

TINJAUAN TENTANG SISTEM PENDINGINAN ADSORPSI SURYA

Arfidian Rachman^{1*}, Arfita Yuana Dewi², Asnal Effendi³

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Padang

²⁾Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang

³⁾Program Studi Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik¹⁾Institut Teknologi Padang

*Corresponding Author E-mail : drarfidianrachman@gmail.com

Abstract

The primary aim of this paper is to offer key insights into solar energy and waste heat adsorption cooling systems, as well as to present a helpful approach concerning the design aspects of the adsorbent bed utilized in adsorption cooling. In recent decades, solar-powered water purifiers have primarily been utilized for heating water in residential settings. In contrast, solar cooling systems have mainly been designed for demonstration purposes. It indicates that absorption cooling systems are better suited for large buildings, while adsorption cooling systems show greater promise for smaller air conditioning units. It is advised to plan solar-powered systems in public facilities. Highly efficient heat pumps are regarded as the best supplementary heat providers since they can operate independently of weather conditions.

Keywords: Solar Energy, Solar cooling, Adsorption cooling, COP, Heat pump

Abstrak

Tujuan utama dari makalah ini adalah untuk menawarkan wawasan tentang sistem pendinginan adsorpsi energi matahari, serta untuk menyajikan pendekatan yang berguna terkait aspek desain dari lapisan adsorben yang digunakan dalam pendinginan adsorpsi. Dalam beberapa dekade terakhir, pemurni air bertenaga surya telah digunakan untuk memanaskan air di lingkungan rumah tangga. Sebaliknya, sistem pendinginan surya umumnya dirancang untuk tujuan demonstrasi. Ini menunjukkan bahwa sistem pendinginan adsorpsi lebih cocok untuk bangunan besar, sementara sistem pendinginan adsorpsi menunjukkan prospek yang lebih baik untuk unit pendingin udara yang lebih kecil. Disarankan untuk merencanakan sistem bertenaga surya di fasilitas umum. Pompa panas yang sangat efisien dianggap sebagai penyedia panas tambahan terbaik karena dapat beroperasi secara independen dari kondisi cuaca.

Kata Kunci: Energi Surya, pendinginan surya, pendinginan adsorpsi, COP, pompa panas

1. PENDAHULUAN

Pendinginan dengan tenaga surya telah terbukti benar-benar layak. Ini merupakan aplikasi yang sangat menarik untuk energi surya karena keselarasan yang erat antara kebutuhan pendinginan puncak dengan daya surya yang tersedia.

Proses adsorpsi dan desorpsi diidentifikasi lebih dari 200 tahun yang lalu oleh C. W. Scheele pada tahun 1773 dan F. Fontana pada tahun 1777. Pada tahun 1785, mereka mengamati bahwa pemanasan arang dalam tabung uji menyebabkan pelepasan gas. Ketika arang tersebut kemudian didinginkan, gas-gas tersebut sekali lagi teradsorpsi [1].

Karakter adsorpsi/desorpsi selalu menjadi isu yang kontroversial di seluruh dunia. Pada abad ke-19, dalam sebuah tulisan, gagasan bahwa gas tertahan dibahas oleh Faraday pada tahun 1834. Gas tersebut tertahan oleh gaya listrik pada permukaan dan berspekulasi bahwa gas mungkin bereaksi lebih mudah setelah itu. Mereka berada dalam keadaan teradsorpsi. Namun, Berzelius (1836) menunjukkan bahwa adsorben terbaik adalah bahan dengan porositas tinggi. Berzelius berhipotesis bahwa adsorpsi terjadi ketika gas terkompresi ke dalam pori-pori bahan berpori oleh tegangan permukaan atau gaya lainnya. [1-3].

Literatur dari tahun 1850-an hingga 1920-an secara aktif membahas gagasan bahwa sebagian besar proses adsorpsi/desorpsi sebenarnya hanyalah kondensasi pori. Pada tahun 1825 dan 1853, Magnus menunjukkan bahwa kondensasi pori memang terjadi, dan Magnus (1929) juga melakukannya. Namun, peneliti lain menemukan beberapa fakta yang bertentangan dengan gagasan bahwa kondensasi pori saja yang menjelaskan adsorpsi/desorpsi [1-3].

