

Kaji eksperimental *direct-expansion solar-assisted heat pump water heater* kapasitas 60 liter dengan menggunakan refrigeran R134a

Rahman Asfaranda¹, Rahmat Iman Mainil¹, Azridjal Aziz¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya KM 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293
Email korespondensi: azridjal.aziz@lecturer.unri.ac.id

Abstrak

Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa dari *direct expansion solar assisted heat pump water heater* yang terutama terdiri dari panel evaporator dengan luas permukaan $0,23 \text{ m}^2$, kompresor rotari dengan daya input $122,5 \text{ W}$, tangki air berisolator yang telah dililitkan kondensator berdiameter $0,024 \text{ m}$ sepanjang 15 m serta pipa kapiler berdiameter $0,001 \text{ m}$ sepanjang $1,61 \text{ m}$. Pengujian dilakukan pada luar ruangan yang terepapar langsung sinar matahari. Hasil dari pengujian ini adalah COP tertinggi pada sistem DX-SAHPWH yang didapatkan sebesar $2,193$ dan COP terkecil didapatkan sebesar $1,548$. Intensitas radiasi matahari yang lebih tinggi memiliki efek positif terhadap kinerja dari sistem DX-SAHPWH, yaitu berakibat pada laju perpindahan panas pada air (\dot{Q}_{wm}) meningkat, waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan lebih cepat, serta kinerja ataupun coefficient of performance (COP) dari sistem DX-SAHPWH meningkat.

Kata kunci: heat pump water heater, koefisien unjuk kerja, eksperimen.

Abstract

The test was conducted to determine the performance of a *direct expansion solar-assisted heat pump water heater* which mainly consists of an evaporator panel with a surface area of 0.23 m^2 , a rotary compressor with an input power of $122,5 \text{ W}$, an insulated water tank wrapped around a 15 m diameter 0.0254 condenser and a capillary pipe 0.001 diameter pipe and 1.61 m long. The test was carried out outdoors exposed to direct sunlight. The result of this test is that the highest COP on the DX-SAHPWH system is 2.193 and the smallest COP is 1.548 . Higher solar radiation intensity has a positive effect on the performance of the DX-SAHPWH system, which results in the rate of heat transfer in the air (\dot{Q}_{wm}) increases, the time required for heating is faster, and the performance or coefficient of performance (COP) of the DX-SAHPWH system increases.

Keywords: heat pump water heater, coefficient of performance, experiment.

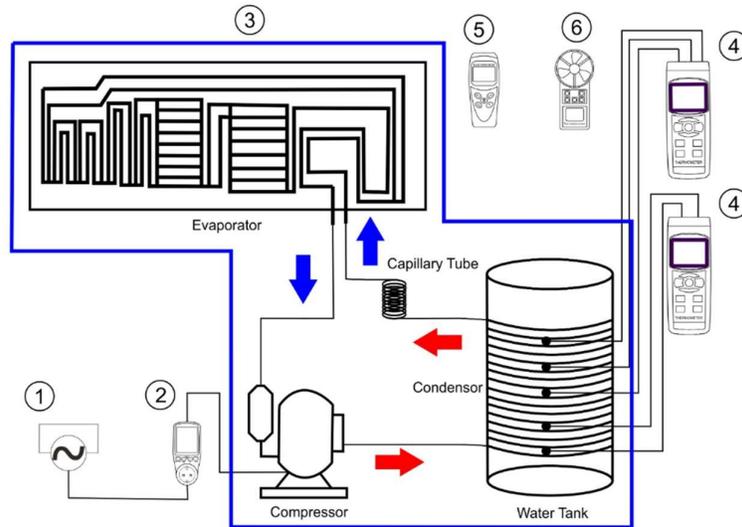
1. Pendahuluan

Hampir 90% kebutuhan energi Indonesia dipasok oleh energi berbasis dari bahan bakar fosil, seperti batubara, minyak dan gas. Namun dengan adanya kekhawatiran mengenai dampak perubahan iklim, sekarang sudah ada pergeseran pandangan bahwa energi fosil sudah tidak lagi murah [1]. Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak di khatulistiwa serta negara beriklim tropis, sehingga matahari bersinar sepanjang tahun. Kondisi ini dapat menjadikan matahari menjadi alternatif sumber energi masa depan. Pemanfaatan energi matahari sangat banyak salah satunya yaitu sistem pemanas air [2].

