

PENGARUH TEMPERATUR UDARA TERHADAP UNJUK KERJA UNIT DESALINASI SURYA BERBASIS POMPA KALOR DENGAN MENGGUNAKAN PROSES HUMIDIFIKASI- DEHUMIDIFIKASI

Tri Istanto¹

¹Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

*Desalination
Heat pump Humidification
Dehumidification
Double-pass flat plate solar
air heater with two glass
covers*

Abstract :

This research was conducted to investigate the effect of air temperature and the effect of the use of double-pass flat plate solar air heater with two glass covers on the performance of solar desalination unit based on heat pump using humidification and dehumidification processes. This unit consists of a heat pump, humidifier, dehumidifier and double-pass flat plate solar air heater with two glass covers. This research was conducted in the indoor experiment. Solar energy generated from solar simulator using halogen lamps. Intensity of solar radiation was varied at 828 W/m², 924 W/m², 1014 W/m², and 1120 W/m², so the resulting air temperature entering the humidifier of 60°C, 63°C, 68°C and 71°C respectively. For desalination unit without solar collector, inlet air temperature of humidifier was 37°C. The constant parameters were compressor rotation of 1,200 rpm, the temperature of seawater at 45°C, the volumetric flow rate of sea water of 300 l/h, and seawater in the desalination unit was re-circulated. The results of the research show that the volume of fresh water production increases with increasing temperature of the air entering the humidifier on this solar desalination unit. Average fresh water production rate of solar desalination unit at air temperature entering humidifier 37°C, 60°C, 63°C, 68°C and 71°C was 18 l/day, 24.48 l/day, 26.64 l/day, 29.52 l/day and 35.64 l/day, respectively. The use of double-pass flat plate solar air heater with two glass covers could increase the production of fresh water for the variation of solar radiation intensity 828 W/m², 924 W/m², 1014 W/m², 1120 W/m² by 36% , 48%, 64% and 76%, respectively.

PENDAHULUAN

Sejak dimulainya kehidupan di bumi, jumlah sumber air tawar yang ada di dunia dapat dikatakan hampir mendekati konstan. Namun dalam kurun waktu kurang dari 200 tahun, jumlah penduduk di dunia terus meningkat dengan cepat. Hal ini diikuti dengan peningkatan konsumsi air di dunia, yang meningkat dua kali lipat setiap 20 tahun melampaui dua kali laju pertumbuhan penduduk [1].

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) merekomendasikan batas minimal kebutuhan air adalah 15 - 20 liter/orang/hari, dimana jumlah ini hanya dapat digunakan untuk kebutuhan dasar seperti minum, persiapan makanan, kebersihan pribadi serta mencuci. Di Amerika Serikat konsumsi air rata-rata mencapai 400 liter per orang. Di beberapa negara di Afrika, konsumsi air tawar berada pada kisaran 20 liter per kapita per hari [2]. Sedangkan di Indonesia kebutuhan air rata-rata berkisar 100 – 150 liter/orang /hari [3].

Sumber air yang hampir tidak akan habis adalah lautan. Kekurangan utamanya adalah kadar garamnya yang tinggi. Air laut, air payau, dan air tawar memiliki tingkat salinitas yang berbeda, yang sering dinyatakan dengan konsentrasi padatan terlarut total. Menurut WHO, batas kadar garam

yang diijinkan dalam air adalah 500 *parts per million* (ppm), dan untuk kasus khusus mencapai 1.000 ppm. Sebagian besar air yang terdapat di dunia mempunyai kadar garam sampai 10.000 ppm, dan air laut secara normal mempunyai kadar garam dalam rentang 35.000 – 45.000 ppm dalam bentuk total garam terlarut [4]. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu cara untuk mengurangi kadar garam tersebut. Salah satunya adalah dengan proses desalinasi. Desalinasi, secara umum bertujuan untuk menghilangkan garam dari air yang mengandung larutan garam. Tujuan dari sistem desalinasi adalah untuk membersihkan dan memurnikan air laut atau air payau serta mendapatkan air dengan total padatan terlarut dalam batas yang diijinkan yaitu 500 ppm atau kurang.

