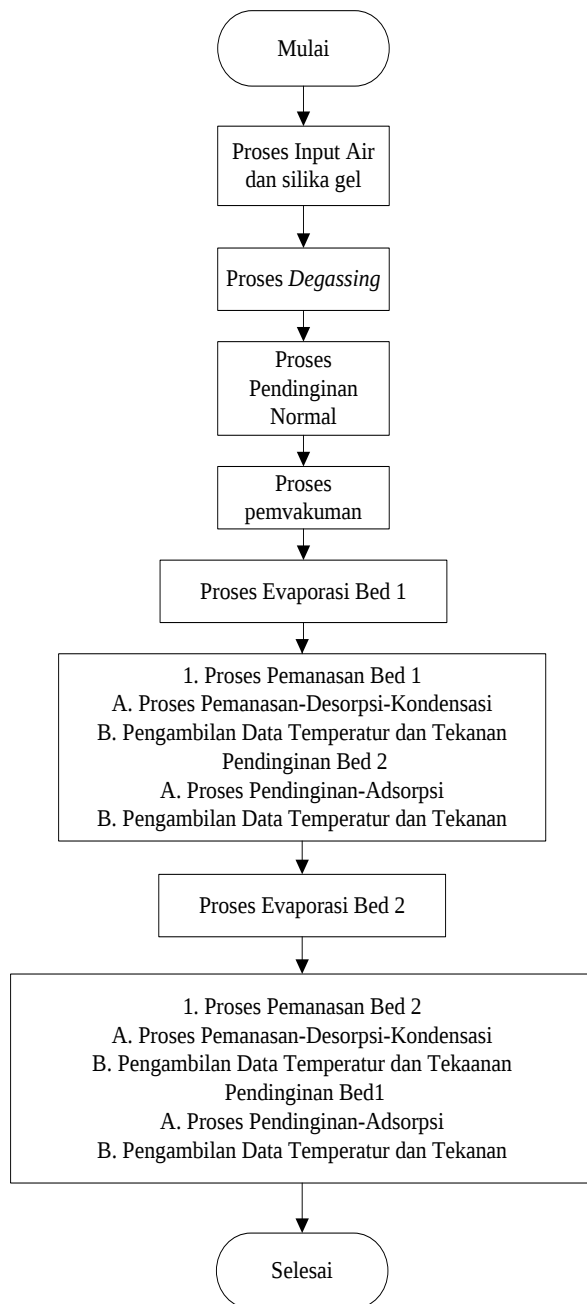
Pengambilan data dilakukan dengan membaca ukuran tekanan pada *pressure gauge* disetiap komponen adsorber, evaporator, dan kondensor. Setelah pembacaan tekanan disetiap komponen, selanjutnya pembacaan temperatur, temperatur masuk dan temperatur keluar disetiap komponen. Temperatur yang dibaca temperatur *in* dan *out chilled water*, temperatur *in* dan *out cooling water*, temperatur *in* dan *out hot water*, dan temperatur *in* dan *out* air pendingin adsorpsi.

Adapun skematik alat uji sistem pendingin adsorpsi dengan *double bed adsorber* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Skema Sistem Pendingin Adsorpsi dengan *Double Bed Adsorber*

Adapun diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Metodologi Penelitian

COP (*Coefficient of Performance*) adalah nilai yang menunjukkan performansi dari suatu mesin, dipakai dalam suatu sistem pendingin. Pada sistem pendingin adsorpsi dengan *double bed adsorber* dilakukan perhitungan terhadap nilai COP. COP dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$q_r = m_{ch} \cdot C P_w \cdot (T_{ch,in} - T_{ch,out}) \text{ (Ahmed Rezk Masoud Rezk 2012)}$$

$$q_h = m_h \cdot C P_w \cdot (T_{h,in} - T_{h,out}) \text{ (Ahmed Rezk Masoud Rezk 2012)}$$

$$COP = \frac{q_r}{q_h} \text{ (Ahmed Rezk Masoud Rezk 2012)}$$

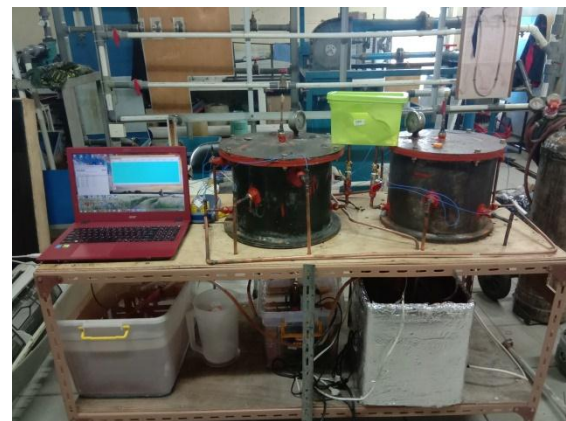
SCP (*Specific Cooling Power*) merupakan jumlah daya pendinginan yang dihasilkan per-unit massa adsorben. SCP (*Specific Cooling Power*) dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini.