Dalam kehidupan sehari-hari, manusia sangat bergantung pada air panas, mulai dari keperluan rumah tangga seperti mencuci piring, mencuci pakaian sampai dengan mandi. Belakangan ini, mandi air hangat telah menjadi gaya hidup masyarakat Indonesia dikarenakan banyaknya manfaat yang di

dapat dengan mandi air hangat. Pada umumnya, air dipanaskan dengan menggunakan bahan bakar fosil atau gas tetapi sumber daya alam tersebut tidak dapat diperbaharui sehingga semakin hari persediaannya semakin sedikit [3].

Pada 2011 di China, dilakukan analisis kinerja termal dari *direct-expansion solar assisted heat pump water heater* (DX-SAHPWH). Sistem DX-SAHPWH ini juga terdiri dari $4,20 \text{ m}^2$ kolektor pelat datar/evaporator tipe ekspansi langsung, kompresor tipe *rotary* dengan daya input terukur $0,75 \text{ kW}$ dan katup ekspansi termostatik yang menggunakan refrigeran R-22. Berdasarkan simulasi, kinerja termal sistem DX-SAHPWH yang tinggi dapat dicapai, yang dipengaruhi secara signifikan oleh variasi radiasi matahari, suhu lingkungan dan kecepatan kompresor. Dibandingkan dengan hal tersebut, kecepatan angin tidak berpengaruh besar pada kinerja sistem [4].



Information: 1. Arus AC, 2. Watt Meter, 3. Sistem DX-SAHPWH, 4. Thermocouple Digital, 5. Solar Power Meter, 6. Thermo-Anemometer

Gambar 1. Skematik diagram perangkat pengujian sistem DX-SAHPWH.

Pada 2013, kajian tentang sistem *solar assisted heat pump* di Singapura. Evaporator-kolektor tanpa glasir memungkinkan untuk menyerap energi matahari dan energi sekitar karena suhu pengoperasian rendah. Tidak seperti kolektor konvensional, kolektor evaporator ditemukan memiliki efisiensi tinggi, 80% sampai 90%, dan koefisien kinerja mencapai nilai setinggi 8,0. Sistem terintegrasi mengarah pada pengurangan pemanasan global, karena menggunakan energi surya, energi ambient dan panas limbah AC [5]. Pada 2018, dilakukan analisis kinerja eksperimental *direct expansion solar assisted heat pump water heater* dengan R134a di musim panas. Sistem DX-SAHPWH ini terdiri dari kolektor pelat datar/evaporator dengan luas permukaan 2,1 m², jenis kompresor tipe rotari dengan putaran frekuensi-variabel, tangki air panas dengan volume 0,2 m³ dikelilingi oleh kondensor saluran mikro dan katup ekspansi elektronik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa koefisien kinerja sistem (COP) dapat ditingkatkan dengan peningkatan intensitas radiasi matahari atau suhu sekitar dan dengan penurunan kecepatan kompresor atau suhu air akhir [6].

Berdasarkan kajian tahun 2016 yang meneliti pengoperasian sistem DX-SAHPWH menggunakan tiga refrigeran yang berbeda mendapatkan refrigeran yang paling efisien dalam pengoperasian sistem DX-SAHPWH adalah refrigeran R134a [7]. Untuk memastikan kinerja termal jangka panjang terhadap sistem DX-SAHPWH, ukuran komponen dan konfigurasi komponen DX-SAHPWH harus sesuai dengan kebutuhan beban dan radiasi harian di lokasi tertentu. Sistem DX-SAHPWH yang dikenal secara umum terdiri dari empat komponen utama dan dikonfigurasi berdasarkan desain arsitektural dari fasilitas aplikasi atau struktur. Komponen-komponen

ini adalah kolektor, evaporator, kompresor, katup ekspansi termal dan tangki penyimpanan air panas [8].

