

UNJUK KERJA SISTIM ADSORPSI CHILLER PEMANASAN ULANG DUA TINGKAT

I Gusti Agung Bagus Wirajati*, A.A.N.B. Mulawarman

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali, Bukit Jimbaran, Badung, Bali - 80364

* e-mail : igabwirajati@pnb.ac.id, Telp. (0361) 701981, Fax.(0361)701128

Abstrak: Adsorpsi refrigerasi chiller adalah sistim pendinginan yang ramah lingkungan karena menggunakan refrigeran alami dan pemanfaatan panas rendah sebagai sumber energinya. Tulisan ini mencakup hasil eksperimen dari sistem adsorpsi chiller pemanasan dua tingkat yang di verifikasi juga dengan simulasi menggunakan program MATLAB dan prinsip kerja dari sistem adsorpsi chiller pemanasan dua tingkat juga dijabarkan dalam tulisan ini. Hasil perhitungan dari COP dan kapasitas pendinginan merupakan indikator unjuk kerja dalam sistem ini. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan hasil simulasi dan eksperimen dari efek temperatur pemanasan terhadap unjuk kerjanya, terhadap rata-rata keluaran temperatur chiller, terhadap laju aliran masa chiller dan terhadap siklus waktunya. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa hasil simulasi dan eksperimen menunjukkan kecenderungan yang sama dimana nilai COP dan kapasitas pendinginannya naik seiring dengan bertambahnya nilai temperatur pemanasan yang diberikan pada sistim. Disamping itu, diperoleh nilai kapasitas pendinginan yang paling baik untuk siklus waktu diantara 2000 – 2500 detik.

Kata kunci: adsorpsi chiller pemanasan dua tingkat, COP, kapasitas pendinginan.

Perfromance of Heat Recovery of Two Stages Adsoption System

Abstract: Adsorption refrigeration chiller is environmental friendly due to the use of natural refrigerant and low grade thermal energy as the driven energy sources. In this paper, an experimental investigation of re-heat two stage adsorption chiller is verified by MATLAB simulation, and the working principle of the cycle introduced. Coefficient of performance and cooling capacity were calculated to analyze the performance of the chiller. The objectives are to compare the effect of heat source temperature on the performance, on the average chilled water out, on the mass flow rate and on hte cycle time of the sistem in both simulation and the experiment. From this study, it was concluded that the results of simulations and experiments showed the same trend in which the value of COP and cooling capacity increased along with the heat source temperature. On the other hand, cycle times within 2000-2500 s produced highest cooling capacity..

Keywords: Re-heat adsorption chiller, fixed chilled water outlet temperature, COP, cooling capacity.

I. PENDAHULUAN

Sistim pendinginan chiller adsorpsi semakin mendapat perhatian sudah lebih dari tiga dekade akhir ini. Sistem ini dianggap baik karena tidak hanya sebagai sistim alternatif untuk mengurangi penggunaan HFC dan HCFC tetapi juga sebagai teknologi yang hemat energi [1]. Selanjutnya, siklus adsorpsi memiliki keuntungan yang berbeda atas sistem lain dalam kemampuannya menggunakan sumber panas yang rendah, suhu yang relatif rendah mendekati temperatur lingkungan, sehingga sumber panas (limbah atau panas matahari) di bawah 100°C dapat dipergunakan kembali, yang sangat diinginkan dan telah diselidiki oleh Kashiwagi [1]. Sistim pendinginan chiller adsorpsi semakin mendapat perhatian sudah lebih dari tiga dekade akhir ini. Sistem ini dianggap baik karena tidak hanya sebagai sistim alternatif untuk mengurangi penggunaan HFC dan HCFC tetapi juga sebagai teknologi yang hemat energi [1]. Selanjutnya, siklus adsorpsi memiliki keuntungan yang berbeda atas sistem lain dalam kemampuannya menggunakan