Sistem pendingin bertenaga surya dapat dibagi menjadi tiga kelompok: (i) pendinginan serapan surya; (ii) sistem termal surya; dan (iii) sistem mekanis surya. Dua kategori awal berfokus pada penggunaan energi termal surya, sedangkan kategori ketiga menggunakan mesin bertenaga surya untuk mengoperasikan sistem pendingin udara konvensional. Penggerak utama bertenaga surya dapat berupa mesin Rankine atau motor listrik yang beroperasi pada prinsip fotovoltaik surya. Panel fotovoltaik surya biasanya memiliki efisiensi rendah sekitar 10–15%, tergantung pada jenis sel yang digunakan, yang menghasilkan efisiensi yang umumnya rendah untuk sistem [4]. Lebih jauh lagi, dengan mempertimbangkan keluaran pendinginan yang serupa, sistem mekanis surya empat hingga lima kali lebih mahal daripada sistem bertenaga termal surya [5]. Saat ini, mayoritas sistem pendingin udara bertenaga surya adalah sistem serapan surya dan sistem termal surya yang memanfaatkan panas matahari. Mayoritas temuan dari proyek UE SACE (Pemanfaatan Panas Surya di Eropa), Constantinou dkk. Disimpulkan bahwa pendingin udara bertenaga surya memiliki potensi yang kuat untuk penghematan energi yang substansial. Secara khusus, di wilayah Eropa selatan dan Mediterania, sistem pendingin bertenaga surya dapat menghasilkan penghematan energi yang signifikan sekitar 40% hingga 50%. Data terkait yang diambil mengenai energi vital yang dihemat adalah sekitar 0,07 detik per kilowatt-jam untuk kondisi yang paling menguntungkan [6].

Saat ini, mayoritas sistem pendingin bertenaga surya yang banyak digunakan adalah pendingin serapan lithium bromida yang digerakkan oleh air panas. Sejumlah penelitian, yang mencakup analisis simulasi dan investigasi eksperimental, telah didokumentasikan. Mengenai proses pemeriksaan reka ulang, program TRANSYS telah banyak digunakan untuk menganalisis sistem pendingin penyimpanan energi termal surya. Menciptakan sistem pendingin serapan bertenaga surya untuk tempat tinggal umum di Siprus dengan menggunakan program simulasi TRANSYS dan memanfaatkan data iklim Nicosia, Siprus. Struktur optimal yang telah selesai terdiri dari kolektor alegoris majemuk berukuran 15 m² yang miring pada sudut 30 derajat dari horizontal dan tangki penyimpanan air panas dengan kapasitas 600 liter [7]. Balghouthi dkk. Melakukan simulasi menggunakan program TRANSYS untuk memilih dan mengevaluasi berbagai aspek sistem pendingin serapan bertenaga surya. Reka ulang tersebut menunjukkan bahwa sistem pendingin bertenaga surya untuk retensi sesuai untuk kondisi di Tunisia [8]. Assilzadeh dkk, melakukan kajian sistem pendingin berbasis surya yang dirancang untuk Malaysia dan daerah tropis serupa, memanfaatkan kolektor surya tabung hampa dan unit penyerapan LiBr. Demonstrasi dan simulasi sistem pendingin penyerapan surya dilakukan menggunakan perangkat lunak TRANSYS. Berkas tahunan meteorologi yang biasa yang mencakup kondisi cuaca untuk Malaysia digunakan untuk memodelkan sistem. Temuan menunjukkan bahwa tangki penyimpanan air panas 0,8 m³ diperlukan untuk memastikan operasi yang berkelanjutan dan meningkatkan keandalan sistem. Sistem terbaik yang sesuai untuk iklim Malaysia untuk pengaturan 3,5 kW mencakup 35 m² kolektor surya tabung hampa yang miring pada 20 derajat [9]. Xavier García Casals melakukan simulasi dinamis yang komprehensif menggunakan TRANSYS untuk memeriksa beberapa sistem pemanas dan pendingin surya komersial awal yang diterapkan di Spanyol. Dia menilai potensi mereka dalam kaitannya dengan solusi pendinginan surya alternatif [10].

