

OPTIMASI TEMPERATUR COOLING WATER PADA 25°C DAN HOT WATER PADA 60 °C DENGAN VARIASI WAKTU SIKLUS PADA SISTEM 2 BED ADSORPTION CHILLER

Krist Mamre Saragih^[1], Awaludin Martin^[2]

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

^[1]kristmamres17@gmail.com, ^[2]awaludinmartin01@gmail.com

Abstract

Adsorption chiller has one of the solution related to enviromental issues by conventional refrigeration. This paper presented the optimization temperature cooling water and hot water from sistem adsorption chiller. Performance of adsorption chiller influenced by temperature hot water inlet and temperature cooling water inlet. To optimization temperature hot water inlet, temperature cooling water stay at 30°C and to optimization temperature cooling water inlet, temperature hot water stay at 65°C. According to this research temperature optimal hot water inlet 60°C in time cycle 700s with COP 0.36% and cooling power 0.72kW but temperature optimal cooling water inlet 25°C in time cycle 700s with COP 0.31% and cooling power 0.73kW.

Keyword : Adsorption chiller, Cooling water, Hot water, COP, Cooling power

1. Pendahuluan

Adsorpsi adalah sebuah fenomena penyerapan yang terjadi dipermukaan adsorben (*solid phase*) dengan refrigeran (*gas phase*) oleh karena aksi dari gaya van der waals dan gaya ikat hidrogen diantara molekul dari substansi tersebut. Desorpsi adalah proses terlepasnya refrigeran (*gas phase*) dari permukaan adsorben (*solid phase*) oleh karena panas dan tekanan yang diberikan pada substansi yang telah diadsorpsi [1].

Adsorption chiller merupakan salah satu solusi terkait permasalahan lingkungan oleh pendingin konvensional. oleh karena memiliki COP rendah maka diperlukan metode-metode baru untuk meningkatkan COP nya. Temperatur *hot water inlet* dan temperatur *cooling water inlet* sangat berpengaruh kepada kinerja sistem. Hal ini karena temperatur *hot water inlet* merupakan penggerak utama sistem *adsorption chiller*. Waktu siklus sangat mempengaruhi kapasitas penyerapan. Hal ini disebabkan oleh kapasitas adsorpsi dari adsorben terbatas sehingga jika waktu siklus lama maka adsorben jenuh dan tidak dapat mengadsorpsi dengan baik [2].

Analisis yang dilakukan pada perhitungan COP sistem adalah pada saat temperatur *chilled water inlet* relatif konstan. Temperatur hot water in dijaga konstan karena sangat berpengaruh pada performa kinerja sistem[3].

Perhitungan parameter-parameter sistem seperti *coefficient of performance* (COP), *cooling power* (CP) dan *specific cooling power* (SCP) pada penelitian ini menggunakan nilai kalor spesifik (cp) bervariasi sesuai temperatur fluida (air) yang masuk ke sistem. Beberapa referensi Perhitungan parameter sistem didasarkan pada kalor yang masuk dan kalor yang keluar pada temperatur *chilled in* konstan [4,5].

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tempertur optimal hot water in dan temperatur optimal cooling water in yang bekerja pada sistem 2 bed *adsorption chiller* dengan kondisi penelitian yang *isotherm* sehingga dapat dilakukan perhitungan parameter.

2. Metodologi

Secara umum, penelitian terdiri dari 1 buah *chiller* adsorpsi, 2 buah *pressure transmitter*, 2 buah *pressure gauge*, 1 buah *hot water tank*, 1 buah *cooling water HE*, 1 buah *chilled water HE*, 3 buah *flowmeter* dan 3 buah pompa air yang masing-masing untuk *cooling water*, *hot water* dan *chilled water*.

Pada penelitian ini pasangan *adsorbent* dan *adsorbat* yang digunakan adalah pasangan *silica gel*-air. Hal ini karena *silica gel*-air dapat bekerja pada temperatur rendah yaitu antara 50°C-100 °C seperti yang terlihat pada Tabel 1[6].