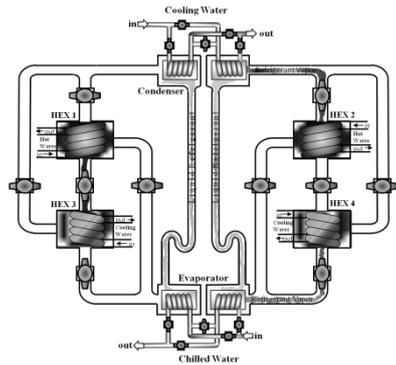
sumber panas yang rendah, suhu yang relatif rendah mendekati temperatur lingkungan, sehingga sumber panas (limbah atau panas matahari) di bawah 100°C dapat dipergunakan kembali, yang sangat diinginkan dan telah diselidiki oleh Kashiwagi [1]. Unjuk kerja sistim adsorpsi chiller, yang dalam hal ini dengan siklus pemanasan dua tingkat, telah diteliti oleh Alam [2], Uyun [2] dan Khan [3]. Namun, temperatur air keluaran chiller nya berfluktuasi. Untuk menjaga agar temperatur air keluaran chiller tetap adalah juga merupakan hal yang sama pentingnya untuk meningkatkan efisiensi konversi sehingga kapasitas pendinginan maksimal dapat dicapai. Didalam tulisan ini perbandingan hasil antara simulasi dengan menggunakan program MATLAB dan eksperimen ditampilkan untuk menunjukkan unjuk kerja dari sistim adsorpsi ini. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah bahwa unjuk kerja dari sistim adsorpsi chiller meningkat seiring dengan peningkatan temperatur sumber panas yang digunakan dan siklus waktu 2000-2500 detik menghasilkan kapasitas pendinginan yang terbaik.

II. METODE PENELITIAN

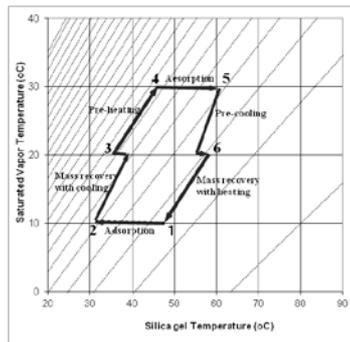
Penelitian ini menggunakan metode simulasi program MATLAB ode 32 yang akan dibandingkan dengan metode eksperimen.

• **Prinsip Kerja Chiller Dengan Sistem Pemanasan Ulang Dua Tingkat**

Gambar 1(a) menunjukkan skema chiller dengan sistem pemanasan ulang dua tingkat sedangkan gambar 1(b) memperlihatkan diagram PTX (Pressure-Temperature-Concentration) pada kondisi standarnya.



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Skema sistem adsorbs chiller dengan pemanasan ulang dua tingkat dan (b) P-T-X Diagram

Chiller ini dioperasikan dalam enam tahap proses termodinamik yakni adsorbsi (1-2), mass recovery dengan pendinginan (2-3), pre-heating (3-4), desorbsi (4-5), mass recovery dengan pemanasan (5-6) dan pre-cooling (6-1). Pada saat proses adsorbsi, air di evaporator di evaporasi sampai pada temperature evaporator (T_{eva}) dan akan menyerap panas (Q_c) dari air dingin. Di akhir setengah siklusnya, mesin pemindah panas 1 (HEX1) dalam keadaan dingin sedangkan mesin pemindah panas 2 (HEX2) dalam kondisi panas. Secara bersamaan, HEX1 dalam keadaan tekanan rendah dan harus dinaikkan sampai pada tekanan kondensor sedangkan HEX2 dalam kondisi tekanan tinggi dan harus diturunkan sampai pada tekanan evaporatornya. Agar bisa kondisi tersebut tercapai maka uap harus dipindahkan dari HEX1 ke HEX2. Proses ini disebut proses mass