Bersamaan dengan studi TRANSYS, Atmaca dkk, mengembangkan program komputer untuk mensimulasikan beberapa konfigurasi siklus dan variabel energi surya untuk Antalya, Turki untuk sistem pendinginan penyerapan surya. Pengaruh suhu saluran masuk air panas pada koefisien kinerja dan luas permukaan komponen dalam pendinginan penyerapan diselidiki. Untuk pertimbangan ini, 80 °C, suhu terendah yang diizinkan untuk perendaman air panas, adalah pilihan terbaik [11]. Li dkk. Lapisan hangat suhu tangki dikaji secara hipotetis. Perhitungan menunjukkan bahwa sistem pendinginan penyerapan surya yang beroperasi dalam mode partisi dapat memberikan efek pendinginan jauh lebih cepat daripada sistem seluruh tangki konvensional dan mencapai koefisien kinerja (COP) yang lebih tinggi [12].

Satu lagi sistem pendingin bertenaga surya yang memungkinkan adalah sistem pendingin adsorpsi berbasis matahari. Dua atau lebih penyerap diperlukan untuk memberikan operasi berkelanjutan. Sistem adsorpsi memiliki COP yang agak lebih rendah daripada kerangka retensi dalam kondisi yang sama, oleh karena itu memungkinkan suhu penggerak yang agak berkurang. Untuk sistem

pendingin bertenaga surya berukuran lebih kecil [6, 15, 16], teknologi pendinginan adsorpsi paling cocok.

Dengan menggunakan model matematika, Khattab mensimulasikan dan meningkatkan kinerja sistem pendinginan adsorpsi bertenaga surya dengan pasangan adsorpsi padat arang dan metanol [17]. Saha dkk, menyelidiki pendingin adsorpsi silika gel-air mode ganda yang menggunakan sumber panas matahari atau panas buangan bersuhu rendah dengan rentang suhu 40 hingga 95°C. Ada dua kemungkinan mode operasi untuk pendingin yang ditingkatkan. Mode operasi satu berfungsi sebagai pendingin tipikal yang sangat efektif, dengan suhu sumber penggerak berkisar 60 hingga 95 °C. Mode operasi kedua beroperasi sebagai pendingin adsorpsi tiga tahap yang ditingkatkan yang suhu sumber penggerak yang tersedia cukup (antara 40 dan 60 °C). Simulasi mode tiga tahap mengungkapkan bahwa nilai COP terbaik dicapai pada suhu sumber penggerak antara 50 dan 55 °C; dalam mode satu tahap, multi-bed [18]. membuat demonstrasi parameter tergabung untuk menyelidiki seberapa baik kinerja sistem pendingin udara adsorpsi bertenaga surya yang digerakkan oleh kolektor surya tipe datar. Analisis dilakukan bagaimana struktur campuran tersebut dijalankan merupakan salah satu janji utamanya. Dari hasil dapat memprediksi respons kuat kerangka adsorpsi untuk kondisi operasi tertentu [19].

