

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

Indri Yaningsih<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

---

### Keywords :

*Dehumidification  
Desalination  
Heat pump  
Humidification*

### Abstract :

*Desalination unit based on heat pump with humidification and dehumidification processes was one of the heat pump applications system, with addition of a humidifier, sprinkler and evaporator (dehumidifier) that integrated in a unit. In this unit, evaporator of heat pump was used for dehumidification process which would produce fresh water from the air that has been humidified in the humidifier with the spray of sea water through the sprinkler. The addition of electric air heater was used to vary the inlet air temperature to the humidifier on this system. In this research was examine the effect of air temperature on the performance of desalination unit based on heat pump with using humidification and dehumidification processes. In this research the air temperature was varied at 35°C, 45°C, 55°C and 65°C, sea water temperature was conditioned at a constant temperature of 35°C, and ambient temperature was kept constant. Compressor was operated at a constant rotation of 1,200 rpm, the sea water volumetric flow rate was kept at 300 l/h, and sea water in this system was recirculated. The result of this research showed that the volume of fresh water production increase with increasing the inlet air temperature to the humidifier on this desalination unit.*

---

### 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].

Air laut dapat dijadikan air tawar 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 ini melibatkan tiga aliran cairan, yaitu umpan berupa air garam (misalnya air laut), produk bersalinitas rendah, dan konsentrat bersalinitas tinggi.

Salah satu perkembangan teknologi desalinasi adalah dengan menggunakan pompa kalor (*heat pump*) dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi (HD). Prinsip dari proses ini berdasarkan fakta bahwa udara dapat bercampur dengan uap air karena perbedaan konsentrasi. 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, dan dehumidifier atau evaporator.

Penelitian tentang desalinasi dengan proses humidifikasi dan dehumidifikasi telah banyak dilakukan. Fath dan Ghazy, [5] melakukan studi secara numeris untuk mengetahui unjuk kerja desalinasi surya dengan sistem humidifikasi-dehumidifikasi sederhana. Orfi, [6] 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. Yuan dan Zhang, [7] melakukan penelitian secara eksperimen dan teoritis untuk meningkatkan unjuk kerja dari sistem desalinasi surya sirkulasi tertutup dengan proses humidifikasi-dehumidifikasi. Gao, [8] 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, [9] 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. Amer, [10] meneliti secara eksperimen dan secara teoritis unit desalinasi menggunakan humidifikasi dan dehumidifikasi. Sistem ini didasarkan pada siklus terbuka untuk air dan siklus tertutup untuk aliran udara. Yaningsih, [11] meneliti desalinasi surya berbasis pompa kalor dengan proses humidifikasi dan dehumidifikasi secara *indoor experiment* dengan menggunakan simulator surya, dimana radiasi surya disimulasikan dengan cahaya lampu halogen.

Unjuk kerja dari sistem desalinasi berbasis pompa kalor dengan proses HD untuk meningkatkan produksi air tawar sangat tergantung pada temperatur masukan air laut ke humidifier, temperatur udara masuk humidifier, laju aliran massa air laut, laju aliran massa udara [8, 9, 10]. Oleh karena itu penelitian untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem desalinasi ini sangat penting. Penelitian ini akan menguji pengaruh temperatur udara terhadap unjuk kerja unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses HD.

## METODOLOGI PENELITIAN

Skema unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi dapat dilihat pada gambar 1. Sistem ini terdiri dari 3 bagian utama yaitu pemanas udara, unit humidifikasi dan dehumidifikasi dan unit pompa

kalor. Dalam sistem ini, udara dipanaskan melalui kondenser dan pemanas udara kemudian dilembabkan di humidifier dengan dorongan blower (proses humidifikasi). Udara lembab ini didinginkan ketika melewati evaporator, sehingga udara mengembun menjadi air tawar (proses dehumidifikasi). Air laut disemurkan melalui *sprinkler* ke humidifier untuk menambah kelembaban udara kering dari pemanas udara.