$$SCP = \frac{q_r}{m_s} \text{ (Ahmed Rezk Masoud Rezk 2012)}$$

Keterangan :

q_r : kalor refrigerasi (W)
 q_h : kalor heating (W)
 m_h : Laju aliran massa desorpsi (kg/s)
 m_{ch} : Laju aliran massa refrigerasi (kg/s)
 $T_{ch,in}$: Temperatur masuk evaporator (°C)
 $T_{ch,out}$: Temperatur keluar evaporator (°C)
 $T_{h,in}$: Temperatur masuk desorpsi (°C)
 $T_{h,out}$: Temperatur keluar desorpsi (°C)
 SCP : *Specific Cooling Power* (KW/kg)
 m_s : massa adsorben (kg)
 COP : *Coefficient of Performance*

Alat sistem pendingin adsorpsi dengan *double bed adsorber* yang telah selesai dirancang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Sistem Pendingin Adsorpsi *Double Bed Adsorber*

Berikut beberapa langkah yang dilakukan sebelum pengambilan data pada sistem adsorpsi 2 *bed* sebagai berikut:

1. Memanaskan dan mengatur air panas pada temperatur sesuai yang ditentukan yaitu 85°C, 80°C, dan 75°C.
2. *Temperature controller* pada *Hot water Inlet* dihidupkan dan batas temperatur diatur.
3. Menvakum kedua ruang adsorber dan dipertahankan pada tekanan -58 cmHg Gauge.
4. Mengatur bukaan valve setiap aliran air panas, air pendingin untuk masing-masing komponen.
5. Mengaktifkan Pompa dan Pengaturan katup *Flowmeter*
6. Pengambilan masing - masing dengan pengaturan waktu 600 s, 900 s, 1200 s dan temperatur desorpsi 85°C, 80°C, dan 75°C.

7. Setelah air pemanas mencapai temperatur yang diinginkan, OMEGA USB TC-08 dihubungkan laptop hingga lampu indikator terhubung menyala.
8. Sensor termokopel pada OMEGA TC-08 tiap titik diatur untuk dapat membaca temperatur dengan benar dan memberi nama pada tiap titik uji.

3. Hasil

Pengujian dilakukan pada alat sistem pendingin adsorpsi *double bed adsorber* dengan mengondisikan temperatur panas 85 °C, waktu adsorpsi dan desorpsi selama 1200 s serta waktu evaporasi dan kondensasi 60 s. Data yang didapat berupa temperatur dan tekanan. Hasil pengujian selanjutnya dapat ditampilkan dalam bentuk tabel. Adapun kondisi pengoperasian alat ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Kondisi Pengoperasian

Parameter	simbol	Nilai	Unit
Temperatur <i>Chilled water inlet</i>	$T_{ch,in}$	30	°C
<i>Chilled water mass flow rate</i>	$m_{ch,in}$	0,0185	Kg/s
Temperatur <i>Cooling water inlet</i>	$T_{cool,in}$	30	°C
<i>Cooling water mass flow rate</i>	$m_{cool,in}$	0,0197	Kg/s
Temperatur adsorpsi <i>water inlet</i>	$T_{ads,in}$	30	°C
Adsorpsi <i>water mass flow rate</i>	$m_{ads,in}$	0,05	Kg/s
<i>Hot water mass flow rate</i>	$m_{hot,in}$	0,05	Kg/s
Massa Silika gel	ms	6,8	Kg
Volume air	v	2	L

Tekanan awal pemakuman untuk kedua *bed adsorber* yaitu -58 cmHg atau 23,99 kPa (Absolute). Data tekanan dan temperatur rata-rata pada proses desorpsi untuk *adsorber 1* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Tekanan dan Temperatur Rata-Rata Proses Desorpsi *Adsorber 1*

Waktu Siklus (detik)	Tek kond (kPa)	Tek <i>ads 1</i> (kPa)	Temp air <i>in kond</i> °C	Temp air <i>out kond</i> °C
1200 s	49,33	51,99	30,3	42,15

Temp air <i>in ads 1</i> °C	Temp air <i>in ads 1</i> °C
69,33	67,56

Data pengujian tekanan dan temperatur rata-rata selama proses adsorpsi untuk *adsorber 2* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tekanan dan Temperatur Rata-Rata Proses Adsorpsi *Adsorber 2*

Waktu Siklus (detik)	Tek eva (kPa)	Tek <i>ads 2</i> (kPa)	Temp air <i>in eva</i> °C	Temp air <i>out eva</i> °C
1200 s	34,66	31,99	30,06	28,3

Temp air <i>in ads 2</i> °C	Temp air <i>in ads 2</i> °C
30,34	35,52

Adapun eksperimen selanjutnya adalah kebalikan dari eksperimen sebelumnya. Data tekanan dan temperatur rata-rata pada proses desorpsi untuk *adsorber 2* dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Tekanan dan Temperatur Rata-Rata Proses Desorpsi *Adsorber 2*

Waktu Siklus (detik)	Tek kond (kPa)	Tek <i>ads 2</i> (kPa)	Temp air <i>in kond</i> °C	Temp air <i>out kond</i> °C
1200 s	54,6	51,99	30,25	41,46