Berdasarkan tinjauan terhadap kajian, konfigurasi sistem DX-SAHPWH dibagi menjadi dua kategori utama yaitu *basic models* dan *advance models*. *Basic models* ditandai dengan biaya rendah dan pengaturan yang sederhana karena lebih sedikit jumlah komponen yang diperlukan untuk pemasangan. Kajian milik Anderson pada tahun 2007 [9] dan Kong tahun 2011 [4] merupakan salah satu contoh penggunaan *basic models*. Sedangkan *advance models* merupakan model lanjutan dari *basic models* yang mengikuti pola operasi yang sama dengan *basic models* tetapi melibatkan komponen tambahan atau menggabungkan sistem secara keseluruhan dengan sistem lain. Kajian milik Chyng tahun 2003 [10] dan Chaturvedi tahun 2009 [11] merupakan salah satu contoh penggunaan *advance models*.

Berdasarkan permasalahan tersebut muncul sebuah ide untuk membuat sebuah *direct-expansion solar assisted heat pump water heater* kapasitas tangki air panas 60 liter air di Indonesia yang merupakan negara beriklim tropis menggunakan pemodelan sistem yang lebih sederhana. Untuk mengetahui dan membandingkan peforma dari alat yang telah dirancang ini dibutuhkan suatu pengujian, salah satunya adalah dengan melakukan kaji eksperimental *direct-expansion solar assisted heat pump water heater* (DX-SAHPWH) kapasitas tangki air panas 60 liter di Indonesia yang merupakan negara beriklim tropis menggunakan pemodelan sistem yang lebih sederhana, terutama efek dari berbagai parameter terhadap kinerja sistem.

2. Metode

Pada kajian ini metode yang digunakan adalah metode kajian eksperimental. Kajian ini dilakukan untuk mengetahui *coefficient of performance* (COP) dan pengaruh intensitas radiasi matahari variasi suhu akhir air terhadap *coefficient of performance* (COP) dari sistem DX-SAHPWH yang dirancang.

Sistem DX-SAPHWH tersebut terdiri dari panel evaporator kulkas satu pintu jenis plat dengan luas permukaan 0,23 m² yang telah dicat hitam doff 884, kompresor rotari Samsung SD143H-L1U2 SM1 dengan daya input 122,5 watt, tangki air volume 0,06 m³ dengan diameter 0,38 m dan tinggi 0,54 m berisolator *polyurethane foam* yang telah dililitkan pipa tembaga (sebagai kondensor) berdiameter 0,024 m sepanjang 15 m serta pipa kapiler berdiameter 0,001 m sepanjang 1,61 m.

Alat ukur yang digunakan pada kajian ini adalah termometer digital Lutron dengan termokopel tipe K untuk membaca temperatur dalam Celsius pada setiap termokopel yang terpasang pada sistem, 5 buah termokopel yang berfungsi untuk merespon temperatur setiap titik (dapat dilihat pada Gambar 1) pada saat pengujian yang kemudian disalurkan pada termokopel digital untuk pembacaan. *Solar power meter* tipe Tenmars TM-206 untuk mengukur besar intensitas radiasi matahari dalam satuan W/m² pada saat pengujian, termo-anemometer tipe Extech 451104 untuk mengukur temperatur lingkungan selama pengujian dan multimeter tipe KWE-PM01-EU untuk mengukur besarnya daya yang digunakan selama pengujian. Skematik peralatan dan pengujian sistem DX-SAHPWH pada kajian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Prosedur pengujian pada kajian ini adalah sebagai berikut: sistem DX-SAHPWH diletakkan pada luar ruang, sehingga terpapar matahari langsung. Tangki air diisi dengan air sebanyak 60 liter, kemudian temperatur air yang terbaca pada *thermometer digital* yang ada pada tangki air dicatat. Kompresor dihidupkan dengan menyambungkan ke arus listrik AC, disaat yang bersamaan *stopwatch* dihidupkan untuk menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan dalam pengujian. Selama proses

pemanasan air, daya kompresor, temperatur lingkungan dan intensitas radiasi matahari diukur dengan menggunakan alat ukur yang telah disiapkan dan dicatat. Pengukuran dilakukan dalam selang waktu ± 20 menit selama pengujian dan kemudian dicatat. Lakukan pencatatan waktu pemanasan air dengan temperatur akhir air yang terbaca pada *thermometer digital* mencapai rata-rata 46°C-47°C. Kompresor dimatikan ketika suhu air yang terbaca pada *thermometer digital* mencapai 48°C. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dalam 5 hari berbeda.