Refrigeran yang digunakan pada unit pompa kalor adalah HFC 134-a, dan kompresor yang dipakai dalam penelitian ini adalah tipe torak 2 silinder. Kondensor yang digunakan adalah kondensor AC mobil yang berjumlah 2 buah dengan dimensi panjang 58 cm, lebar 36 cm dan tebal 1,5 cm tiap kondensor. 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 45° 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 refrigeran yang digunakan adalah Variable Area Glass Flowmeter Dwyer tipe VA20440. Pemanas udara digunakan untuk memanaskan udara (*air preheat*) yang akan masuk ke dalam humidifier. Pemanas udara yang digunakan berjumlah 5 buah dengan daya total 2.500 Watt.

Parameter yang dibuat konstan yaitu putaran kompresor sebesar 1200 rpm, laju aliran volumetrik air laut sebesar 300 liter/jam, dan temperatur air laut sebesar 35°C. Air laut yang digunakan mempunyai salinitas sebesar 31.342 ppm dan pada sistem ini disirkulasi ulang. Pengujian dilakukan dengan variasi temperatur udara masuk humidifier sebesar 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C dengan cara mengatur daya pemanas udara.

Data penelitian yang diambil adalah besar 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 dan volume air tawar yang dihasilkan. Unit desalinasi dijalankan selama 180 menit untuk masing – masing variasi, dimana pengambilan data dilakukan setiap 20 menit.

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 :

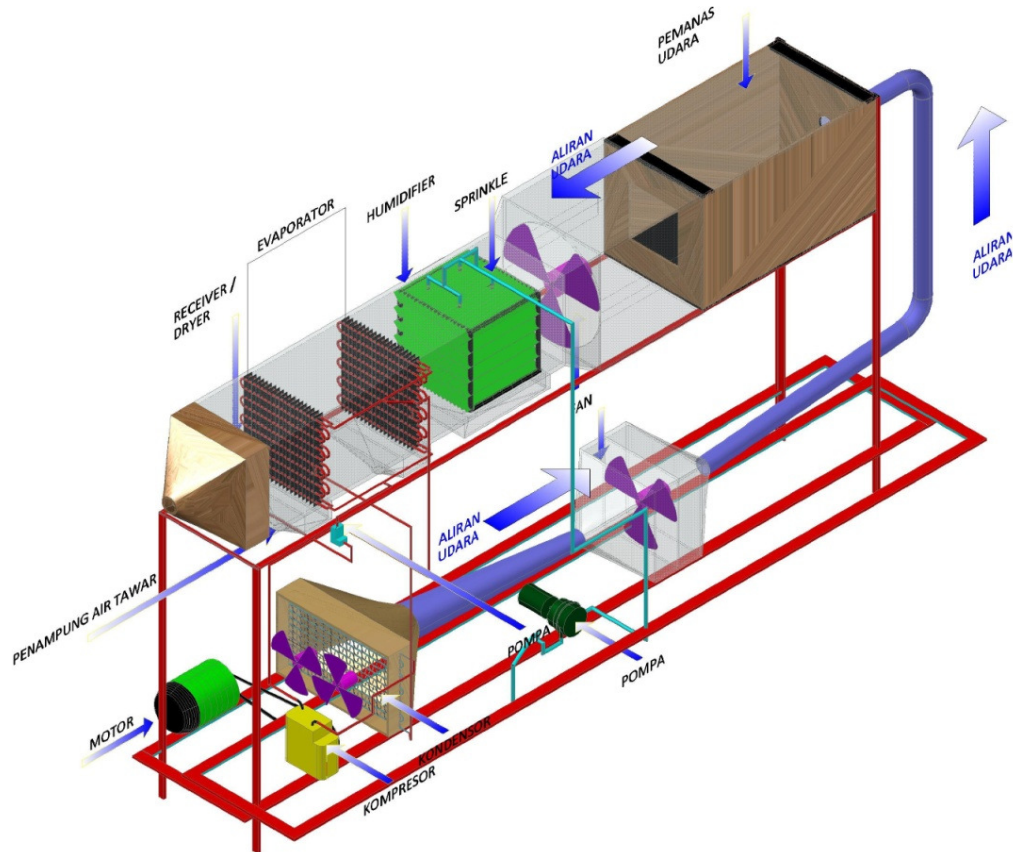
$$\dot{m}_a = \rho_{udara} V_a A \quad (3)$$