Proses desalinasi membutuhkan jumlah energi yang signifikan. Dapat diperkirakan bahwa produksi air 22 juta m³/hari membutuhkan sekitar 203 juta ton minyak per tahun (sekitar 8,5 EJ/tahun atau 2,36 x 10¹² kWh/tahun bahan bakar) [4]. Delapan puluh persen energi di seluruh dunia yang saat ini digunakan adalah bahan bakar fosil. Pembakaran bahan bakar fosil melepas emisi berbahaya, seperti karbon dioksida, oksida nitrogen, aerosol, dll yang mempengaruhi lingkungan lokal, regional dan global

[5]. Sehingga perlu dikembangkan sumber energi yang tidak mencemari lingkungan. Dalam hal ini yaitu pemanfaatan energi terbarukan untuk menggerakkan sistem pengolahan serta desalinasi air laut.

Sistem energi terbarukan mampu menghasilkan energi dari sumber yang tersedia di alam secara bebas. Sumber energi terbarukan yang paling melimpah adalah energi panas matahari. Energi panas matahari dalam bentuk radiasi mendukung hampir seluruh kehidupan di dunia diantaranya melalui fotosintesis serta menggerakkan iklim dan cuaca di dunia. Matahari memancarkan energi sekitar $3,8 \times 10^{23}$ kW, dimana sekitar 60% atau $1,8 \times 10^{14}$ kW diserap oleh bumi, yang terletak sekitar 150 juta km dari matahari. Sisanya dipantulkan kembali ke ruang angkasa dan diserap oleh atmosfer. Sekitar 0,1% dari energi ini, ketika dikonversi dengan efisiensi 10% akan menghasilkan empat kali kapasitas pembangkit listrik total dunia sekitar 3.000 GW. Hal yang perlu diperhatikan juga bahwa total radiasi matahari tahunan yang jatuh ke bumi adalah lebih dari 7.500 kali total konsumsi energi primer tahunan dunia, yaitu 450 EJ. Radiasi matahari tahunan yang mencapai permukaan bumi, sekitar 3.400.000 EJ, lebih besar dari semua sumber energi tak terbarukan (*non-renewable energy*), termasuk bahan bakar fosil dan nuklir [5].

Perkembangan terakhir yang paling menjanjikan dalam desalinasi surya (*solar desalination*) adalah penggunaan proses humidifikasi-dehumidifikasi (HD). Prinsip dari proses ini berdasarkan pada fakta bahwa udara dapat dicampur dengan uap air. Kandungan uap air yang dibawa udara akan meningkat bersamaan dengan meningkatnya temperatur udara. 1 kg udara kering dapat membawa 0,5 kg uap air atau sekitar 670 kkal ketika temperatur udara meningkat dari 30°C - 80°C. Proses HD terdiri dari tiga sub sistem, yaitu pemanas air atau udara, humidifier atau evaporator, dehumidifier atau kondensor.

Fath dan Ghazy, [6] melakukan studi secara numeris untuk mengetahui unjuk kerja desalinasi surya dengan sistem humidifikasi-dehumidifikasi sederhana. Nafey et al, [7] melakukan penelitian sistem desalinasi surya dengan tujuan utama mengetahui parameter – parameter utama yang mempengaruhi produksi sistem. Orfi et al, [8] melakukan studi teoritis dan eksperimental sistem desalinasi surya menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi. Sistem tersebut terdiri dari dua buah kolektor surya (udara dan air), sebuah evaporator dan kondensor. Ben-Amara et al, [9] melakukan studi eksperimental terhadap efisiensi desain kolektor surya plat datar untuk memanaskan udara pada proses desalinasi dengan humidifikasi-dehumidifikasi. Yuan dan Zhang, [10] melakukan penelitian secara eksperimen dan teoritis untuk meningkatkan unjuk kerja dari sistem desalinasi surya sirkulasi tertutup dengan proses humidifikasi-

dehumidifikasi. Gao Penghui et al, [11] meneliti tentang unjuk kerja unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan humidifikasi dan dehumidifikasi. Pada sistem ini, udara dipanaskan melalui kolektor surya dan kemudian dilembabkan di *honeycomb (alveolate humidifier)* melalui blower. Yamali dan Solmus, [12] melakukan studi eksperimental untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem solar desalinasi menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi, dan hasilnya dibandingkan dengan hasil yang diperoleh secara teoritis.

Unjuk kerja dari sistem desalinasi surya dengan proses HD untuk meningkatkan produksi air tawar sangat tergantung pada temperatur masukan air laut ke humidifier, temperatur udara di dalam saluran (*duct*), laju aliran massa air laut, laju aliran massa udara, intensitas radiasi matahari, serta tipe kolektor surya (*solar collector*). Oleh karena itu penelitian untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem desalinasi surya ini sangat penting. Penelitian ini akan menguji pengaruh temperatur udara terhadap unjuk kerja sistem desalinasi surya dengan menggunakan proses HD dan pengaruh penggunaan pemanas udara surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca (*double-pass flat plat solar air heater with two glass covers*) terhadap unjuk kerja sistem.