Sampai saat ini, ide pengujian pada sistem pendinginan adsorpsi bertenaga surya sebagian besar didasarkan pada bagaimana pendingin adsorpsi diimplementasikan., Saha dkk, menyelidiki secara tentatif sebuah lemari pendingin adsorpsi non-regeneratif dengan suhu antara 50 dan 70 °C, pada empat-tempat wadah, dua-tahap yang digerakkan oleh sumber-sumber hangat yang berorientasi matahari atau panas buang. Ketika suhu sumber pemanas dan penyerap panas masing-masing adalah 55 dan 30 °C, prototipe yang diuji menghasilkan air dingin pada 10 °C dan memiliki kapasitas pendinginan 3,2 kW dengan COP 0,36. Pada rentang suhu ini [20], kolektor surya pelat datar dapat dengan mudah menyediakan air panas untuk menghidupkan kembali penyerap pendingin. Tanpa katup refrigerant. Liu dkk, mengembangkan pendingin adsorpsi menggunakan gel silika, air sebagai campuran kerja. Lebih sedikit bagian yang bergerak dan kinerja pendingin yang berkurang juga membuatnya lebih kuat, tampaknya memungkinkan perdebatan tentang infiltrasi. Air panas antara 75 dan 90 °C dapat membantu memulihkan tempat wadah penyerapan dari lemari pendingin tersebut. Seluruh chiller menampung 52,8 kg gel silika yang didistribusikan di dua lapisan adsorben yang keluar dari fase sehingga memberikan pendinginan konstan. Di bawah keadaan operasional berikut-suhu hilang 7 °C, suhu pembuangan panas 28 °C, dan suhu sumber panas 85 °C, pengujian dengan model pertama mengungkapkan bahwa kontrol pendinginan 3,56 kW dan COP 0,26 dapat dicapai dengan menggunakan bentuk pemulihan massa dan panas. Dengan kolektor surya tabung sebagai sumber energi panas [19], chiller sangat cocok untuk sistem pendinginan berorientasi matahari.

Menekankan bahwa teknologi pendinginan surya masih dalam tahap awal, saat ini terdapat sekitar 70 sistem pendinginan surya yang beroperasi di Eropa. Sebagian besar sistem ini berada di Jerman atau Spanyol. Secara kolektif, sistem ini menawarkan pendinginan sekitar 6,3 MW; pengumpul surya luas permukaannya sekitar 17.500 m². Sekitar 59% dari sistem ini memanfaatkan teknologi penyerapan surya; sekitar 11% didasarkan pada teknologi penyerapan surya. Untuk pengetahuan yang lebih mendalam tentang sistem pendinginan surya di Eropa, Henning [20].

Energi surya berlimpah dan ramah lingkungan, lebih dari dua pertiga wilayah Tiongkok memperoleh lebih dari 6000 MJ/m² setiap tahun dan memiliki lebih dari 2200 jam sinar matahari. Jumlah ini mungkin harus menggantikan sumber energi konvensional. Akibatnya, tenaga surya ditetapkan menjadi sangat penting dalam sistem energi bangunan. Kolektor air surya telah mengalami perkembangan pesat sejak tahun 1980, dengan tingkat pertumbuhan tahunan sebesar 30%. Pada akhir tahun 2006, hampir 90 juta m² pemanas air surya, sebagian besar dimaksudkan untuk memanaskan air panas rumah tangga dan sebagian memenuhi kebutuhan pemanas ruangan, telah digunakan di seluruh negeri. Sistem pendingin surya sebagian besar dibuat untuk tujuan demonstrasi. Lebih dari 10 proyek demonstrasi pendinginan surya telah dilakukan sejak sistem pendinginan penyerapan bertenaga surya pertama dipasang di Shenzhen pada tahun 1987. Bersama dengan beberapa saran penutup, makalah ini memberikan ringkasan singkat tentang perkembangan teknologi pendinginan surya di Tiongkok termasuk ikhtisar dari lima proyek paling penting yang memanfaatkan sistem pendinginan penyerapan dan adsorpsi.

Kebutuhan energi sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia. Energi terbarukan menjadi solusi untuk mengatasi hal tersebut karena juga dapat mengurangi emisi gas (CO₂). Sumber energi fosil yang dapat dimanfaatkan oleh manusia, seperti matahari, angin, air, batu bara, gas bumi nuklir dan lain sebagainya.