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

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

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

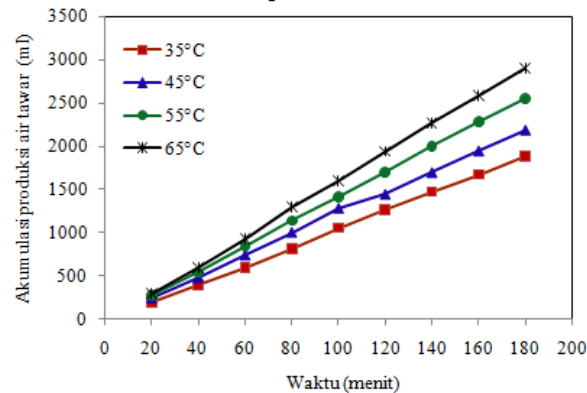
$$\Delta W_2 = \dot{m}_a (w_2 - w_3) \quad (5)$$



Gambar 1. Gambar 3D unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses HD

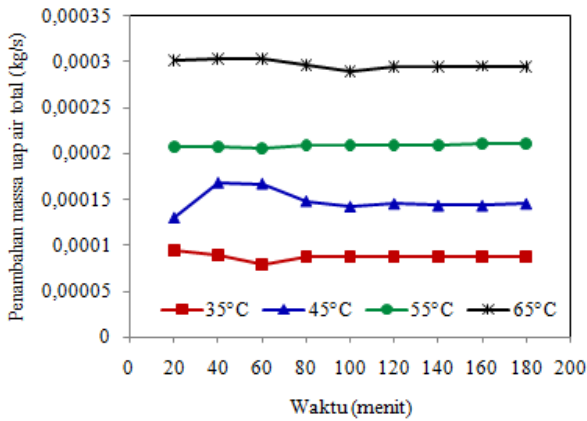
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Pengaruh Temperatur Udara Masuk Humidifier Terhadap Produksi Air Tawar



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

Gambar 2. menunjukkan 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 maka kemampuan untuk menyerap uap air juga semakin tinggi. Seperti pada gambar 3, bahwa semakin tinggi temperatur udara maka penambahan massa air total dalam udara setelah melewati humidifier juga semakin tinggi. Penambahan massa 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.

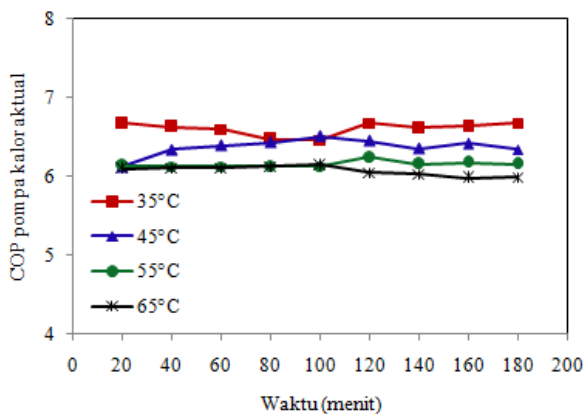


Gambar 3. Grafik penambahan massa uap air total terhadap waktu dengan variasi temperatur udara masuk humidifier

Volume air tawar yang dihasilkan setiap 20 menit untuk setiap variasi temperatur udara 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. aju produksi air tawar rata-rata untuk temperatur udara masuk humidifier 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C berturut-turut 10 ml/menit, 12 ml/menit, 14 ml/menit, dan 15 ml/menit. Sehingga unit desalinasi ini dapat memproduksi air tawar untuk temperatur udara masuk humidifier 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C berturut-turut rata-rata 14,40 L/hari, 17,28 L/hari, 20,16 L/hari, dan 21,60 L/hari.

**b. Pengaruh Temperatur Udara Masuk Humidifier Terhadap COP<sub>HP</sub> Aktual.**

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara COP<sub>HP</sub> aktual terhadap waktu dengan variasi temperatur udara.



Gambar 4. Grafik COP<sub>HP</sub> aktual terhadap waktu dengan variasi temperatur udara masuk humidifier

Dari gambar 4 dapat dilihat nilai COP<sub>HP</sub> aktual menurun dengan kenaikan temperatur udara. Nilai COP<sub>HP</sub> tertinggi terjadi pada temperatur udara 35°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur udara 35°C sistem pompa kalor memiliki beban

pendinginan paling rendah dibandingkan dengan temperatur udara yang lain. Sedangkan seiring dengan naiknya temperatur udara yang masuk ke dalam sistem maka beban pendinginan yang diterima sistem pompa kalor juga akan semakin meningkat. Nilai COP<sub>HP</sub> pada temperatur udara tertentu relatif sama terhadap waktu. Hal ini karena sistem pompa kalor menerima beban pendinginan sama selama dijalankan pada temperatur udara tertentu yang konstan.

