

Kinerja mesin *air water harvester* pada berbagai variasi posisi kipas

Performance of water harvester machines on various fan position variations

M. M. Ramadhan*, Y.A. Padang, Mirmanto
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 085337422802
*E-mail: mhmd.millennium.r@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:
Received
Accepted
Available online

Keywords:
air water harvester, fan position, water mass, COP, efficiency.



During the dry season, parts of Indonesia experience drought and clean water crises. Various efforts have been made to meet the current demand for clean water. One of the efforts to obtain clean water is by presenting a device called an air water harvester using a vapor compression system. This study aims to determine the performance of the water harvester machine at various fan position variations. The machine performance in question is the mass of water produced, COP, the amount of heat absorbed from the air, and the efficiency of the condensing unit. The compressor used is a rotary type 1 PK compressor. This study varied the position of the fan of the condenser unit, namely the position of the fan pushing air, the position of the fan sucking air, and the position of the fan pushing and sucking air. The results showed that the highest average mass of water was 0.977 kg/7 hours using variations in the position of the fan pushing the air. Meanwhile, the highest COP was 3.21, obtained from variations in the position of the fan pushing the air, the highest total heat flow rate absorbed by the condensing unit from the air occurred in the variations in the position of the fan pushing and sucking in the air, which was 199.25 J/s and the highest efficiency of the condensing unit. are in variations in the position of the fan pushing and sucking air that is equal to 12.49%.

1. PENDAHULUAN

Pada musim kemarau di beberapa daerah di Indonesia ketersediaan air bersih sulit diperoleh. Kelangkaan air bersih menjadi salah satu masalah yang sering dirasakan oleh masyarakat diberbagai daerah di Indonesia, sebab air merupakan kebutuhan yang sangat penting atau pokok bagi manusia. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menghadirkan alat penghasil air dari udara yang disebut *air water harvester*.

Air water harvester banyak modelnya seperti memanen air dari udara menggunakan jaring, memanen air dari udara menggunakan kincir angin dan memanen air dari udara menggunakan mesin pendingin. Yang paling mudah dan sederhana serta dapat digunakan dimanapun adalah pemanen air dari udara menggunakan mesin pendingin selama di lokasi tersebut ada aliran listrik, Mirmanto dkk (2021).

Mesin air water harvester dengan menggunakan mesin pendingin telah banyak diteliti seperti oleh Winata (2021), Prasetya (2022), Faroni (2022), dan Azari (2022). Namun, penelitian yang telah dilakukan tersebut belum mampu menghasilkan air dalam kapasitas yang banyak. Penelitian Winata (2021) hanya menghasilkan air sebanyak 0,5043 kg selama 7 jam, sedangkan penelitian Prasetya (2022), Faroni (2022), dan Azari (2022) malah hanya mampu menghasilkan 0,4384 kg, 0,369 kg dan 0,44 kg selama 7 jam. Hasil tersebut malah lebih sedikit dibandingkan dengan Winata (2021). Oleh sebab itu, mesin penghasil air ini masih sangat perlu untuk diteliti guna meningkatkan produksi airnya.

Penelitian ini akan mengkaji evaporator dengan diameter pipa kecil sebab Faroni (2022) menyatakan bahwa semakin kecil diameter pipa evaporator maka akan menghasilkan massa air lebih banyak. Oleh sebab itu penelitian ini menggunakan evaporator dengan ukuran pipa paling kecil yang disusun paralel dengan kecepatan udara konstan 4 m/s. Ukuran pipa evaporator yang digunakan adalah 1,7 mm dan evaporator ini sudah pernah diteliti oleh Pangestu (2022), tetapi variasi yang teliti berbeda.