2. SISTEM PENDINGINAN ADSORPSI TENAGA SURYA

Facilities ramah lingkungan Shanghai Research Institute of Building Science adalah proyek demonstrasi penting yang menggunakan teknologi pendinginan adsorpsi bertenaga surya. Dirancang sebagai proyek demonstrasi, bangunan hijau ini menggabungkan antara lain sistem termal surya, sel fotovoltaik surya, ventilasi alami, pencahayaan alami, dan flora dalam ruangan di antara pendekatan energi berkelanjutan lainnya. Kolektor surya tubular vakum berbentuk U seluas sembilan meter persegi dengan CPC yang ditempatkan di bagian barat daya atap mengumpulkan energi surya yang digunakan untuk menjalankan pendingin adsorpsi, bersama dengan kolektor surya tubular vakum pipa panas seluas 60 m² di sisi tenggara. Atapnya miring 40° di atas tanah untuk memaksimalkan penggunaan energi surya yang efektif. Di kedua sisi, semua kolektor surya disusun dalam tiga baris paralel. Untuk mendapatkan air panas pada suhu yang lebih tinggi, yang sangat penting untuk meningkatkan kinerja sistem, unit individual di setiap baris dihubungkan dalam pengaturan seri. Bersamaan dengan memaksimalkan efisiensi sistem, desain kolektor surya khusus ini meningkatkan daya tarik visual bagian luar bangunan. Lebih jauh, ini menunjukkan bagaimana mengintegrasikan kolektor surya ke dalam bangunan, terutama bangunan umum, benar-benar dapat dilakukan. Dirancang untuk beroperasi dalam area seluas 460 m², sistem pendingin surya dengan 15 kW yang ditetapkan untuk beban pendinginan ditangani oleh AC adsorpsi bertenaga surya yang dijelaskan dalam makalah ini, sistem ini diprediksi dapat memenuhi kebutuhan pendinginan sebesar 60 kW selama bulan-bulan musim panas. Sistem penguap cair yang dibuat bersama oleh Universitas Tsinghua dan Institut Penelitian Ilmu Bangunan Shanghai menangani 45 kW yang terkait dengan beban pendinginan laten. Hasilnya, sistem pendingin udara hibrida ini dapat menangani persyaratan pendinginan dan kelembapan secara independen; kumparan kipas yang ditemukan di ruangan ber-AC beroperasi dalam mode kering bebas dari kondensasi. Selain rangkaian kolektor surya, sistem pendingin udara yang digerakkan oleh energi surya sebagian besar terdiri dari dua pendingin adsorpsi dengan kapasitas pendinginan terukur sebesar 8,5 kW (ketika suhu air panas mencapai 85°C), bersama dengan menara pendingin, kumparan kipas di ruangan yang didinginkan, dan pompa sirkulasi untuk kolektor surya (Pompa 1), air panas (Pompa 2), air pendingin (Pompa 3), dan air dingin (Pompa 4). Selain itu, tangki penyimpanan panas 2,5 m³ menyimpan panas surya dan menyalurkan air panas ke sistem pendingin udara. Pipa dan katup menyatukan semua bagian untuk menciptakan sirkuit aliran penuh. Dalam keadaan kerja musim panas yang normal, pengumpulan surya harian mencapai 39,7%. Suhu rata-rata air panas adalah 70,2 °C antara pukul 9:00 dan 17:00, dengan sistem menghasilkan keluaran pendinginan rata-rata 15,3 kW. Mengenai konsumsi panas dari dua pendingin adsorpsi, koefisien kinerja rata-rata (COP) untuk sistem adalah 0,35; COP surya rata-rata adalah 0,15. Lebih jauh, keluaran pendinginan puncak mencapai 20 kW. Tercatat bahwa kontribusi surya terhadap sistem selama musim panas adalah 72%, tahapan yang dilalui dalam penelitian, pembangunan konsep, atau penyelesaian kasus, dituliskan pada bagian metodologi.

3. REKOMENDASI DAN KESIMPULAN

Selama dua dekade terakhir, sistem pendingin surya yang berbasis pada penyerapan atau adsorpsi sebagian besar telah diterapkan di gedung-gedung pemerintah. Hampir semua solusi pendingin surya juga menyediakan pemanas dan air panas pada waktu yang berbeda, sehingga memberikan fleksibilitas yang besar. Karena biaya awal yang besar dan permukaan pengumpulan yang dibutuhkan yang besar relatif terhadap kapasitas pendinginannya, sistem pendingin surya belum dapat dipraktikkan untuk penggunaan rumah tangga biasa. Membangun sistem energi bertenaga surya untuk bangunan publik sangat direkomendasikan. Biasanya, ada banyak ruang atap untuk pemasangan kolektor surya, sehingga sistem bertenaga surya ini dapat menyediakan pemanas dan