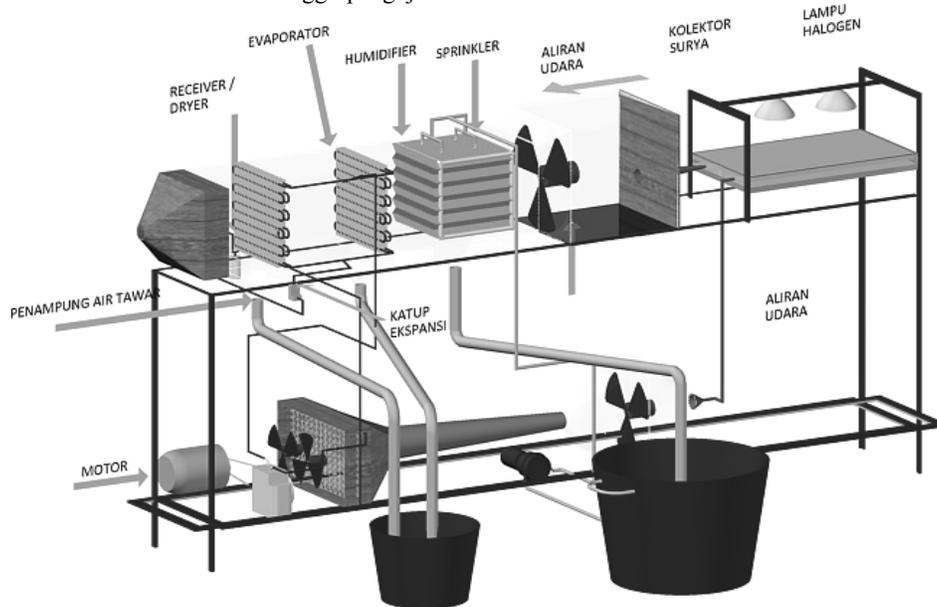
METODOLOGI

Penelitian dilakukan di laboratorium Perpindahan Panas dan Termodinamika, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Prinsip kerja unit desalinasi surya berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi ini adalah menggunakan udara panas untuk membawa uap air dari air laut, kemudian udara yang mengandung uap air ini diembunkan di evaporator dari sistem pompa kalor. Udara dingin dari lingkungan dipanaskan dengan cara melewatkan ke kondensor dari sistem pompa kalor, kemudian dipanaskan kembali dengan memanfaatkan energi surya di kolektor surya, dan setelah dipanaskan di kolektor surya udara akan masuk ke unit humidifier untuk proses humidifikasi.

Penelitian ini adalah *indoor experiment* dengan menggunakan simulator surya, dimana radiasi surya disimulasikan dengan cahaya lampu halogen. Berdasarkan standar ANSI/ASHRAE 93-1986 (RA 91), maka dalam pengujian ini tingkat radiasi simulator surya diatur pada nilai minimum 800 W/m² (254 Btu/h.ft) dan ditahan konstan selama periode pengujian. Pada penelitian pengaruh temperatur udara terhadap unjuk kerja unit desalinasi surya ini, diuji unjuk kerja unit desalinasi tanpa kolektor surya dan unjuk kerja unit desalinasi dengan kolektor surya yang divariasi intensitas radiasi suryanya dengan simulator surya. Pada pengujian unjuk kerja unit desalinasi dengan kolektor surya, nilai intensitas radiasi surya dari simulator surya divariasi pada 828 W/m², 924 W/m², 1014 W/m² dan 1120 W/m². Dengan variasi intensitas radiasi surya rata-rata 828 W/m², 924 W/m², 1014 W/m² dan 1120

W/m² diperoleh temperatur udara rata-rata masuk humidifier berturut-turut sebesar 60°C, 63°C, 68°C, dan 71°C. Pada pengujian unit desalinasi tanpa kolektor surya diperoleh data temperatur rata-rata masuk humidifier sebesar 37°C. Sehingga pengujian

unjuk kerja unit desalinasi surya berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi ini dianalisa untuk temperatur udara masuk humidifer sebesar 37°C, 60°C, 63°C, 68°C, dan 71°C.