Keuntungan panas termal rata-rata pada kondensor saluran mikro ($\dot{Q}_{w,m}$), yang juga merupakan laju perpindahan panas yang diberikan ke air panas dalam tangki oleh kondensor, dihitung dengan Persamaan 1 berikut [6].

$$\dot{Q}_{w,m} = M_w C_{p,w} \frac{(t_{w,f} - t_{w,i})}{\tau} \quad (1)$$

di mana:

- M_w : Massa total air dalam tangki air panas (kg)
- $C_{p,w}$: Kalor jenis air dalam tangki air panas (J/kg°C)
- $t_{w,f}$: Temperatur akhir air (°C)
- $t_{w,i}$: Temperatur awal air (°C)
- τ : Waktu pemanasan (detik)

Koefisien rata-rata kinerja (COP_m) dari sistem dapat dihitung dengan Persamaan 2 berikut [6].

$$COP_m = \frac{M_w C_{p,w} (t_{w,f} - t_{w,i})}{\sum_{j=1}^k \tau_j W_{com,j}} \quad (2)$$

di mana:

- $W_{com,j}$: Daya kompresor dari langkah waktu ke-j (Watt)
- τ_j : Waktu pengujian (detik)
- K : Jumlah total langkah waktu selama seluruh proses pemanasan

3. Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1, di mana T_a merupakan temperatur lingkungan dalam satuan Celsius dan I_m merupakan intensitas radiasi matahari dalam satuan W/m².

Tabel 1. Data hasil pengujian selama 5 hari di luar ruangan.

Pengujian	T_a (°C)	I_m (W/m ²)	T_{wi} (°C)	T_{wf} (°C)	τ (menit)	W_{com} (Watt)
1	35,04	930,18	28	46,64	206	190,34
2	34,84	826,09	28	46,86	216	189,27
3	34,97	917,91	28	46,84	209	189,97
4	34,83	842,18	28	46,82	211	189,32
5	35,09	952,3	28	46,94	186	193,35

Pada Tabel 1, data hasil pengujian nilai-nilai T_a , Im , T_{wi} , T_{wf} dan W_{com} merupakan nilai rata-rata dari data yang diperoleh selama pengujian. Massa air di dalam tangki selama pengujian diisi dengan jumlah yang sama di setiap pengujian, di mana massa air tersebut setelah ditimbang diketahui sebesar 59,76 kg.

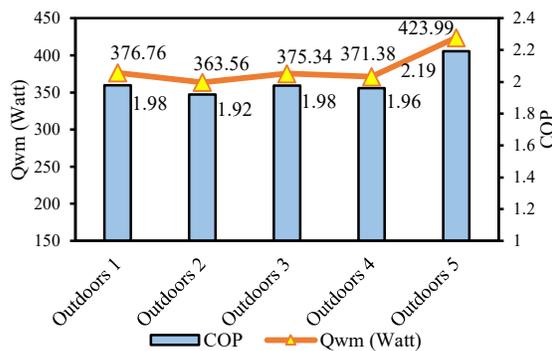
Berdasarkan hasil pengujian yang telah didapatkan dapat dilihat pada Tabel 1, kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan untuk menghitung parameter-parameter mengenai sistem DX-SAHPWH, adapun data hasil perhitungan menggunakan Persamaan (1) dan (2) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil perhitungan.

Pengujian	M_w (kg)	C_{pw} (J/kg°C)	T_{wi} (°C)	T_{wf} (°C)	τ (menit)	W_{com} rata-rata (Watt)	$\dot{Q}_{w,m}$ (Watt)	COP
1	59,76	4178,800	28	46,64	206	190,34	361,12	1,979
2	59,76	4178,800	28	46,86	216	189,27	363,56	1,921
3	59,76	4178,800	28	46,84	209	189,97	375,34	1,976
4	59,76	4178,800	28	46,82	211	189,32	371,38	1,962
5	59,76	4178,800	28	46,94	186	193,35	423,99	2,193

Nilai Coefficient of Performance (COP)

Nilai *coefficient of performance* (COP) merupakan rasio pemanasan yang disediakan untuk kebutuhan kerja, apabila COP lebih tinggi maka biaya operasional yang dikeluarkan akan menjadi semakin rendah. Dapat dilihat pada Gambar 2 merupakan gambar grafik nilai COP dan nilai laju perpindahan panas pada setiap pengujian.