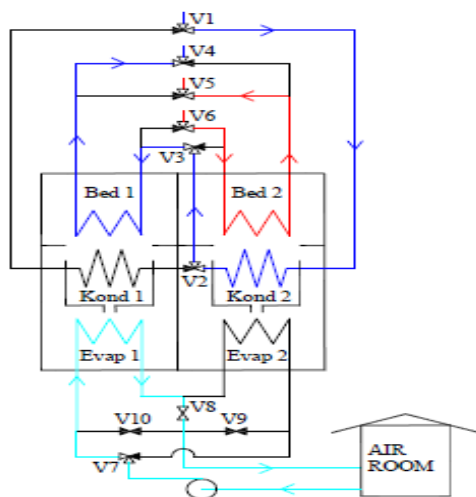
Tabel 1 Karakteristik Pasangan *adsorption cooling*

Refrigerant\ Characteristic	AC,ACF/ Amonia	AC,ACF/ Methanol	AC,ACF/ Ethanol	AC,ACF/ 134a	Silica gel/water	Zeolite/water
Operating pressure	+ve	Vacuum	Vacuum	+ve	Vacuum	Vacuum
Generating temperature °C	80-200	80-120	80-120	80-100	60-100	250-300
Adsorption capacity kgref/kgads	00.29	00.45	00.19	00.36	00.30	00.17
Refrigerant boiling point°C	-34	65	79	-48	100	100
Refrigerant latent heat of vaporization kJ/kg	1368	1102	842	217	2258	2258
Adsorption heat kJ/kg	1800-2000	1800-2000	1200-1400	1830-2300	2500-2800	3200-4200
Cooling power	2000W/kg	140-500W/kg			190W/kg	90-150W/kg
Cooling density			118-159kJ/kg	57 kJ/kg		

Prinsip kerja *adsorption chiller* didasarkan pada diagram *Clayferon* siklus pendingin adsorpsi. Prinsip kerja untuk optimasi temperatur *cooling water* dan *hot water* terdiri dari 2 langkah.

1. Adsorber 1 adsorpsi dan adsorber 2 desorpsi
Cooling water mengalir menuju kondenser 2 dari sumber melalui katup V1 kemudian menuju ke adsorber 1 melalui katup V2 dan V3. Selanjutnya *cooling water* kembali ke sumber melalui katup V4. *Hot water* mengalir dari *hot water tank* menuju adsorber 2 melalui V6 kemudian kembali lagi melalui V5. *Chilled water* mengalir melalui evaporator 1 melewati V7 dan V8.

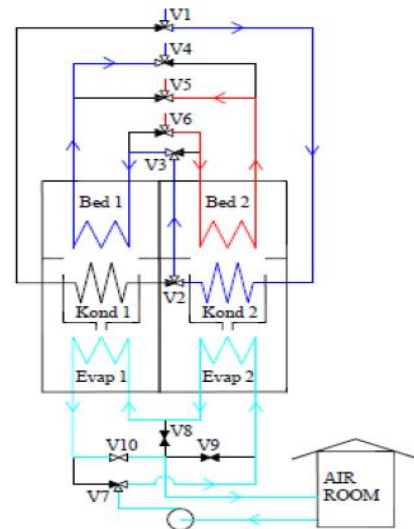
Adsorber 1 yang dingin akibat dilalui *cooling water* dari kondenser 2, menyerap (*adsorb*) air dari evaporator 1. Penguapan refrigerant tersebut mengakibatkan air yang melalui evaporator (*chilled water*) menjadi dingin. Adsorber 2 yang dalam kondisi panas dan bertekanan melepaskan uap air menuju evaporator 2 dimana sebelumnya terjadi proses kondensasi di kondenser 2. Pada saat pergantian siklus temperatur *cooling water* mencapai temperatur *hot water*. Hal ini karena panas adsorber pada saat setelah melakukan desorpsi sangat tinggi. Oleh karena itu dibutuhkan temperatur *hot water* dan *cooling water* yang konstan sehingga kondisi *isotherm adsorption cooling* dapat terpenuhi. Kondisi Adsorber 1 adsorpsi dan adsorber 2 desorpsi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Adsorber 1 adsorpsi dan adsorber 2 desorpsi

2. Adsorber 1 desorpsi dan adsorber 2 adsorpsi
 Seperti halnya pada proses awal, adsorber 2 yang dingin akibat dilalui *cooling water* dari kondenser 1 menyerap (*adsorb*) air dari evaporator 2. Penguapan refrigerant tersebut mengakibatkan *chilled water* mengalir melalui evaporator 2 melewati V7 dan V8 menjadi dingin. Adsorber 1 yang dalam kondisi panas dan bertekanan melepaskan uap air menuju evaporator 1 dimana sebelumnya proses kondensasi di kondenser 1.