Gambar 1. Skema unit desalinasi surya berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi

Refrigeran yang digunakan pada sistem pompa kalor adalah HFC 134-a, dan kompresor yang dipakai dalam penelitian ini adalah tipe torak 2 silinder. Kondensator yang digunakan adalah kondensator AC mobil yang berjumlah 2 buah dengan dimensi panjang 58 cm, lebar 36 cm dan tebal 1,5 cm tiap kondensator. Evaporator yang digunakan pada tipe window 2 PK berjumlah 2 buah yang dipasang secara paralel. Humidifier yang digunakan terbuat dari aluminium dengan dimensi panjang 30 cm, lebar 37 cm, tinggi 35 cm yang disusun secara sejajar sebanyak 72 buah dengan jarak antar plat 5 mm dan sudut elevasi 45o tiap gelombangnya. Sprinkler pada penelitian ini berjumlah 5 buah yang dipasang di atas humidifier, disusun membentuk persegi dengan jarak antar sprinkler 16,5 cm. Termokopel yang digunakan dalam penelitian ini adalah termokopel tipe T dengan diameter 0,1 mm. Flowmeter yang digunakan adalah Variable Area Glass Flowmeter Dwyer tipe VA20440. 9. Temperatur udara diatur dengan mengatur pemanas udara surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca (*double-pass flat plate solar air heater with two glass covers*). Energi surya dihasilkan dari simulator surya (*solar simulator*) dengan menggunakan lampu halogen. Air laut yang digunakan mempunyai salinitas sebesar 31.342 ppm.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung unjuk kerja sistem pompa kalor standar :

$$COP_{HP} = \frac{Q_{kond}}{W_{komp}} = \frac{\dot{m}_{ref} \cdot (h_2 - h_3)}{\dot{m}_{ref} \cdot (h_2 - h_1)} \quad (1)$$

Persamaan yang digunakan untuk menghitung unjuk kerja sistem pompa kalor aktual :

$$COP_{HP} = \frac{Q_{kond}}{W_{komp}} = \frac{\dot{m}_{ref} \cdot (h_{2a} - h_3)}{\dot{m}_{ref} \cdot (h_{2a} - h_1)} \quad (2)$$

Laju aliran massa udara (\dot{m}_a) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\dot{m}_a = \rho_{udara} V_a A \quad (kg/s) \quad (3)$$

Penambahan massa uap air total setelah melewati humidifier dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Delta W_1 = \dot{m}_a (w_2 - w_1) \quad (kg/s) \quad (4)$$

Pengurangan massa uap air total setelah melewati dehumidifier dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Delta W_2 = \dot{m}_a (w_2 - w_3) \quad (kg/s) \quad (5)$$

Massa air tawar teoritis yang dihasilkan selama proses desalinasi dapat dihitung dengan persamaan

$$m_w = \int_{t=0}^{t=tr} \dot{m}_a (w_i - w_o) dt \quad (6)$$

Efisiensi dari kolektor surya dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_c = (\tau\alpha) - U_L \frac{(T_p - T_a)}{G_T} \quad \text{atau} \quad \eta_c = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_o - T_i)}{A_c \cdot G_T} \quad (7)$$

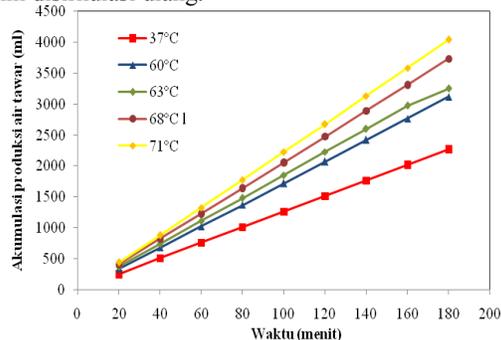
Parameter yang dibuat konstan yaitu putaran kompresor sebesar 1200 rpm, laju aliran volumetrik air laut sebesar 300 liter/jam, dan temperatur air laut

sebesar 45°C. Air laut pada sistem ini disirkulasi ulang. Data yang diambil diantaranya besarnya tekanan masuk dan keluar pada kompresor, kondensor, dan evaporator; temperatur refrigeran yang masuk dan keluar pada evaporator, temperatur refrigeran yang masuk dan keluar pada kondensor, temperatur udara sebelum dan sesudah humidifier, temperatur udara sebelum dan sesudah dehumidifier, temperatur udara masuk ke kolektor surya, temperatur udara keluar dari kolektor surya, temperatur plat penyerap, temperatur kaca penutup, dan intensitas radiasi matahari. Sistem desalinasi dijalankan dalam waktu 180 menit untuk masing – masing variasi, dimana pengambilan data dilakukan setiap 20 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

