

PENGARUH PENGGUNAAN REFRIGERAN HCR-12, HFC-134a, dan HCR-134a TERHADAP UNJUK KERJA UNIT DESALINASI BERBASIS POMPA KALOR DENGAN MENGGUNAKAN PROSES HUMIDIFIKASI DAN DEHUMIDIFIKASI

Indri Yaningsih¹, Tri Istanto², Wibawa Endra Juwana³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No 36A, Kentingan, Surakarta 57126 Telp 0271632163
Email: indriyaningsih@staff.uns.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menguji pengaruh penggunaan refrigeran terhadap unjuk kerja unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi. Pada penelitian ini refrigeran yang digunakan adalah HCR-134a, HCR-12 dan HFC-134a, temperatur air laut dikondisikan pada temperatur konstan sebesar 45°C. Kompresor dioperasikan pada putaran konstan sebesar 1.200 rpm, laju aliran volumetrik air laut dijaga sebesar 300 l/jam, dan air laut dalam sistem ini disirkulasi ulang. Hasil penelitian ini menunjukkan unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi dengan menggunakan refrigeran HCR-134a menghasilkan produksi air tawar sebesar 25,6 liter/ hari dan COP aktual sebesar 5,5, lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan refrigeran HCR-12 dan HFC-134a. Produksi air tawar dan COP aktual menggunakan HCR-12 dan HFC-134a berturut – turut adalah 24,4 liter/ hari, 22, 1 liter/hari dan 5,4 dan 5,2. Air tawar hasil proses desalinasi memiliki nilai salinitas 715 ppm.

Kata kunci: dehumidifikasi; desalinasi; HCR-12; HCR-134a; HFC-134a; humidifikasi

Pendahuluan

Air memegang peranan penting dalam kehidupan sehari – hari termasuk dalam perkembangan kegiatan pertanian dan industri. Kandungan air di bumi sekitar lebih dari 70%, tetapi hanya 3% yang merupakan air tawar dari berbagai sumber air, dan tidak semua dari jumlah tersebut layak untuk dikonsumsi. Jumlah tersebut relatif tidak berubah. Ketika jumlah populasi manusia semakin meningkat hal ini akan menjadi masalah karena kebutuhan air tawar yang diperlukan semakin besar pula, dan tidak diimbangi dengan jumlah air tawar di bumi yang jumlahnya tetap. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya krisis air tawar, yang sekarang banyak dialami umat manusia yang sangat mempengaruhi kesejahteraan umat manusia itu sendiri, mulai dari kesehatan, dan kegiatan ekonomi yang meliputi; pertanian dan industri yang sangat bergantung pada ketersediaan air tawar tersebut.

Desalinasi adalah solusi yang tepat untuk mengatasi masalah krisis air tawar yang sekarang dihadapi lebih dari 40% populasi manusia di bumi. Desalinasi dapat dilakukan dengan banyak cara dan salah satunya dengan sistem pompa kalor (*heat pump*) dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi (HD) (Gao dkk, 2008). Sistem ini sederhana dan dapat dibuat dalam bentuk yang ringkas untuk kapasitas yang kecil. Sistem ini juga dapat diaplikasikan dengan pemanfaatan energi sinar matahari sebagai komponen pemanas udara (*air heater*) dan air laut umpan (*feed seawater*) (Zhani K dkk, 2010). Karena energi sinar matahari merupakan energi yang gratis, tidak terbatas dan ramah lingkungan maka pemanfaatan energi matahari akan meningkatkan efisiensi sistem desalinasi. Produktivitas unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan proses HD untuk meningkatkan produksi air tawar sangat tergantung pada temperatur air laut masuk humidifier (Amer E. H, 2009), temperatur udara masuk humidifier (Yaningsih, 2014a), laju aliran massa air laut masuk humidifier (Yaningsih, 2014b), laju aliran massa udara masuk humidifier (Yaningsih, 2014c), putaran kompresor (Yaningsih, 2014d), jenis humidifier (Yaningsih, 2015) dan jenis refrigeran yang digunakan dalam sistem pompa kalor.