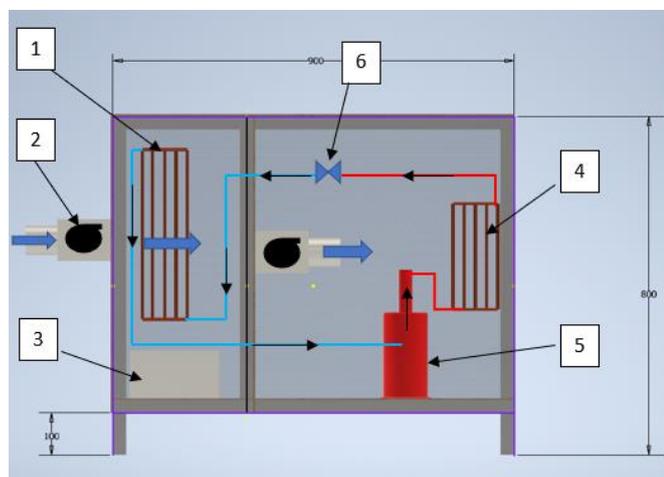
Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kinerja mesin air water harvester dengan evaporator (unit pengembun uap air) paralel pada berbagai variasi posisi kipas. Kinerja yang dimaksud adalah massa air yang dihasilkan, COP, banyaknya kalor yang diserap dari udara, dan efisiensi unit pengembun. Sedangkan variasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah posisi kipas yang mendorong udara, posisi kipas yang menghisap udara, dan posisi kipas yang mendorong dan menghisap udara.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Mataram. Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimental. Metode eksperimental yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji kinerja mesin *air water harvester* pada berbagai variasi posisi kipas.

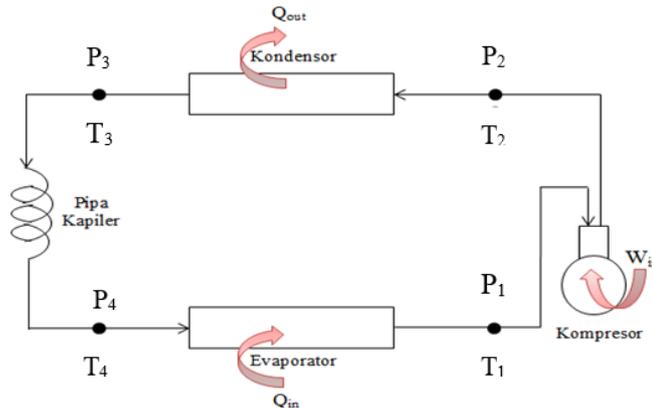
Mesin *air water harvester* merupakan mesin yang menggunakan siklus kompresi uap yang terdiri dari beberapa komponen alat yaitu kompresor, kondensor, pipa kapilar, evaporator, dan kipas, fluida yang digunakan refrigeran R134a. Prinsip kerja dari mesin *air water harvester* pada saat fluida atau refrigeran masuk ke kompresor maka terjadi proses kompresi yang mengakibatkan fluida mengalami tekanan dan temperatur tinggi, selain itu terjadi perubahan fase refrigeran dari uap jenuh menjadi fase uap panas lanjut. Setelah keluar dari kompresor, maka refrigeran dialirkan ke kondensor. Kondensator berfungsi sebagai media pelepas kalor akibat dari proses kompresi akan tetapi tekanan tetap konstan, pada kondensator terjadi perubahan fase refrigeran dari uap panas lanjut menjadi fase cair jenuh. Keluar dari kondensator refrigeran di alirkan menuju pipa kapiler dimana setelah melewati pipa kapiler refrigeran yang berfase cair jenuh berubah fase menjadi campuran (cair dan uap) dan kemudian masuk ke evaporator, dimana pada evaporator terjadi penyerapan kalor akibat beda temperatur. Setelah keluar dari evaporator fase refrigeran berubah dari campuran (cair dan uap) menjadi fase uap jenuh. Siklus ini terjadi terus menerus selama mesin dihidupkan.

Pada saat siklus mesin berkerja dilakukan pengukuran tekanan (P) temperatur (T) pada empat titik refrigeran yaitu; pada saat refrigeran masuk dan keluar kompresor, masuk dan keluar kondensator, masuk dan keluar evaporator. Pada sisi dinding kondensator dilakukan pemasangan alat ukur temperatur sebanyak tiga titik. Dan pada dinding evaporator terpasang empat titik alat pengukur temperatur.