**c. Salinitas Air Tawar Hasil Proses Desalinasi**

Produk air tawar hasil proses desalinasi ini memiliki nilai salinitas 715 ppm. Ini berarti air tawar yang dihasilkan dari proses desalinasi ini telah memenuhi standar air yang dapat digunakan untuk air minum, kebutuhan rumah tangga (memasak, mencuci, berkebun, dll) dan beberapa keperluan industri [12].

**KESIMPULAN**

Volume produksi air tawar meningkat seiring dengan kenaikan temperatur udara masuk humidifier dari unit desalinasi. Laju produksi air tawar rata-rata dari unit desalinasi pada variasi temperatur udara rata-rata masuk humidifier 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C berturut-turut 10 ml/menit, 12 ml/menit, 14 ml/menit, dan 15 ml/menit atau berturut-turut 14,40 L/hari, 17,28 L/hari, 20,16 L/hari, dan 21,60 L/hari.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Sinha, R.K., 2010, *Desalination & water purification technologies*, Government of India, Mumbai.
- [2] Cipollina, A., Micale, G., Rizzuti, L., 2009, *Seawater desalination-conventional and renewable energy processes*, Springer Heidelberg Dordrecht London, New York.
- [3] Entjang, I., 1991, *Ilmu kesehatan masyarakat*, PT Citra Aditya Bakti, Bandung
- [4] Kalogirou, S.A., 2004, Solar thermal collectors and applications, *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, pp. 231-295
- [5] Fath, H.E.S., Ghazy, A., 2002, Solar desalination using humidification-dehumidification technology, *Desalination*, vol. 142, pp. 119-113
- [6] Orfi, J., Laplante, M., Marmouch, H., Galanis, N., Benhamou, B., Ben Nasrallah, S., Nguyen, C.T., 2004, Experimental and theoretical study of a humidification-dehumidification water desalination system using solar energy, *Desalination*, vol. 168, pp. 151-159
- [7] Yuan, G., Zhang, H., 2007, Mathematical modeling of a closed circulation solar desalination unit with humidification-dehumidification, *Desalination*, vol. 205, pp. 156-162
- [8] Gao, P., Zhang, L., Zhang, H., 2008, Performance analysis of a new type desalination

- unit of heat pump with humidification and dehumidification, *Desalinasi*, vol. 220, pp. 531–537
- [9] Yamale, C., Solmus, I., 2008, A solar desalination system using humidification–dehumidification process: experimental study and comparison with the theoretical results”, *Desalination*, vol. 220, pp. 538-551
- [10] Amer, E.H., Kotb, H., Mostafa, G.H., El-Ghalban, A.R., 2009, Theoretical and experimental investigation of humidification–dehumidification desalination unit, *Desalination*, vol. 249, pp. 949–959
- [11] Yaningsih, I., Istanto, T., Purwanto, A., 2012, Pengaruh temperatur udara terhadap unjuk kerja unit desalinasi surya berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin 7*, tanggal 21 Juni 2012, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, UK Petra Surabaya
- [12] El-Dessouky, H. T. and Ettouney, H.M., 2002, *Fundamentals of salt water desalination*, First edition, Elsevier, Netherland

### NOTASI

$A$	= luas penampang saluran ( $m^2$ )
$COP_{HP}$	= koefisien prestasi pompa kalor aktual
$h_1$	= entalpi refrigeran keluar evaporator (kJ/kg)
$h_2$	= entalpi 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)
$Q_{kond}$	= kalor yang dilepas oleh kondensor (kW)
$V_a$	= kecepatan udara (m/s)
$W_{komp}$	= 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)
$\rho_{udara}$	= densitas udara ( $kg/m^3$ )
$\Delta W_1$	= penambahan massa uap air total (kg/s)
$\Delta W_2$	= penambahan massa uap air total (kg/s)