Temp air <i>in ads 2</i> °C	Temp air <i>in ads 2</i> °C
69,38	67,04

Data pengujian tekanan dan temperatur rata-rata selama proses adsorpsi untuk *adsorber 1* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Tekanan dan Temperatur Rata-Rata Proses Adsorpsi *Adsorber 1*

Waktu Siklus (detik)	Tek eva (kPa)	Tek <i>ads 1</i> (kPa)	Temp air <i>in eva</i> °C	Temp air <i>out eva</i> °C
1200 s	37,33	54,66	29,71	27,82

Temp air <i>in ads 1</i> °C	Temp air <i>in ads 1</i> °C
30,34	35,65

Berdasarkan data tekanan dan temperatur dalam pengujian, maka dapat dilakukan perhitungan COP dengan menggunakan persamaan yang tertera di metode. Berikut perhitungan nilai COP dari eksperimen, dimana pengujian yang dilakukan adsorpsi *adsorber 2* desorpsi *adsorber 1*

dan adsorpsi *adsorber* 1 desorpsi *adsorber* 2. Perhitungan nilai COP dan SCP dapat terlihat di bawah ini.

$$\begin{aligned} q_r &= m_{ch} \cdot C P_w \cdot (T_{ch,in} - T_{ch,out}) \\ &= 0,0185 \frac{kg}{s} \cdot 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (30,06^\circ C - 28,3^\circ C) \\ &= 0,136 \frac{kJ}{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_h &= m_h \cdot C P_w \cdot (T_{h,in} - T_{h,out}) \\ &= 0,0945 \frac{kg}{s} \cdot 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (69,17 - 66,96) \\ &= 0,460 \frac{kJ}{s} \end{aligned}$$

$$COP = \frac{q_r}{q_h} = \frac{0,136 \frac{kJ}{s}}{0,460 \frac{kJ}{s}} = 0,295$$

$$SCP = \frac{q_r}{ms} = \frac{0,136 \frac{kJ}{s}}{3,4 \frac{kg}{s}} = 0,04 \frac{kW}{kg}$$

4. Pembahasan

Dari Tabel 2, dapat dilihat bahwa terjadinya kenaikan tekanan dari tekanan awal setelah pemvakuman, ini disebabkan karena adanya proses menempelnya molekul *adsorptive* terhadap permukaan adsorben yaitu silika gel. Proses kondensasi yang terjadi ΔT air di kondensor 11,85 °C.

Dari Tabel 3, dapat dilihat bahwa proses adsorpsi untuk *adsorber* 2 ΔT air di evaporator hanya 1,76 °C. Hal ini disebabkan terjadinya perpindahan kalor dari *chilled water* ke air refrigeran.

Dari Tabel 4, dapat diketahui bahwa tekanan kondensor dan temperatur cooling water meningkat. Hal ini disebabkan terjadinya proses yang dinamakan desorpsi, proses pelepasan molekul-molekul adsorbat dari mikropori air dengan memberikan panas pada silika gel sehingga tekanan dan temperatur menjadi meningkat dari tekanan dan temperatur semula.

Dari Tabel 5, proses adsorpsi *adsorber* 1 selama 20 menit temperatur rata-rata *chilled water* yang keluar dari evaporator 27,82 °C dengan tekanan evaporator 37,33 cmHg, ΔT air 1,87 °C. Hal ini disebabkan tekanan merupakan fungsi dari temperatur, sehingga apabila tekanan ditingkatkan untuk menjaga kapasitas penyerapan konstan, maka temperatur akan menurun.

5. Simpulan dan Saran

Dari penelitian sistem pendingin adsorpsi *double bed adsorber* dengan silika gel-adsorben dan air –adsorbat dengan memberikan laju aliran air pada evaporator 0,0185 kg/s waktu desorpsi 20 menit menghasilkan COP 0,295. Temperatur rata-rata *chilled water* yang keluar dari evaporator selama 1 menit proses adsorpsi, untuk adsorpsi

adsorber 2 temperatur rata-rata *chilled water* yang keluar dari evaporator 28,3 °C dengan temperatur *chilled water* masuk evaporator 30,06 °C, dan untuk adsorpsi *adsorber* 1 temperatur rata-rata *chilled water* yang keluar dari evaporator 27,82 °C dengan temperatur *chilled water* masuk evaporator 29,31 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- Najeh, Ghilen., Gabsi Slimane, Messai Souad, Benelmir Riad, El Ganaoui Mohammed. 2016. *Performance of silica gel-water solar adsorption cooling system*. The National School of Engineering of Gabes.
- Rezk, A. R. M. 2012. *Theoretical and Experimental Investigation of Silica Gel /Water Adsorption Refrigeration Systems*. University of Birmingham
- Taek Oh, Seung. 2013. *Silica gel/Water Based Adsorption Cooling System Employing Compact Fin-Tube Heat Exchanger*. Kyushu University
- Wang, Ruzhu., Liwei Wang, Jingyi Wu. 2014. *Adsorption Refrigeration Technology. Theory And Application*.:Wiley
- Wu, J. W. 2012. *A Study of Silica Gel Adsorption Desalination System*. Australia