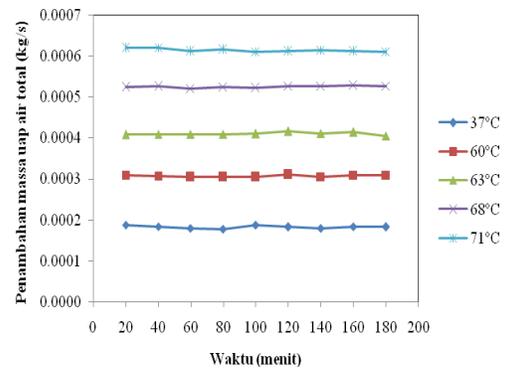
a. Pengaruh temperatur udara masuk humidifier terhadap produksi air tawar

Gambar 2. menunjukkan grafik akumulasi produksi air tawar terhadap waktu dengan variasi temperatur udara masuk humidifier. Pada penelitian pengaruh temperatur udara masuk humidifier terhadap produksi air tawar, temperatur air laut dikondisikan pada temperatur konstan sebesar 45°C, kompresor dioperasikan pada putaran konstan sebesar 1.200 rpm, laju aliran volumetrik air laut konstan sebesar 300 l/jam, dan air laut dalam sistem ini disirkulasi ulang.



Gambar 2. Grafik akumulasi produksi air tawar terhadap waktu dengan variasi temperatur udara masuk humidifier.

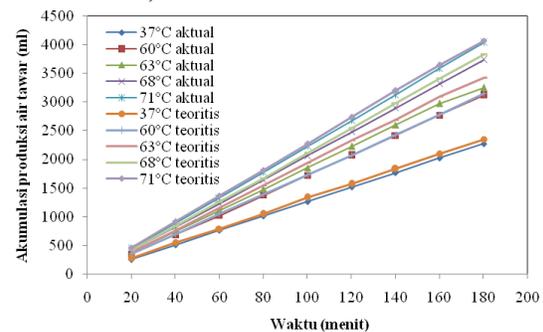
Dari gambar 2, dapat dilihat bahwa produksi air tawar meningkat terhadap waktu dan temperatur udara masuk humidifier. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur udara masuk humidifier maka kemampuan untuk menyerap uap air juga semakin tinggi. Seperti pada gambar 3, bahwa semakin tinggi temperatur udara masuk humidifier maka penambahan massa air total dalam udara setelah melewati humidifier juga semakin tinggi. Penambahan massa uap air total dalam udara yang semakin tinggi ini dikarenakan udara pada temperatur yang lebih tinggi mempunyai kelembaban relatif yang lebih kecil daripada udara pada temperatur rendah, sehingga kemampuan untuk menyerap uap air menjadi semakin tinggi.



Gambar 3. Grafik penambahan massa uap air total terhadap waktu dengan variasi temperatur udara masuk humidifier.

Grafik perbandingan akumulasi produksi air tawar teoritis dan aktual pada masing-masing variasi temperatur udara masuk humidifier terlihat pada gambar 4. Pada gambar 4, terlihat produksi air tawar teoritis lebih banyak dibandingkan produksi air tawar aktual, hal ini dikarenakan tidak semua air tawar yang dihasilkan melalui pengembunan pada evaporator jatuh ke dalam bak penampung, sehingga mengurangi hasil produksi air tawar aktual yang dihasilkan.