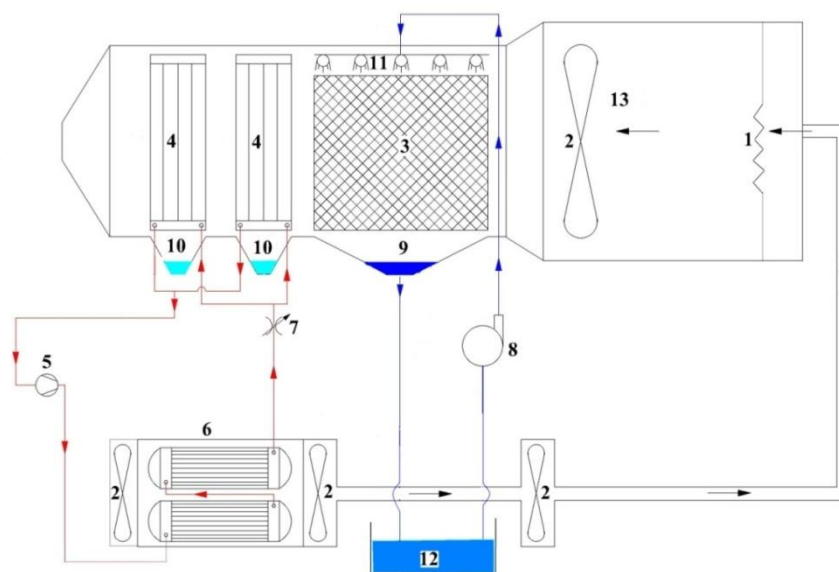
Desalinasi dengan sistem pompa kalor ini membutuhkan suatu refrigeran yang berfungsi sebagai medium penyerap panas dari udara lembab yang banyak mengandung kadar air laut menjadi udara kering sehingga terjadi proses pengembunan dan dihasilkan air tawar. Refrigeran yang digunakan di Indonesia sebagian besar masih menggunakan refrigeran sintetik yang mengandung CFC (Chloro Fluoro Carbon) yang dapat menghancurkan lapisan ozon (O₃) dan HCFC (Hydro Chloro Fluoro Carbon) yang pada ketinggian lebih rendah molekulnya dapat menyerap radiasi infra merah sehingga dapat menambah pemanasan global. Hal ini memberikan kontribusi yang besar pula terhadap pelepasan BPO (Bahan Perusak Ozon) ke atmosfer. Untuk mencegah penggunaan refrigeran sintetik, pemerintah membuat kebijakan dengan mengeluarkan beberapa ketetapan salah satunya tindakan untuk

membatasi penggunaan CFC dan senyawa perusak ozon lainnya, yaitu dengan mengganti refrigeran sintetis dengan refrigeran alternatif, seperti Hydro Fluoro Carbon (HFC) atau refrigeran alami seperti hydrocarbon (HC), amonia (R717), air (R718), dan CO₂. Kosmadakis G, dkk (2009) melakukan pengujian terhadap 33 jenis refrigeran organik yang dapat bekerja dalam temperatur tinggi dan ramah lingkungan untuk sistem Reverse Osmosis (RO). Dari penelitian tersebut dihasilkan refrigeran R245fa sebagai pilihan terbaik karena memiliki efisiensi termal yang tinggi dan sangat ramah lingkungan.

Sebagai refrigeran alternatif, unjuk kerja dari refrigeran tersebut apabila masih diragukan untuk diaplikasikan dalam keperluan sehari-hari, misalnya pada proses desalinasi berbasis pompa kalor, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai unjuk kerja dari refrigeran-refrigeran alternatif tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini akan menguji pengaruh penggunaan refrigeran HCR-12, HFC-134a, dan HCR-134a terhadap unjuk kerja unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses HD.

Bahan dan Metode Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Refrigeran HFC-134a, HCR-12, HCR-134a, dan air laut dengan salinitas 31.342 ppm berdasarkan pengujian di laboratorium MIPA Pusat UNS dengan menggunakan metode SNI 06-6989. 19-2004. Skema unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses HD ditunjukkan pada gambar 1.