Chilled water mengalir melalui evaporator 2 melalui V7 dan V8. Adsorber 2 yang dingin akibat dilalui *cooling water* dari kondenser 1 menyerap (*adsorb*) air dari evaporator 2. Penguapan refrigeran tersebut mengakibatkan air yang mengalir melalui evaporator (*chilled water*) menjadi dingin. Adsorber 1 yang dalam kondisi panas dan bertekanan melepaskan uap air menuju evaporator 1 dimana sebelumnya terjadi proses kondensasi di kondenser 1. Kondisi Adsorber 1 desorpsi dan adsorber 2 adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Adsorber 1 desorpsi dan adsorber 2 adsorpsi

Adapun prosedur penelitian adalah sebagai berikut.

1. Proses Degassing, proses ini berfungsi membersihkan dan melepaskan gas – gas yang bercampur dengan adsorben, dimana pada setiap adsorber dilakukan proses desorpsi selama satu jam dengan dialirkan air panas dengan temperature 70°C sambil di-vakum dengan pompa, hingga mencapai tekanan (-)60 cmHg gauge.
2. Mengisi air sebanyak 10 liter pada setiap adsorber.
3. Kemudian di-vakuum sekali lagi, untuk memastikan sampai tekanan (-60cmHg) (ditunjukkan pada pressure gauge).
4. Tempertur *cooling water* dan *hot water* di-setting sesuai variasi yang diinginkan.
5. Pembukaan katup secara otomatis dilakukan dengan cara menjalankan program PLC.
6. Pompa *hot water*, *cooling water*, dan *chilled water* dihidupkan.
7. Data temperatur di record pada PC dengan cara myabungkan program *LabView* dengan *national instrument*.

Data yang diperoleh digunakan dalam perhitungan untuk mengetahui performa chiller.

Perhitungan performa *chiller* tersebut dapat dilihat pada persamaan 1 dan 2 dibawah ini [5].

$$q_r = \dot{m}_{ch} C_{p,w} (T_{ch,in} - T_{ch,out}) \quad (1)$$

$$q_h = \dot{m}_h C_{p,w} (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (2)$$

Untuk melakukan evaluasi menyeluruh selama siklus tertentu, maka parameter diatas harus dirata-ratakan seperti persamaan 3 sampai persamaan 6 dibawah ini [5].

$$q_r = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{m}_{ch} C_{p,w} (T_{ch,in} - T_{ch,out})}{n} \quad (3)$$

$$q_h = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{m}_h C_{p,w} (T_{h,in} - T_{h,out})}{n} \quad (4)$$

$$COP = \frac{q_r}{q_h} \quad (5)$$

$$SCP = \frac{q_r}{m_s} \quad (6)$$

dimana q_r adalah kapasitas pendinginan (kW), $\dot{m}_{ch}$ adalah laju aliran massa *chilled water* (kg s⁻¹), $C_{p,w}$ adalah kalor jenis spesifik air (kJ kg⁻¹ K⁻¹), $T_{ch,in}$ adalah temperatur *chilled water* yang masuk ke evaporator (°C), $T_{ch,out}$ adalah temperatur *chilled water* yang keluar (°C), q_h adalah kapasitas pemanasan (kW), $\dot{m}_h$ adalah laju aliran massa air panas (kg s⁻¹), $T_{h,in}$ adalah temperatur air panas yang masuk ke adsorber (°C), $T_{h,out}$ adalah temperatur air panas yang keluar (°C), m_s adalah massa *silica gel* (kg).

3. Hasil

Berikut merupakan data hasil perhitungan COP paling tinggi pada temperatur 60°C dengan variasi waktu siklus 500s, 600s dan 700s yang dimuat dalam Tabel 2 sampai dengan Tabel 7.