recovery. Proses adsorbsi dan atau desorbsi akan terjadi secara otomatis akibat adanya perbedaan tekanan pada mesin pemindah panasnya. Tekanan pada HEX2 akan meningkat seiring dengan peningkatan tekanan pada HEX1. Temperatur HEX2 masih dalam keadaan tinggi dengan maksud untuk bisa menghasilkan kapasitas pendinginan yang lebih banyak. Uap air yang dihasilkan masih terjadi dari HEX2 menuju HEX1 sehingga mengakibatkan kandungan uap air pada HEX2 menjadi berkurang. Setelahnya, HEX1 akan dipanaskan dengan air anas dna HEX2 akan didinginkan dengan air dingin. Selama proses ini tidak ada aliran air karena semua katup didalam system ditutup. Proses ini dikenal sebagai proses pre-heating/pre-cooling. Apabila tekanan pada HEX1 mendekati tekanan kondensor dan tekanan HEX2 mendekati sama dengan tekanan evaporator maka katup antara HEX1 dan kondensor dibuka maka uap air akan kembali mengalir. Proses adsorbsi dan desorbsi kembali terjadi. Dalam proses ini, uap air dari HEX1 akan cair di kondensor dengan melepaskan panasnya. Uap cair akan menglair dari kondensor ke evaporator. didalam evaporator, uap air akan diserap secara isobarik oleh HEX2. Proses evaporasi akan terjadi dan akan menghasilkan efek pendinginan. Panas evaporasi akan didapatkan dari aliran air dingin pada temperatur rendah. Untuk dapat beroperasi penuh, maka proses selanjutnya akan sama dengan proses setengah siklus yang telah disebutkan diatas, tetapi hanya berubah posisi HEX1 sebagai desorbsi dan HEX2 sebagai adsorbs.

Tabel 1. Strategi operasional chiller.

HE X	Mode									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Des					Ads			Mr	
2						Mr			Des	
3								Des		
4									Ads	

Tabel 1 menunjukkan strategi operasional untuk sistem adsorbsi yang dibahas dalam tulisan ini sedangkan Tabel 2 memperlihatkan tentang standard kondisi operasional yang dipakai pada saat simulasi dan eksperimen. Untuk menyelesaikan satu siklus lengkapnya maka chiller dengan sistem ini bekerja dalam 10 mode (A-J). Khusus pada mode C dan mode H, maka akan ada dua HEX yang bekerja secara bersamaan dalam proses adsorbsi dan desorbsi. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efek pendinginan yang dihasilkan. Tabel ini juga dipakai acuan utama disaat membangun program simulasinya.

• **Performance Indicator**

COP (koefisien unjuk kerja) dan CC (kapasitas pendinginan adalah merupakan indicator unjuk kerja

dari sistim yang dibahas dalam tulisan ini dan dijabarkan lewat rumusan dibawah ini:

Perhitungan Cooling Capacity :

$$\dot{m}_{chill} C_w \int_0^{t_{cycle}} (T_{chill,in} - T_{chill,out}) dt / t_{cycle}$$

Perhitungan COP :

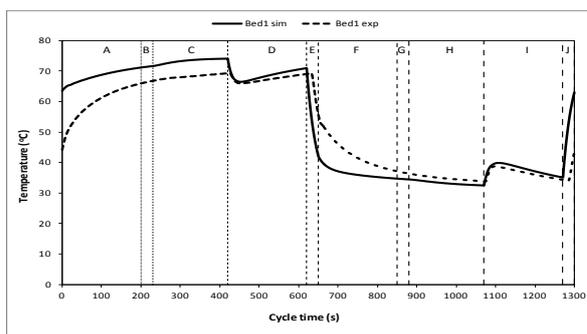
$$\frac{\dot{m}_{chill} C_w \int_0^{t_{cycle}} (T_{chill,in} - T_{chill,out}) dt}{\dot{m}_{hot} C_w \int_0^{t_{cycle}} (T_{hot,in} - T_{hot,out}) dt}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Program simulasi yang dibangun dalam tulisan ini adalah berbasis MATLAB ode 32 dengan berpedoman pada gambar 1, tabel 1.