Gambar 1. Desain alat penelitian

Dimana pada gambar 1. desain alat penelitian. 1. evaporator, 2. kipas, 3. bak penampung air, 4. kondensator, 5. kompresor, 6. pipa kapiler.



Gambar 2. siklus kompresi uap dan posisi pemasangan alat ukur tekanan dan temperatur

Adapun spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel

Tabel 1. alat dan bahan penelitian

Nama	Spesifikasi
Kompresor	Rotary-1 PK
Kondensator	Bahan alumunium, tipe paralel
Evaporator	Bahan alumunim tipe paralel, diameter pipa 1,7 mm
Pipa kapiler	Tipe coil, panjang x diameter = 500 x 1,7 mm
Kipas sentrifugal	Panjang x lebar x tinggi = 120 x 60 x 120 mm
	Tegangan 12 Volt DC
Low pressure gauge	Tipe analog
High pressure gauge	Tipe analog
Termokopel	Tipe kabel
Barometer	Tipe digital
Refrigeran	R134a
Data logger	Tipe digital

Besarnya kerja kompresor (W_{in}) persatuan massa refrigeran dapat di hitung dengan persamaan yang diambil dari Cengel & Boles (1994) .

$$W_{in} = h_2 - h_1 \tag{1}$$

Dengan W_{in} adalah kerja kompresor persatuan massa refrigeran (J/kg), h_1 Entalpi refrigeran saat keluar evaporator atau sama dengan entalpi saat masuk kompresor (J/kg), h_2 Entalpi refrigeran saat masuk kondenser (J/kg).

Besarnya energi kalor yang dilepas oleh kondenser (Q_{out}) dapat dihitung dengan persamaan yang diambil dari Cengel & Boles (1994).

$$Q_{out} = h_2 - h_3 \tag{2}$$

dengan Q_{out} adalah kalor yang dilepas oleh kondenser (J/kg), h_3 Entalpi refrigeran saat keluar kondenser (J/kg).

Besarnya energi kalor yang diserap oleh evaporator (Q_{in}) dapat dihitung dengan persamaan yang diambil dari Cengel & Boles (1994).

$$Q_{in} = h_1 - h_4 \tag{3}$$

Dimana dengan Q_{in} adalah Energi kalor yang diserap oleh evaporator persatuan massa refrigeran (J/kg), h_4 Entalpi refrigeran saat masuk evaporator atau sama dengan entalpi saat masuk pipa kapiler (J/kg).

COP aktual (*coefficient of performance*) mesin siklus kompresi uap adalah perbandingan antara energi yang diserap oleh refrigeran (Q_{in}) dengan kerja kompresor (W_{in}). COP mesin kompresi uap dapat dihitung dengan persamaan yang diambil dari Cengel & Boles (1994)

$$COP_{Aktual} = \frac{Q_{in}}{W_{in}} = \frac{(h_1-h_4)}{(h_2-h_3)} \quad (4)$$

Padang (2019) dalam buku Termodinamika 1 menjelaskan bahwa ($COP_{R.ref}$) dari sebuah mesin dapat dihitung dengan persamaan :

$$COP_{R.rev} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} \quad (5)$$

Dirgantara (2021) panas udara kering yang diserap oleh evaporator dari udara dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\dot{Q}_{udara\ kering} = \dot{m}_{udara\ kering} \times C_p_{udara\ kering} (T_{in} - T_{out}) \quad (6)$$

Dimana $\dot{Q}_{udara\ kering}$ adalah panas udara kering yang diserap oleh evaporator (J/s), T_{in} suhu udara saat masuk evaporator ($^{\circ}C$), T_{out} suhu udara setelah melewati evaporator ($^{\circ}C$), $\dot{m}_{udara\ kering}$ laju aliran massa udara kering (kg/s), $C_p_{udara\ kering}$ panas jenis udara kering (J/kg.K).