pendingin serta meningkatkan ventilasi alami dan menyediakan air panas. Efektivitas biaya sistem ini ditingkatkan dengan efisiensi tinggi, kemampuan beradaptasi perubahan musim, dan fraksi surya yang signifikan. Sistem tenaga surya yang dikembangkan hanya untuk pendinginan tidak realistis secara finansial karena biaya awalnya yang tinggi. Hampir 60 hingga 70 % dari keseluruhan pengeluaran untuk sistem pendingin ini berasal dari pengeluaran kolektor surya. Oleh karena itu, sistem pendingin surya harus digunakan dengan pemanas air panas. Sistem energi bertenaga surya dalam struktur hijau Institut Penelitian Ilmu Bangunan Shanghai periode pengembalian modal sekitar dua hingga tiga tahun. Sebaliknya, waktu pengembalian modal mungkin tujuh hingga delapan tahun jika air panas hanya digunakan untuk pemanasan dan pendinginan ruangan. Pendekatan terpenting saat ini untuk meningkatkan efisiensi sistem pendingin surya berfokus pada kemajuan dalam pendingin dan kolektor surya. Di satu sisi, penelitian sedang dilakukan pada pendingin bertenaga termal baru dengan suhu operasi rendah. Penelitian pada kolektor surya suhu sedang dan tinggi yang mampu menghasilkan sumber panas suhu tinggi sedang berlangsung di sisi lain. Jalur pertama khususnya relevan untuk Tiongkok karena sebagian besar kolektor surya yang digunakan adalah perangkat pelat datar atau tabung vakum tradisional. Oleh karena itu, fokus utama adalah menciptakan pendingin bertenaga termal yang sesuai untuk kolektor surya yang sering digunakan. Pendingin penyerapan silika-gel dan pendingin penyerapan Li-Br merupakan dua bidang penelitian utama saat ini. Struktur besar telah terbukti lebih sesuai untuk sistem pendinginan penyerapan surya karena kapasitasnya telah meningkat melalui proyek-proyek demonstrasi. Banyak perusahaan membuat pendingin penyerapan dengan kapasitas berkisar ribuan kilowatt. Namun, sistem berkapasitas lebih kecil memiliki lebih sedikit pilihan.

4. PROSPEK

Perspektif dengan diberlakukannya "Undang-Undang Energi Terbarukan", dunia akan memperluas penelitian tentang energi surya untuk memfasilitasi terobosan dalam penggunaan sistem termal surya dengan bangunan. Dengan strategi terpadu, modul kolektor surya yang dimasukkan ke dalam fasad bangunan akan disorot dan ditingkatkan. Kolektor surya yang penting dapat dibangun di fasad bangunan. Pendekatan terpadu mengubah sistem surya menjadi bagian dari rencana arsitektur umum. Setidaknya harus dipertimbangkan dalam desain arsitektur; kolektor surya tidak boleh menjadi elemen independen yang ditambahkan kemudian. Untuk memenuhi dua tujuan dan dengan demikian mengurangi total biaya, mereka harus mengganti bahan konstruksi lainnya. Baik pengaturan pendingin penyerapan bertenaga surya atau penyerapan bertenaga surya akan disempurnakan dan dinormalisasi untuk sistem pendingin surya. Manufaktur skala besar diharapkan dapat memangkas biaya pendingin. Seiring dengan semakin meluasnya penyebaran sistem pemanas air tenaga surya ke dalam hunian, teknologi pendinginan tenaga surya—terutama sistem pendinginan hunian tipe kecil—akan dikembangkan. Mengenai sumber panas sekunder, sistem pendinginan tenaga surya yang dibantu dengan peralatan pompa panas yang sangat efisien atau energi terbarukan lainnya seperti energi panas bumi akan diteliti sesuai dengan karakteristik iklim yang berbeda. Mengenai peraturan terkait, untuk menstandarisasi desain dan pembangunan sistem pemanas air tenaga surya, Kementerian PU telah menerbitkan "Spesifikasi Teknik Terapan untuk Aplikasi Energi Surya di Bangunan Sipil" dan "Gambar Kolektif Pemilihan dan Pemasangan untuk Kolektor Surya". Namun, khususnya untuk adopsi luas sistem energi terpadu bertenaga surya, diperlukan alat analisis dan spesifikasi desain. Dengan harapan solusi pendinginan tenaga surya memiliki dampak yang semakin besar pada sistem energi bangunan selama beberapa tahun ke depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aranovich, G., and Donohue, M., (1998) Analysis of Adsorption Isotherms: Lattice Theory Predictions, Classification of Isotherms for Gas–Solid Equilibria, and Similarities in Gas and