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

Berdasarkan gambar diatas diketahui bahwa:

1. Pemanas udara
2. Fan aksial
3. Humidifier
4. Evaporator/Dehumidifier
5. Kompresor
6. Kondensor
7. Katup ekspansi
8. Pompa sentrifugal
9. Penampung air laut
10. Penampung air tawar
11. Sprinkler
12. Bak air laut

Pada dasarnya unit desalinasi ini terdiri dari 3 bagian yaitu unit pemanas (pemanas air laut dan udara), komponen proses HD (humidifier dan dehumidifier) serta komponen pompa kalor (kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator). Prinsip kerja dari unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses HD 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 dan kemudian diperoleh air tawar (*freshwater*). Dalam sistem ini, udara lingkungan dipanaskan ketika melalui kondensor kemudian dilembabkan di humidifier (karena bercampur dengan semprotan air laut oleh *sprinkler*) dengan dorongan fan aksial (proses humidifikasi). Udara lembab ini didinginkan ketika melewati evaporator (dehumidifier), sehingga udara mengembun menjadi air tawar (proses dehumidifikasi). Air laut diberi pemanasan awal (*preheating*) sebelum disemprotkan menggunakan *sprinkler* ke humidifier untuk menambah kelembaban udara kering dari kondensor (Yaningsih, 2014c).

Parameter-parameter yang berhubungan dengan unit desalinasi ini adalah sebagai berikut kompresor yang digunakan adalah tipe torak 2 silinder. Kondensor yang digunakan berjumlah 2 buah dengan dimensi masing-masing kondensor (cm) 58 x 36 x 1,5. Evaporator yang digunakan adalah tipe window 2 PK berjumlah 2 buah yang dipasang secara parallel dan berfungsi sebagai dehumidifier. Humidifier yang digunakan terbuat dari aluminium dengan dimensi (cm) 30 x 37 x 35. *Sprinkler* pada penelitian ini berjumlah 5 buah yang dipasang di atas humidifier, disusun membentuk segiempat dengan jarak antar *sprinkler* 16,5 cm. Untuk mengukur laju aliran volumetrik air laut digunakan sebuah rotameter, sedangkan untuk memanaskan air laut digunakan pemanas air listrik. 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 VA 20440.9. Parameter penelitian yang dibuat konstan yaitu; temperatur air laut masuk humidifier dijaga konstan sebesar 45°C, laju aliran volumetrik air laut masuk humidifier dijaga konstan sebesar 300 liter/jam sehingga diperoleh laju aliran massa air laut masuk humidifier konstan sebesar 0,086 kg/s, kecepatan udara masuk humidifier dijaga konstan sebesar 4 m/s dan air laut dalam sistem ini disirkulasi ulang. Pada penelitian ini setiap refrigeran diisikan ke sistem pompa kalor sampai tekanan tertentu dan dicatat massa refrigeran yang dimasukkan ke dalam sistem pompa kalor.

Data yang diperoleh dalam pengujian penggunaan refrigeran HCR-12, HFC-134a, dan HCR-134a pada sistem pompa kalor dari unit desalinasi ini, yaitu: yaitu besarnya tekanan masuk (*suction*) dan keluar (*discharge*) pada kompresor, kondensor, dan evaporator; temperatur refrigeran yang masuk dan keluar pada evaporator, temperatur refrigeran yang masuk dan keluar pada kondensor, temperatur sebelum dan sesudah *humidifier*, temperatur udara sebelum dan sesudah *dehumidifier* sehingga dapat diketahui sifat – sifat refrigeran dan volume air tawar yang dihasilkan. Sistem ini dijalankan selama 180 menit pada setiap variasi pengujian dan pengambilan data setiap 20 menit.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju aliran massa udara:

$$\dot{m}_a = \rho_{udara} \cdot V_a \cdot A \quad (1)$$

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

$$\Delta W_1 = \dot{m}_a (w_2 - w_1) \quad (2)$$

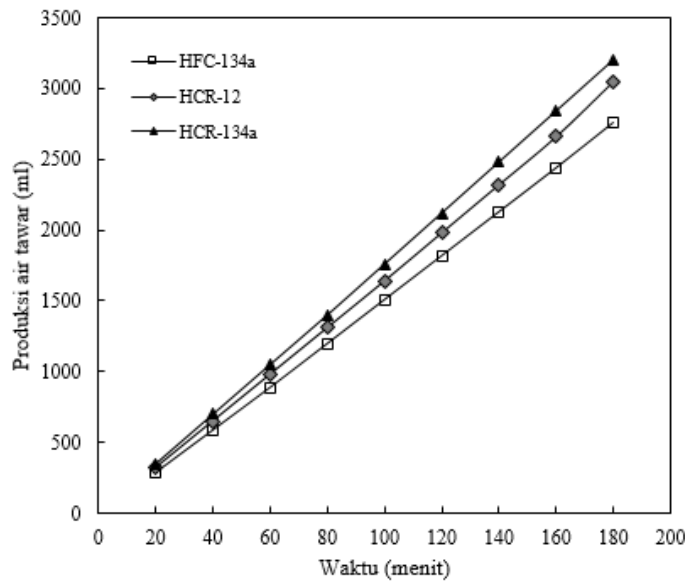
Persamaan untuk menghitung COP aktual pompa kalor dapat dihitung dengan:

$$COP = \frac{Q_{cond}}{W_{comp}} = \frac{\dot{m}_{ref} \cdot (h_{2a} - h_3)}{\dot{m}_{ref} \cdot (h_{2a} - h_1)} \quad (3)$$

Hasil Dan Pembahasan

Pengaruh refrigeran terhadap produksi air tawar

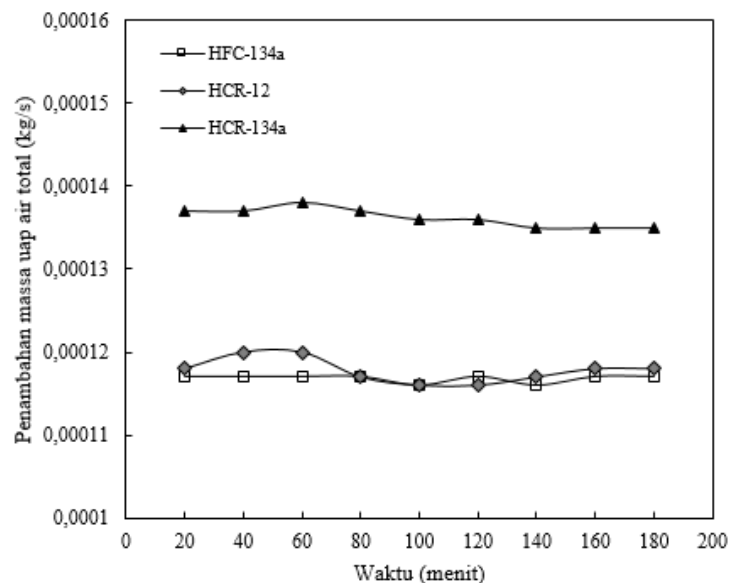
Gambar 2. menunjukkan grafik produksi air tawar terhadap waktu dengan variasi penggunaan refrigeran pada sistem pompa kalor dari unit desalinasi. Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa pompa kalor dengan menggunakan refrigeran HCR-134a menghasilkan produksi air tawar paling banyak dibandingkan dengan penggunaan refrigeran HCR-12 dan HFC-134a. Hal ini disebabkan karena refrigeran HCR-134a memiliki kemampuan menyerap panas lebih baik dibandingkan refrigeran HCR-12 dan HFC-134a. Pada penggunaan refrigeran HCR-134a pada sistem pompa kalor, temperatur udara setelah melewati evaporator (*dehumidifier*) lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan refrigeran HCR-12 dan HFC-134a. Semakin rendah temperatur udara keluar evaporator (*dehumidifier*), maka nilai rasio kelembaban udaranya (w) semakin rendah. Hal ini menyebabkan selisih rasio kelembaban udara sebelum dan sesudah melewati *dehumidifier* semakin besar, dimana menyebabkan semakin besar produksi air tawar yang dihasilkan.



Gambar 2. Grafik produksi air tawar terhadap waktu.

Volume air tawar yang dihasilkan setiap 20 menit untuk masing-masing refrigeran 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. Total produksi air tawar untuk unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses HD dengan menggunakan refrigeran HFC 134a, HCR-12, dan HCR-134a berturut-turut adalah 15,33 ml/menit, 16,94 ml/menit dan 17,78 ml/menit atau 22,1 liter/hari, 24,4 liter/hari dan 25,6 liter/ hari.