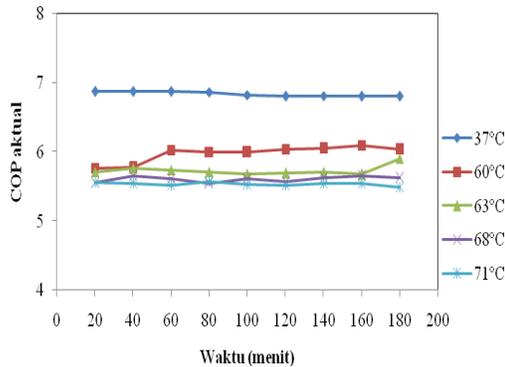
Volume air tawar yang dihasilkan setiap 20 menit untuk setiap variasi temperatur udara masuk humidifier relatif sama. Hal tersebut terjadi karena temperatur udara, laju aliran volumetrik air laut, temperatur air laut serta kecepatan udara yang masuk ke dalam sistem selama waktu pengujian untuk setiap variasi relatif sama. Volume air tawar rata-rata yang dihasilkan tiap 20 menit untuk temperatur udara rata-rata masuk humidifier 37°C, 60°C, 63°C, 68°C, dan 71°C berturut-turut 250 ml, 340 ml, 370 ml, 410 ml, dan 440 ml. Ini berarti laju produksi air tawar rata-rata untuk temperatur udara masuk humidifier 37°C, 60°C, 63°C, 68°C, dan 71°C berturut-turut 12,5 ml/menit, 17 ml/menit, 18,5 ml/menit, 20,5 ml/menit dan 22 ml/menit. Sehingga unit desalinasi surya ini dapat memproduksi air tawar untuk temperatur udara masuk humidifier 37°C, 60°C, 63°C, 68°C, dan 71°C berturut-turut rata-rata 18 L/hari, 24,48 L/hari, 26,64 L/hari, 29,52 L/hari dan 35,64 L/hari.



Gambar 4. Grafik perbandingan akumulasi produksi air tawar teoritis dan aktual terhadap waktu dengan variasi temperatur udara masuk humidifier

b. Pengaruh temperatur udara terhadap COP_{HP}.

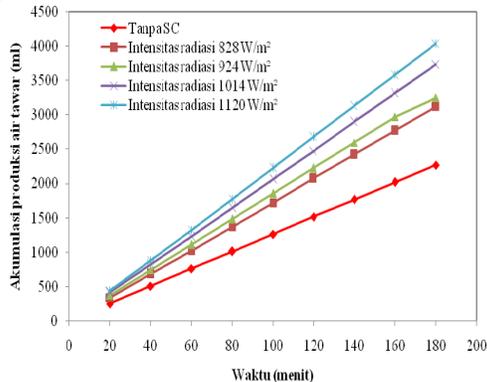
Gambar 5, menunjukkan grafik hubungan antara COP_{HP} aktual terhadap waktu dengan variasi temperatur udara masuk humidifier. Dari gambar 4.7 dapat dilihat nilai COP_{HP} aktual menurun dengan kenaikan temperatur udara masuk humidifier. Nilai COP_{HP} aktual untuk keseluruhan temperatur udara masuk humidifier berkisar 5,5-6,8. Nilai COP_{HP} aktual tertinggi terjadi pada temperatur udara 37°. Hal ini disebabkan karena pada temperatur udara 37°C sistem pompa kalor memiliki beban pendinginan paling rendah dibandingkan dengan temperatur udara masuk humidifier yang lain. Sedangkan untuk COP_{HP} aktual pada variasi temperatur 60°C, 63°C, 68°C dan 71°C nilainya hampir sama karena beban pendinginan yang diterima sistem pompa kalor hampir sama. Nilai COP_{HP} aktual pada temperatur udara masuk humidifier tertentu relatif sama terhadap waktu. Hal ini karena sistem pompa kalor menerima beban pendinginan sama selama dijalankan pada temperatur udara tertentu yang konstan.



Gambar 5 Grafik COP_{HP} aktual terhadap waktu dengan variasi temperatur udara

c. Pengaruh penggunaan kolektor surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca terhadap produksi air tawar

Pengaruh penggunaan kolektor surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca ditunjukkan pada gambar 6.

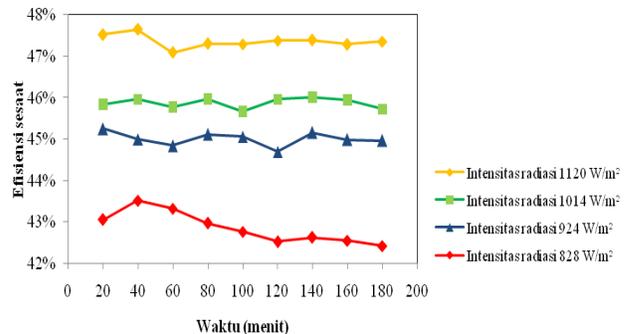


Gambar 6 Pengaruh penggunaan pemanas udara surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca terhadap unjuk kerja sistem.