- Liquid Adsorption Behavior. *Journal of Colloid and Interface Science* Vol.200 (2), pp. 273-290
- [2] Sangwichien, C., Aranovich, G.L., and Donohue, M.D., (2002) Density functional theory predictions of adsorption isotherms with hysteresis loops. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 206, pp. 313–320
 - [3] Somorjai, G.A., (1972) *Principles of Surface Chemistry*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.
 - [4] Kazmerski LL. Photovoltaics: a review of cell and module technologies. *Renew Sust Energ Rev* 1997;1(1–2):71–170.
 - [5] Wang RZ. Some discussions on energy efficiency in building and hybrid energy systems. *Acta Energiæ Solaris Sinica* 2002;23(3):322–35.
 - [6] Balaras CA, Grossman G, Henning HM, Infante Ferreira CA, Podesser E, Wang L, et al. Solar air conditioning in Europe—an overview. *Renew Sust Energ Rev* 2007;11(2):299–314.
 - [7] Florides GA, Kalogirou SA, Tassou SA, Wrobel LC. Modelling and simulation of an absorption solar cooling system for Cyprus. *Sol Energy* 2002;72(1):43–51.
 - [8] Balghouthi M, Hachemi Chahbani M, Guizani A. Solar powered air conditioning as a solution to reduce environmental pollution in Tunisia. *Desalination* 2005;185(1–3):105–10.
 - [9] Assilzadeh F, Kalogirou SA, Ali Y, Sopian K. Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors. *Renew Energy* 2005;30(8):1143–59.
 - [10] Garcí'a Casals X. Solar absorption cooling in Spain: perspectives and outcomes from the simulation of recent installations. *Renew Energy* 2006;31(9):1371–89.
 - [11] Atmaca I, Yigit A. Simulation of solar-powered absorption cooling system. *Renew Energy* 2003;28(8):1277–93.
 - [12] Li ZF, Sumathy K. Performance study of a partitioned thermally stratified storage tank in a solar powered absorption air conditioning system. *Appl Therm Eng* 2002;22(11):1207–16.
 - [13] Wang RZ. Adsorption refrigeration in Shanghai Jiao Tong University. *Renew Sust Energ Rev* 2001;5(1):1–37.
 - [14] Wang RZ, Oliveira RG. Adsorption refrigeration—an efficient way to make good use of waste heat and solar energy. *Prog Energy Combust* 2006;32(4): 424–58.
 - [15] Khattab NM. Simulation and optimization of a novel solar-powered adsorption refrigeration module. *Sol Energy* 2006;80(7):823–33.
 - [16] Saha BB, Koyama S, Kashiwagi T, Akisawa A, Ng KC, Chua HT. Waste heat driven dual-mode, multi-stage, multi-bed regenerative adsorption system. *Int J Refrig* 2003;26(7):749–57.
 - [17] Li Y, Sumathy K. Modelling and simulation of a solar powered two bed adsorption air conditioning system. *Energy Convers Manage* 2004;45(17):2761–75.
 - [18] Saha BB, Akisawa A, Kashiwagi T. Solar/waste heat driven two-stage adsorption chiller: the prototype. *Renew Energy* 2001;23(1):93–101.
 - [19] Liu YL, Wang RZ, Xia ZZ. Experimental study on a continuous adsorption water chiller with novel design. *Int J Refrig* 2005;28(2):218–30.
 - [20] Henning HM. Solar assisted air conditioning of buildings—an overview. *Appl Therm Eng* 2008;27(10):1734–49.