Gambar 2 menunjukkan hasil kecenderungan temperatur dari HEX1 yang didapat dari hasil eksperimen maupun simuasi. Temperatur pemanasan 75°C dan total waktu siklus 1300s merupakan kondisi yang dipilih.

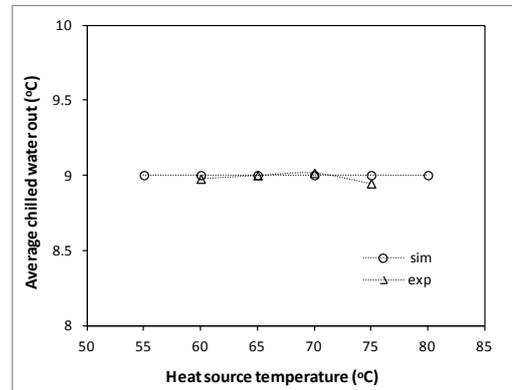
Di awal proses (420s), dari mode A ke mode C, HEX1 dalam proses desorbsi sehingga temperaturnya meningkat. Pada saat mode D, HEX1 dalam proses mass recovery dengan pemanasan berlanjut, sehingga tampak bahwa temperature HEX1 turun mendadak dan akan naik lagi setelahnya. Hal ini diebabkan karena pemanasan air panas pada HEX1. Di kala mode E, HEX1 dalam proses pre-cooling sehingga temperaturnya turun. Proses selanjutnya adalah proses adsorbsi untuk HEX1 (mode F, G dan H). Pada saat proses ini, HEX1 bekerja dalam kondisi tekanan evaporator. Refrigeran di evaporator akan diuapkan dan diserap oleh HEX1. Pada saat mode I, HEX1 dalam proses mass recovery dengan proses pendinginan berlanjut. Temperatur HEX1 akan meningkat sedikit dan akhirnya akan turun kembali akibat adanya proses pendinginan berlanjut. Di mode J, HEX1 dalam proses pre-heating sehingga temperaturnya meningkat.



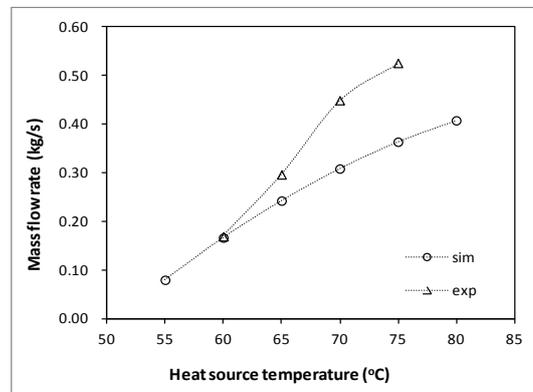
Gambar 2. Perbandingan hasil temperatur simulasi dan eksperimen pada HEX1

Gambar 3(a) menunjukkan rata-rata temperatur air keluaran chiller dan laju aliran masa. Dapat dijelaskan bahwa kecenderungan hasil simulasi dari rata-rata temperatur air keluaran chiller tampak datar baik. Ini disebabkan karena mengaplikasikan nilai-nilai pada simulasi lebih mudah dibandingkan pada eksperimen. Pada gambar 3(b) dapat dijabarkan

bahwa untuk mencapai temperatur air keluaran chiller pada 9°C pada sistim maka laju aliran masanya harus dinaikan seiring dengan kenaikan temperaur pemanasan yang digunakan.



(a)

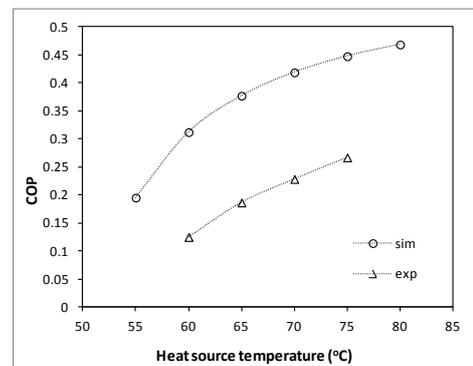


(b)

Gambar 3. (a) Rata-rata temperatur air keluaran chiller dan (b) laju aliran masanya.