Gambar 2. Grafik nilai COP dan \dot{Q}_{wm} pada setiap pengujian.

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat nilai-nilai COP dari sistem DX-SAHPWH dan laju perpindahan panas pada air (\dot{Q}_{wm}) pada pengujian yang telah dilakukan. COP tertinggi didapat pada pengujian ke-5 dengan nilai COP yang didapat sebesar 2,193, sedangkan nilai COP terkecil didapat pada pengujian ke-2 dengan nilai COP yang didapat sebesar 1,921. Nilai laju perpindahan panas pada air (\dot{Q}_{wm}) terbesar didapatkan pada pengujian luar ruangan ke-5 dengan nilai laju perpindahan panas pada air (\dot{Q}_{wm}) yang didapat sebesar 423,99 Watt, sedangkan nilai laju

perpindahan panas pada air (\dot{Q}_{wm}) terkecil didapatkan pada pengujian ke-2 dengan nilai laju perpindahan panas pada air (\dot{Q}_{wm}) yang didapat sebesar 363,56 Watt. Nilai COP yang didapat sebanding dengan nilai \dot{Q}_{wm} , yang berarti bahwa nilai COP yang didapat akan semakin besar apabila nilai laju perpindahan panas pada air (\dot{Q}_{wm}) semakin besar.

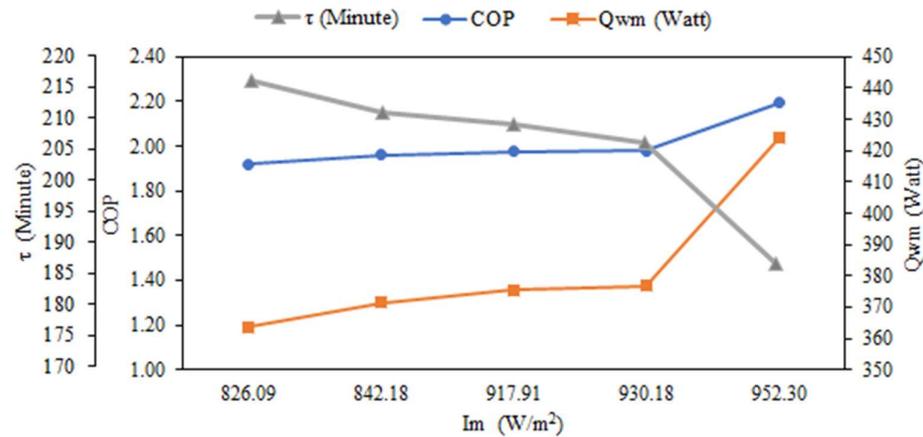
Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari

Pada pengujian diluar ruangan dilakukan pengujian sebanyak 5 kali pada hari yang berbeda, sehingga intensitas radiasi matahari rata-rata pada setiap pengujian berbeda. Intensitas radiasi matahari ini bervariasi pada pengujian 1 sebesar 930,18 W/m², pada pengujian 2 sebesar 826,09 W/m², pada pengujian 3 sebesar 917,91 W/m², pada pengujian 4 sebesar 842,18 W/m² dan pada pengujian 5 sebesar 952,30 W/m², dengan suhu lingkungan rata-rata pada setiap pengujian ± 35°C. Intensitas radiasi matahari memiliki pengaruh penting pada kinerja sistem DX-SAHPWH, hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3 merupakan grafik pengaruh intensitas radiasi matahari terhadap lama waktu pengujian (τ), laju perpindahan panas (\dot{Q}_{wm}), serta COP dari sistem DX-SAHPWH ini. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa peningkatan intensitas radiasi matahari mengakibatkan kinerja ataupun *coefficient of performance* (COP) dari sistem DX-SAHPWH ini meningkat sebesar 14,15%, sementara waktu yang dibutuhkan selama pemanasan berkurang sebesar 13,88%, selain itu laju perpindahan panas pada air (\dot{Q}_{wm}) juga mengalami peningkatan sebesar 16,62%. Hal ini terjadi karena intensitas radiasi matahari mempengaruhi proses kondensasi pada evaporator, sehingga peningkatan intensitas radiasi matahari akan mempercepat proses kondensasi pada evaporator