Dapat dilihat pada gambar 6, bahwa hasil produksi air tawar meningkat rata-rata 36% jika menggunakan kolektor surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca pada intensitas 828 W/m². Sedangkan pada intensitas radiasi surya 924 W/m², 1014 W/m², 1120 W/m² hasil produksi air tawar berturut-turut meningkat rata-rata 48%, 64% dan 76%, jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan kolektor surya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Yamali dan Solmus, [12] penggunaan kolektor surya dapat meningkatkan produksi air tawar sampai 8%. Peningkatan ini terjadi karena luas perpindahan panas pada kolektor surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca lebih besar, sehingga temperatur bola basah (T_{wb}) udara keluar kolektor surya lebih besar (dan RH lebih kecil) dibandingkan tanpa menggunakan kolektor surya. Sehingga ketika udara kontak dengan semprotan air laut di humidifier, udara ini dapat membawa uap air lebih banyak dibandingkan tanpa menggunakan kolektor surya. Sehingga hasil produksi air tawar juga akan lebih banyak.

d. Efisiensi sesaat kolektor surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca

Nilai efisiensi sesaat kolektor surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca untuk seluruh variasi intensitas radiasi surya ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Efisiensi kolektor surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca untuk seluruh variasi intensitas radiasi surya.

Pada gambar 7, terlihat bahwa semakin tinggi intensitas radiasi surya, maka efisiensi sesaat kolektor surya juga semakin tinggi. Temperatur udara masuk kolektor surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca untuk setiap variasi intensitas radiasi surya hampir sama, sehingga efisiensi dari kolektor surya ini sangat dipengaruhi oleh temperatur udara keluar kolektor surya. Semakin besar perbedaan temperatur udara keluar dan masuk kolektor surya maka efisiensi sesaat dari kolektor surya ini juga akan semakin meningkat.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Volume produksi air tawar meningkat seiring dengan peningkatan temperatur udara masuk humidifier dari unit desalinasi surya berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi.
2. Laju produksi air tawar rata-rata dari unit desalinasi surya berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi pada variasi temperatur udara rata-rata masuk humidifier 37°C, 60°C, 63°C, 68°C dan 71°C berturut-turut 12,5 ml/menit, 17 ml/menit, 18,5 ml/menit, 20,5 ml/menit dan 22 ml/menit atau berturut-turut 18 L/hari, 24,48 L/hari, 26,64 L/hari, 29,52 L/hari dan 35,64 L/hari.
3. Penggunaan kolektor surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca dapat meningkatkan volume produksi air tawar, semakin tinggi intensitas radiasi surya, maka volume air tawar yang dihasilkan akan semakin banyak. Peningkatan hasil produksi air tawar untuk masing – masing variasi intensitas radiasi surya rata-rata 828 W/m², 924 W/m², 1014 W/m² dan 1120 W/m² berturut-turut 36%, 48%, 64% dan 76%.
4. Efisiensi sesaat rata-rata dari kolektor surya plat datar dua laluan dengan 2 penutup kaca untuk variasi intensitas radiasi surya rata-rata 828 W/m², 924 W/m², 1014 W/m² dan 1120 W/m² berturut-turut 43%, 45%, 46% dan 48%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sinha, RK. , “Desalination & Water Purification Technologies”, Government of India, Mumbai, 2010.
- [2] Cipollina, A, Micale, G, dan Rizzuti, L, “Seawater Desalination-Conventional And Renewable Energy Processes”, Springer Heidelberg Dordrecht London, New York, 2009.
- [3] Entjang, I, “Ilmu Kesehatan Masyarakat”. PT Citra Aditya Bakti, Bandung, 1991.
- [4] Kalogirou, SA, “Solar Thermal Collectors and Applications”, Progress in Energy and Combustion Science ,Vol. 30, 2005, pp. 231-295.
- [5] Thirugnanasambandam, M, Iniyan, S, dan Goic, R, “A Review of Solar Thermal Technologies”, Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 14, 2010, pp. 312-322.
- [6] Fath, HES, dan Ghazy, A, ”Solar Desalination Using Humidification-Dehumidification Technology”, Desalination , Vol.142, 2002, pp.119-113.
- [7] Nafey, AS, Fath, HES, El-Helaby, SO, dan Soliman, AM, ”Solar Desalination using Humidification-Dehumidification Processes.Part I.A Numerical Investigation”, Energy Conversion and Management, Vol. 45, 2004, pp.1243-1261.
- [8] Orfi, J, Laplante, M, Marmouch, H, Galanis, N, Benhamaou, B, Nasrallah, SB, dan Nguyen, CT. “ Experimental and Theoretical Study of a Humidification –Dehumidification Water Desalination System using Solar Energy”, Desalination ,Vol. 168, 2004, pp. 151-159.
- [9] Ben-Ammara, M, Houdicin, I, Guizani, A, dan Maalej ,M. “Efficiency Investigation of a New-Design Air Solar Plate Collector Used in a Humidification-Dehumidification Desalination Process”, *Renewable Energy*, Vol. 30, 2005, pp. 1309-1327.
- [10] Yuan, G, dan Zhang, H, “ Mathematical Modeling of a Closed Circulation Solar Desalination Unit with Humidification-Dehumidification. ”, Desalination ,Vol.205, 2007, pp. 156-162.
- [11] Gao, P, Zhang, L, dan Zhang, H, “Performance Analysis of a New Type Desalination Unit of Heat Pump With Humidification and Dehumidification”, Desalination, Vol. 220, 2008, pp. 531-537.
- [12] Yamali, C, dan Solmus, I. ,” Theoretical Investigation Of Humidification-Dehumidification Desalination System Configured by Double-Pass Flat Plate Solar Air Heater”,Desalination ,Vol. 163-177,2007.
- [13] ANSI/ASHRAE Standard 93-1986 (RA 91), *Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collector*.
- [14] Fath, HES, El-Shall, FM, Vogt, G, dan Seibert, U, “A Stand Alone Complex for the Production of Water, Food, Electrical Power and Salts for the Sustainable Development of Small Communities in Remote Areas”, Desalination , Vol. 183, 2005, pp. 13-22.
- [15] Incropera, FP, dan DeWitt, DP, “Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 6th Ed”, John Wiley and Sons, New York, 2007.
- [16] Kharagpur , “Refrigeration and Air Contioning”. EE IIT, India, 2008.
- [17] Narayan, GP, Sharqawy, MH, Summers, EK, Lienhard, JH, Zubair, SM, dan Antar, MA, “The Potential of Solar-Driven Humidification-Dehumidification Desalination for Small-Scale Decentralized Water Production”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, 2010, pp. 1187-1201.
- [18] Pita, EG, “Air Conditioning Principles and Systems”, Pearson Education,Inc. New Jersey, 2002.