Tabel 2 *Cooling Water* 25 °C waktu siklus 70 s

	CH In (°C)	CH Out (°C)	Hot In (°C)	Hot Out (°C)	COP	CP (kW)	SCP (kW/kg)
A	15,3	13,4	62,5	61,0	0,31	0,73	0,18
X	16,0	15,0	64,6	63,9			
N	14,8	12,8	61,4	31,5			
S.A	1,9		1,5				

Tabel 3 *Cooling Water* 25 °C waktu siklus 600s

	CH In (°C)	CH Out (°C)	Hot In (°C)	Hot Out (°C)	COP	CP (kW)	SCP (kW/kg)
A	15,1	13,2	64,9	63,1	0,27	0,7	0,17
X	15,9	14,6	65,2	64,7			
N	14,6	12,7	52,2	32,4			
S.A	1,9		1,8				

Tabel 4 *Cooling Water* 25 °C waktu siklus 500s

	CH In (°C)	CH Out (°C)	Hot In (°C)	Hot Out (°C)	COP	CP (kW)	SCP (kW/kg)
A	15,3	13,4	62,5	61,0	0,2	0,7	0,17
X	16,0	15,0	64,6	63,9			
N	14,8	12,8	61,4	31,5			
S.A	1,9		1,5				

Tabel 5 *Hot water* 60 °C waktu siklus 500s

	CH In (°C)	CH Out (°C)	Hot In (°C)	Hot Out (°C)	COP	CP (kW)	SCP (kW/kg)
A	15,5	13,6	62,2	60,5	0,36	0,72	0,18
X	16,2	15,7	63,1	62,5			
N	14,9	13,0	61,0	32,7			
S.A			1,7				

Tabel 6 *Hot water* 60 °C waktu siklus 600s

	CH In (°C)	CH Out (°C)	Hot In (°C)	Hot Out (°C)	COP	CP (kW)	SCP (kW/kg)
A	15,8	13,7	62,2	60,6	0,28	0,73	0,18
X	20,3	16,8	63,4	62,8			
N	15,2	13,0	58,6	34,2			
S.A	2,1		1,7				

Tabel 7 *Hot water* 60 °C waktu siklus 700s

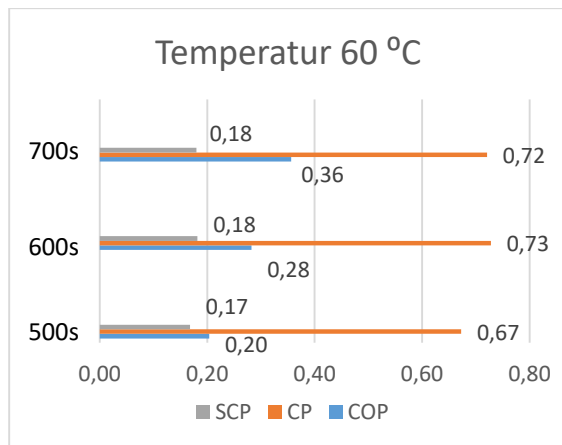
	CH In (°C)	CH Out (°C)	Hot In (°C)	Hot Out (°C)	COP	CP (kW)	SCP (kW/kg)
A	15,6	13,5	60,7	59,4	0,20	0,67	0,17
X	16,1	16,4	61,7	61,1			
N	15,0	12,8	38,0	33,3			
S.A	2,1		1,3				

A=average, X=Maksimum, N=Minimum, S.A= selisih average

4. Pembahasan

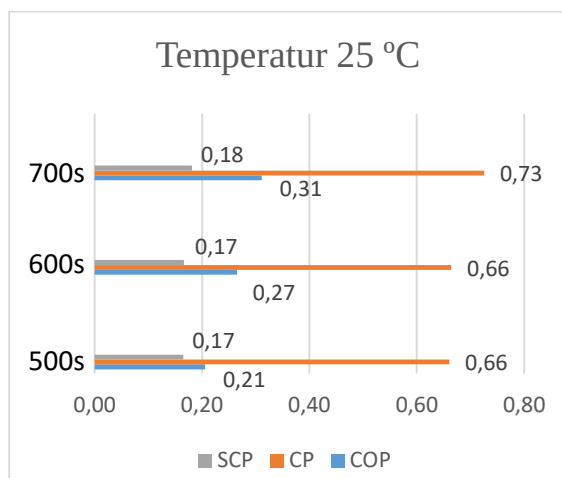
Salah satu tujuan dilakukan perhitungan adalah untuk mengetahui performa *adsorption chiller* dengan variasi waktu siklus diberbagai temperatur yang ditentukan. Nilai COP yang tinggi pada optimasi temperatur *cooling water* adalah 0,31% yaitu pada temperatur 25°C pada waktu siklus 700s. Nilai COP yang paling tinggi untuk optimasi temperatur *hot water* adalah 0,36% yaitu pada temperatur 60°C pada waktu siklus 700s.