Evisiensi unit pengembun dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{udara\ total}}{Q_{in}} \times 100 \% \quad (7)$$

Dengan $\dot{Q}_{udara\ total}$ laju aliran panas total yang diserap oleh unit pengembun (J/s).

Beberapa variabel yang diuji pada penelitian ini antara lain variasi posisi kipas mendorong udara, variasi posisi kipas menghisap udara, variasi posisi kipas mendorong dan menghisap udara. Kecepatan kipas diatur konstan sebesar 4 m/s.

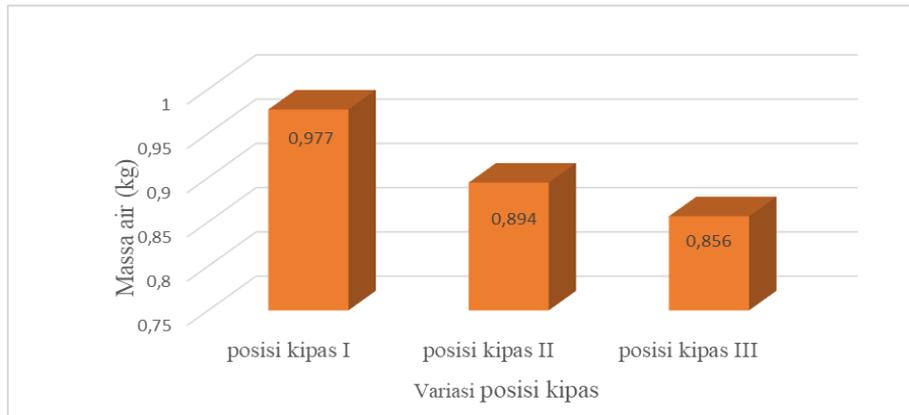
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja mesin *air water harvester* pada berbagai variasi posisi kipas. Kinerja yang dimaksud adalah massa air yang dihasilkan, COP, banyak kalor yang diserap dari udara, dan efisiensi unit pengembun. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada tabel 2. Data yang ditampilkan pada tabel 2, merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan setiap variasi.

Tabel 2. Data hasil perhitungan berdasarkan hasil penelitian

Variasi posisi kipas	Massa air (kg)	COP		$\dot{Q}_{udara\ kering}$ (J/s)	Efisiensi (η)
		COP aktual	COP $R.ref$		
I	0,977	3,21	5,37	195,43	11,28
II	0,894	2,79	4,90	157,56	10,90
III	0,856	3,12	4,99	199,25	12,49

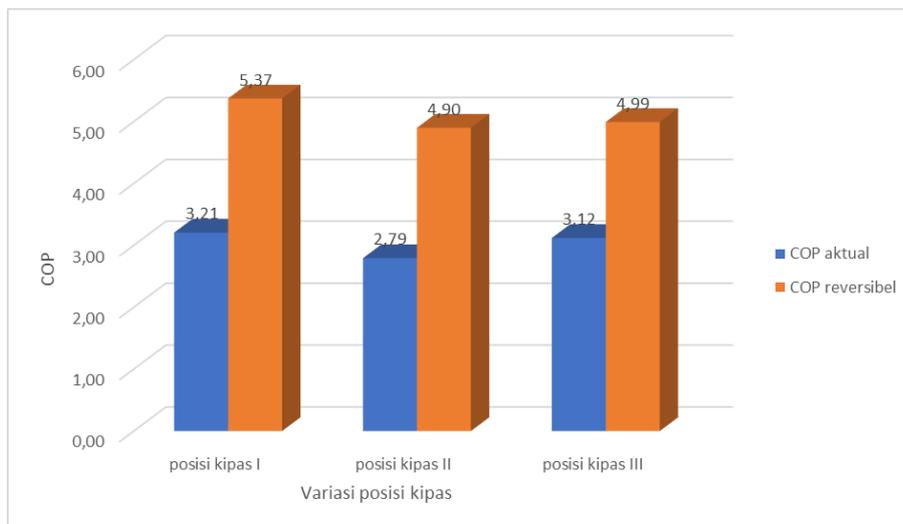
Dimana : I merupakan variasi posisi kipas mendorong udara, II merupakan variasi posisi kipas menghisap udara, III merupakan variasi posisi kipas mendorong dan menghisap udara