NOTASI

- A = luas penampang saluran (m^2)
 COP_{HP} = koefisien prestasi ideal
 c_p = panas jenis udara ($J/kg.K$)
 G_t = intensitas radiasi yang masuk dan diserap oleh plat penyerap (W/m^2)
 h_1 = entalpi refrigeran keluar evaporator (kJ/kg)
 h_2 = entalpi gas refrigeran pada tekanan keluar kompresor (kJ/kg)
 h_{2a} = entalpi refrigeran masuk kondensor (kJ/kg)
 h_3 = entalpi refrigeran pada tekanan keluar kondensor (kJ/kg)
 \dot{m}_a = laju aliran massa udara (kg/s)
 \dot{m}_{ref} = laju aliran massa refrigeran (kg/s)
 m_w = massa air tawar yang dihasilkan selama proses (kg)
 Q_{kond} = kalor yang dilepas oleh kondensor (kW)
 T_a = temperatur lingkungan (K)
 T_p = temperatur plat kolektor (K)
 T_i = temperatur udara masuk kolektor (K)
 T_o = temperatur udara yang keluar dari kolektor (K)
 U_L = koefisien perpindahan panas total berdasarkan luas kolektor A_c ($W/m^2.K$)
 V_a = kecepatan udara (m/s)
 w_i = rasio kelembaban udara setelah melewati evaporator (kg/kg)
 w_o = rasio kelembaban udara sebelum melewati evaporator (kg/kg)
 W_{komp} = daya kompresor (kW)
 w_1 = rasio kelembaban udara masuk humidifier (kg uap air/ kg udara kering)
 w_2 = rasio kelembaban udara keluar humidifier (kg uap air/ kg udara kering)
 w_3 = rasio kelembaban udara keluar humidifier (kg uap air/ kg udara kering)
 α = *absorptivitas*
 ρ_{udara} = densitas udara (kg/m^3)
 t = periode (jam/hari)
 τ = *transmisivitas*
 η = efisiensi kolektor surya (%)
 ΔW_1 = penambahan massa uap air total (kg/s)
 ΔW_2 = penambahan massa uap air total (kg/s)