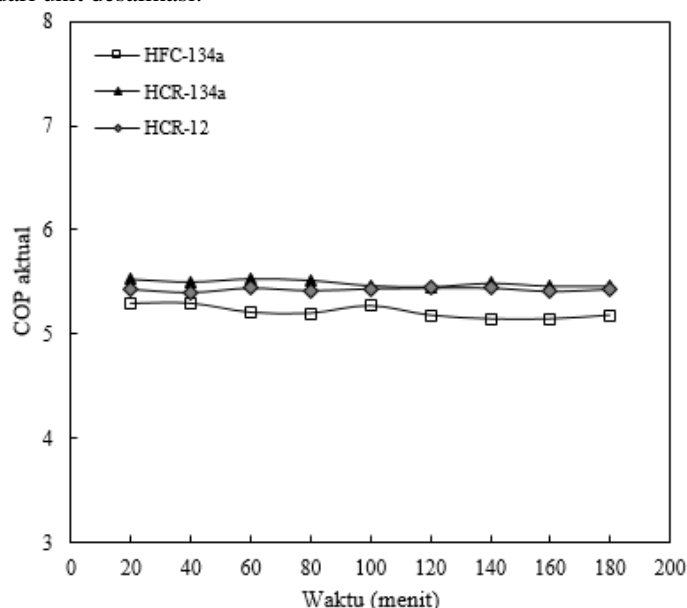
Gambar 3. menunjukkan grafik penambahan massa uap air total terhadap waktu dengan variasi penggunaan refrigeran pada sistem pompa kalor dari unit desalinasi. Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa pompa kalor dengan menggunakan refrigeran HFC-134a dan HCR-12 terjadi penambahan massa uap air total yang hampir sama, sedangkan HCR-134a terjadi penambahan massa uap air total paling tinggi, hal ini dikarenakan temperatur kondensor untuk refrigeran HCR-134a memiliki nilai paling tinggi dibandingkan penggunaan refrigeran HCR-12 dan HFC-134a. Hal ini menyebabkan temperatur udara sebelum memasuki *humidifier* menjadi lebih tinggi. Semakin tinggi temperatur udara masuk *humidifier*, maka nilai rasio kelembaban udaranya (w) semakin rendah. Hal ini menyebabkan selisih rasio kelembaban udara sebelum dan sesudah melewati *humidifier* semakin besar, dimana menyebabkan semakin tinggi nilai penambahan uap air total yang dihasilkan.



Gambar 3. Grafik penambahan massa uap air total terhadap waktu

Pengaruh refrigeran terhadap COP aktual

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara COP aktual terhadap waktu dengan variasi penggunaan refrigeran pada sistem pompa kalor dari unit desalinasi.



Gambar 4. Grafik COP aktual terhadap waktu

Dari gambar 4 dapat dilihat nilai COP aktual HCR-134a lebih besar dibandingkan HCR-12 dan HFC-134a. Nilai COP aktual rata-rata HCR-134a berkisar 5,5, sedangkan nilai COP aktual rata-rata HCR-12 dan HFC-134a berturut-turut berkisar 5,4 dan 5,2. Hal ini disebabkan karena pada HCR-134a memiliki kemampuan melepas dan menyerap kalor lebih baik dibandingkan dengan refrigeran HCR-12 dan HFC-134a. Nilai COP aktual pompa kalor dengan bertambahnya waktu operasi pompa kalor mempunyai kecenderungan sedikit menurun. Hal ini dikarenakan semakin lama pompa kalor beroperasi, menyebabkan temperatur dan tekanan refrigeran yang masuk kondensor akan semakin tinggi. Hal ini menyebabkan Δh yang dihasilkan pada kondensor semakin rendah, sehingga menurunkan nilai COP aktual.

Tabel 1. Klasifikasi dari beberapa jenis air berdasarkan tujuan penggunaannya(El-Dessouky, H T, 2002).