• **Pengaruh Temperatur Pemanasan Terhadap Unjuk Kerja Sistim**

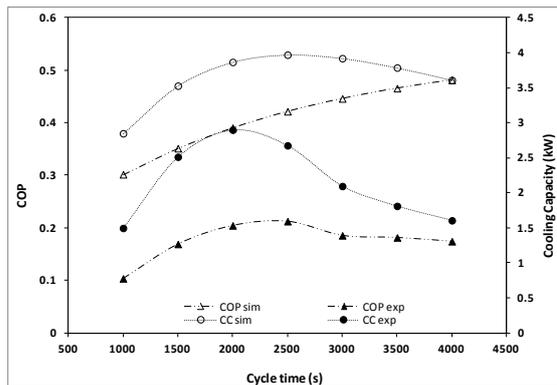
Pengaruh temperatur pemanasan terhadap unuk kerja sistim dapat dilihat pada gambar 4 dimana temperature air keluaran chiller digunakan tetap 9°C dan siklus wktu totalnya adalah 1300s. Nilai COP dan kapasitas pendinginan yang dihasilkan meningkat seiring dengan peningkatan temperatur pemanasannya.



Gambar 4 Pengaruh temperatur pemanasan terhadap unjuk kerja sistem.

• **Pengaruh Waktu Siklus Terhadap Unjuk Kerja Sistikim**

Pengaruh waktu siklus terhadap unjuk kerja sistim dapat dilihat pada gambar 5. Ada tujuh waktu siklus yang dipilih yang dimulai dari 1000s sampai dengan 4000s. Pada saat eksperimen dan simulasi, semuanya mengacu pada kondisi yang sama dimana sumber pemanasan dan temperatur keluaran air chiller yang digunakan adalah 60 °C dan 9 °C.



Gambar 5. Pengaruh waktu siklus terhadap unjuk kerja sistem

Seperti tampak dalam gambar 5, nilai COP dari hasil simulasi meningkat seiring dengan peningkatan waktu siklusnya, tetapi nilai COP selama eksperimen, untuk siklus waktu yang lebih lama dari 2500s cenderung menurun. Kapasitas pendinginan tertinggi dicapai pada saat siklus waktu antara 2000-2500s. Apabila siklus waktunya kurang dari 2000, proses dari waktu adsorpsi/desorpsi tidak mencukupi karena alokasi waktu yang diberikan tidak mencukupi sehingga unjuk kerjanya pun rendah.

IV. KESIMPULAN

Berikut ini adalah kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini antara lain:

1. Dalam hal simulasi dan eksperimen, kecenderungan hasil unjuk kerjanya memiliki kesamaan.
2. COP dan kapasitas pendinginan meningkat seiring dengan peningkatan sumber panasnya.
3. Waktu siklus diantara 2000-2500s menghasilkan kapasitas pendinginan yang tertinggi.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.O. Dieng , R.Z. Wang, Literature review on solar adsorption technologies for ice-making and air conditioning purposes and recent developments in solar technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 5 (2001) 313–342.
- [2] K.C.A. Alam, M.Z.I. Khan, A.S. Uyun, Y. Hamamoto, A. Akisawa, T. Kashiwagi,

Experimental study of a low temperature heat driven re-heat two-stage adsorption chiller, *Applied Thermal Engineering*, 27 (2007) 1686–1692

- [3] M.Z.I. Khan, K.C.A. Alam, B.B. Saha, A. Akisawa, T. Kashiwagi, Study on a re-heat two-stage adsorption chiller - The influence of thermal capacitance ratio, overall thermal conductance ratio and adsorbent mass on system performance, *Applied Thermal Engineering* 27 (2007) 1677–1685.
- [4] C.H. Tong, N.K. Choon, A. Malek, T. Kashiwagi, A. Akisawa, B.B Saha, A regenerative adsorption process and multi reactor generative adsorption chiller, *Espacenet Description:EP 1140314 (A1)*