Dari data hasil diperoleh menunjukkan bahwa waktu siklus yang paling optimal adalah 700s. Semakin baik kemampuan adsorben untuk mengadsorpsi maka semakin optimal pada waktu yang relatif lama. COP akan menurun jika laju adsorpsi sudah menurun (adsorben mulai jenuh). Dengan kapasitas adsorpsi yang tinggi maka lebih banyak adsorbat yang diserap ketika waktu yang lama, namun hal ini mengakibatkan perubahan temperatur *chilled water* sangat rendah. Optimasi *hot water* pada temperatur 60 °C dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Perbandingan *chiller performance* optimasi hot water dengan variasi waktu siklus

Nilai *coefficient of performance* (COP), *cooling power* (CP), dan *specific cooling power* (SCP) dipengaruhi laju aliran massa, kalor jenis spesifik air, massa *silica gel* serta penurunan temperatur *chilled water* dan *hot water*. Hal ini didasarkan pada parameter perhitungan performa *chiller*. Secara teori semakin tinggi temperatur maka semakin baik adsorpsi. Namun yang didapatkan pada temperatur 60°C. Hal ini terjadi karena kinerja *heater* yang kurang baik serta karena banyaknya kalor yang terbuang pada saat *hot water* melalui pipa *hot water*.



Gambar 4 Perbandingan *chiller performance* optimasi cooling water dengan variasi waktu siklus

Optimasi *hot water* pada temperatur 60 °C dapat dilihat pada Gambar 4. *Cooling water* digunakan sebagai pendingin *adsorber* pada saat melakukan adsorpsi. Dari data yang diperoleh, nilai COP yang paling baik terdapat pada temperatur 25°C dan pada waktu siklus 700s. Secara teori semakin dingin temperatur *cooling water* maka semakin baik adsorpsinya. Hal ini disebabkan oleh pada temperatur 20 °C air telah mulai mengembun pada *tube* adsorber sehingga adsorpsi berkurang oleh karena adsorben telah terlebih dahulu diserap oleh adsorben itu sendiri.

5. Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai COP yang paling tinggi terdapat pada temperatur 60 °C pada waktu siklus 700s yaitu 0,36 dengan CP 0,72 kW. (optimasi *hot water*).
2. Nilai COP paling tinggi terdapat pada temperatur 25°C pada waktu siklus 700s yaitu 0,31 dengan CP 0,73 kW (optimasi *cooling water*).

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada *head of department of mechanical engineering* yaitu bapak Prof.Dr.-Ing.Ir.Nasruddin,M.Eng yang telah bersedia memberikan fasilitas penelitian tentang *Adsorption cooling* di Universitas Indonesia.

Daftar Pustaka

- [1] Agung,Gusti B W.2014.” Development Of Re-heat adsorption Refrigeration Cycles.”*Graduate School Of bio-applications And Systems Engineering Tokyo University Of agriculture And Technology Japan*
- [2] Wang, D. C., Z. Z. Xia, J. Y. Wu, R. Z. Wang, H. Zhaia, and W. D. Dou. 2005. “Study of a Novel Silica Gel–Water Adsorption Chiller. Part I. Design and Performance Prediction.” *International Journal of Refrigeration* 28: 1073–1083.
- [3] Wang, Ruzhu.2015. Adsorption refrigeration technology theory and application. *Shanghai Jiao Tong University: Wiley*
- [4] Taufan, andy.2017 “Desain dan studi eksperimental *silica gel-water adsorption chiller*”.Tesis. Universitas Indonesia.
- [5] Manga,Aris.2017 “studi eksperimental pada *chiller* adsorpsi *silica gel*/air tipe *rectangular finned -tube, modular adsorbers*”.Tesis. Universitas Indonesia.
- [6] Masoud, A. R. 2012.” Theoretical And Experimental Investigation Of Silica Gel/Water Adsorption Refrigeration Systems.” *School of Mechanical EngineeringCollege of Engineering and Physical Science The University of Birmingham*.