No	Salinitas air (ppm)	Kegunaan
1	5 – 1.000	Air minum, kebutuhan rumah tangga (memasak, mencuci, berkebun, dll) dan beberapa keperluan industri.
2	1.000 – 3.000	Irigasi dan pendingin dalam industri

Kesimpulan

Produksi air tawar yang dihasilkan unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan refrigeran HCR-134a lebih tinggi bila dibandingkan dengan menggunakan refrigeran HCR-12 dan HFC-134a. Total produksi air tawar unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses HD dengan menggunakan refrigeran HFC 134a, HCR-12, dan HCR-134a berturut-turut adalah 22,1 liter/hari, 24,4 liter/hari dan 25,6 liter/ hari. Unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses HD menggunakan refrigeran HCR-134a mempunyai COP aktual paling tinggi (nilai COP 5,46 - 5,53) dibandingkan dengan menggunakan refrigeran HCR-12 dan HFC-134a. Air tawar hasil proses desalinasi memiliki nilai salinitas 715 ppm.

Daftar Notasi

- A = luas penampang saluran (m²)
- COP_{aktual} = koefisien prestasi aktual
- h₁ = entalpi refrigeran keluar evaporator (kJ/kg)
- h₁ = entalpi udara masuk humidifier(kJ/kg)
- h_{2a} = entalpi refrigeran masuk kondensor (kJ/kg)
- h₃ = entalpi refrigeran pada tekanan keluar kondensor (kJ/kg)
- h₃ = entalpi udara keluar dehumidifier(kJ/kg)
- m_{ref} = laju aliran massa refrigeran (kg/s)
- m_a = laju aliran massa udara (kg/s)
- Q_{kond} = kalor yang dilepas oleh kondensor (kW)

V_a	= kecepatan udara (m/s)
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)
ΔW_1	= penambahan massa uap air total (kg/s)
W_{komp}	= daya kompresor (kW)
ρ_{udara}	= densitas udara (kg/m^3)

Daftar Pustaka

- Amer. E. H ., H. Kotb, G.H. Mostafa, A.R. El-Ghalban., (2009), “Theoretical and experimental investigation of humidification–dehumidification desalination unit”, *Desalination*, Vol. 249, pp. 949-959.
- El-Dessouky. H T. dan Hisham M. Ettouney., (2002), “*Fundamentals of salt water desalination*”, First edition, Elsevier, Netherland
- Gao Penghui, Lixi Zhang, Hefei Zhang, (2008)., “Performance analysis of a new type desalination unit of heat pump with humidification and dehumidification”, *Desalination*, Vol.220, pp. 531-537
- Kosmadakis, G, D. Manolagos, S. Kyritsis, G. Papadakis., (2009), “Comparative thermodynamic study of refrigerants to select the best for use in the high–temperature stage of two–stage organic rankine cyclefor ro desalination”, *Desalination*, Vol.243, pp.74-79
- Yaningsih I., dan Istanto T., (2014a), “Experimental investigation of a solar desalination unit based heat pump with humidification and dehumidification”, *Proceeding of International Conference on Green Technology*, tanggal 3 September 2014, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Yaningsih I., dan Istanto T., (2014b), “Pengaruh laju aliran massa air laut terhadap produktivitas unit desalinasi berbasis pompa kalordengan proses humidifikasi dan dehumidifikasi”, *Prosiding Seminar Teknoin 2014*, tanggal 22 November 2014, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
- Yaningsih I., dan Istanto T., (2014c), “Studi eksperimental pengaruh laju aliran massa udara terhadap produktivitas air tawar unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi”, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-5*, tanggal 25 Juni 2014, Fakultas Teknik Universitas Wachid Hasyim Semarang.
- Yaningsih, I., Istanto, T., Juwana, W.E., (2014d), “Pengaruh kecepatan putaran kompresor terhadap produktivitas unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan proses humidifikasi dan dehumidifikasi”, *Jurnal Mechanical*, Vol. 5(2) pp. 23-28.
- Yaningsih, I., Istanto, T., (2015), “Pengaruh jenis humidifier (spray humidifier dan pad humidifier) terhadap produktivitas unit desalinasi berbasis pompa kalor dengan menggunakan proses humidifikasi dan dehumidifikasi”, *Jurnal Mechanical*, Vol. 6 (1) pp. 49-55
- Zhani, K. Ben Bacha, H, (2010), “Experimental investigation of new solar desalination prototype using the humidification dehumidification principle”, *Renewable energy*, Vol. 35, pp. 2610-2617