yang berakibat laju perpindahan panas pada air (\dot{Q}_{wm}) meningkat, waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan lebih cepat, serta kinerja ataupun *coefficient of performance* (COP) dari sistem DX-SAHPWH meningkat. Hal serupa terjadi pada kajian Kong pada tahun 2018 [6], di mana intensitas radiasi matahari

menyebabkan *coefficient of performance* (COP) dari sistem DX-SAHPWH meningkat sebesar 28,3%, sementara waktu yang dibutuhkan selama pemanasan berkurang sebesar 18,2%, dan laju perpindahan panas pada air (\dot{Q}_{wm}) juga mengalami peningkatan sebesar 25%.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari terhadap COP, \dot{Q}_{wm} dan waktu pengujian (τ)

4. Kesimpulan

Simpulan yang didapatkan setelah melakukan kajian yaitu nilai *coefficient of performance* (COP) dari sistem DX-SAHPWH tertinggi yang diperoleh yaitu sebesar 2,19 yang merupakan hasil dari pengujian di luar ruangan 5 dan nilai terkecil yang diperoleh sebesar 1,92 yang merupakan hasil dari pengujian di luar ruangan 2. Intensitas radiasi matahari yang lebih tinggi memiliki efek positif terhadap kinerja dari sistem DX-SAHPWH, intensitas radiasi matahari yang lebih tinggi mempercepat proses kondensasi pada evaporator yang berakibat laju perpindahan panas pada air (\dot{Q}_{wm}) meningkat, waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan lebih cepat, serta kinerja ataupun *coefficient of performance* (COP) dari sistem DX-SAHPWH meningkat.

Daftar Pustaka

- [1] Iesr. (2017). Indonesia Adalah Negara Yang Paling Kaya Dengan Sumber Daya Energi Terbarukan. <http://iesr.or.id/indonesia-adalah-negara-yang-paling-kaya-dengan-sumber-daya-energi-terbarukan-2>, diakses 16 Agustus 2020.
- [2] Sidopekso, S. (2011). Studi Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Pemanas Air. Berkala Fisika, 1410-9662.
- [3] Kementerian ESDM. 2019. Energi Indonesia-Energi Terbarukan Untuk Indonesia. <https://www.youtube.com/watch?zL-H5FnZ9OU>, diakses 16 Agustus 2020.
- [4] Kong, X. Q., Zhang, D., Li, Y., & Yang, Q. M. (2011). Thermal performance analysis of a direct-expansion solar-assisted heat pump water heater. *Energy*, 36(12), 6830-6838.
- [5] Amin, Z. M., & Hawlader, M. N. A. (2013). A review on solar assisted heat pump systems in Singapore. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 286-293.
- [6] Kong, X., Sun, P., Dong, S., Jiang, K., & Li, Y. (2018). Experimental performance analysis of a direct-expansion solar-assisted heat pump water heater with R134a in summer. *International Journal of Refrigeration*, 91, 12-19.
- [7] Wang, Z., Wang, F., Ma, Z., & Song, M. (2016). Numerical study on the operating performances of a novel frost-free air-source heat pump unit using three different types of refrigerant. *Applied thermal engineering*, 112, 248-258.
- [8] Omojaro, P., & Breitkopf, C. (2013). Direct expansion solar assisted heat pumps: A review of applications and recent research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 33-45.
- [9] Anderson, T. N., & Morrison, G. L. 2007. Effect of load pattern on solar-booster heat pump water heater performance. *Solar Energy*, 81(11), 1386-1395.
- [10] Chyng, J. P., Lee, C. P., & Huang, B. J. 2003. Performance analysis of a solar-assisted heat pump water heater. *Solar Energy*, 74(1), 33-44.
- [11] Chaturvedi, S. K., Abdel-Salam, T. M., Sreedharan, S. S., & Gorozabel, F. B. 2009. Two-stage direct expansion solar-assisted heat pump for high temperature applications. *Applied thermal engineering*, 29(10), 2093-2099.