Gambar 3. Perbandingan massa air dari ke-3 variasi posisi kipas

Hasil massa air rata-rata yang ditampilkan pada gambar 3, menunjukkan bahwa massa air terbanyak dihasilkan oleh variasi posisi kipas yang mendorong udara dengan rata-rata massa air sebanyak 0,977 kg/7 jam. Kemudian secara berturut-turut dilanjutkan dengan variasi posisi kipas yang menghisap udara dengan rata-rata massa air yang dihasilkan sebanyak 0,894 kg/7 jam, dan variasi posisi kipas yang mendorong dan mengisap udara dengan rata-rata massa air 0,856 kg/7 jam.

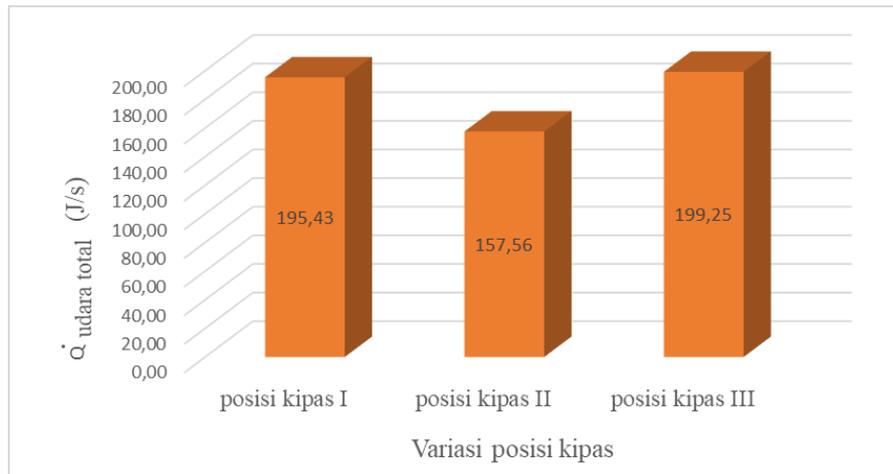
Pada variasi posisi kipas yang mendorong udara, mesin menghasilkan massa air terbanyak dari pada variasi lainnya. Hal ini terjadi karena pemandatan udara yang diakibatkan oleh kipas pada sisi masuk. Semakin padat udara dalam ruangan pengembun maka semakin banyak uap air yang dapat diembunkan. Disamping itu, akibat udara yang termanfaatkan di dalam ruang pengembun maka semakin lama uap air di dalam ruang pengembun yang kontak dengan dinding evaporator. Maka, banyak pula massa air yang didapatkan. Dan pada variasi posisi kipas yang menghisap udara memiliki massa air yang lebih sedikit dari pada variasi pertama, hal ini disebabkan karena udara yang masuk ke dalam unit pengembun belum sempat mengembun dengan optimal tetapi sudah di hisap keluar oleh kipas. Sedangkan untuk variasi kipas yang mendorong dan menghisap udara memiliki massa air yang lebih sedikit dibandingkan variasi pertama dan kedua, hal ini diakibatkan oleh udara yang di dorong oleh kipas belum sempat mengembun secara optimal namun sudah di hisap keluar oleh kipas sehingga massa air yang dihasilkan paling sedikit. Proses pengembunan terjadi dikarenakan terjadinya perpindahan panas dari udara yang temperturnya lebih tinggi ke refrigeran yang temperturnya jauh lebih rendah bahkan lebih rendah dari titik pengembunan uap air di udara. Pengembunan terjadi jika temperatur udara mencapai titik embunnya, air yang dapat diembunkan dari udara akan lebih banyak jika temperatur udara dapat diturunkan lebih rendah dari titik embunnya.



Gambar 4. Perbandingan antara COP_{aktual} dan COP_{rev} dari ke-3 variasi

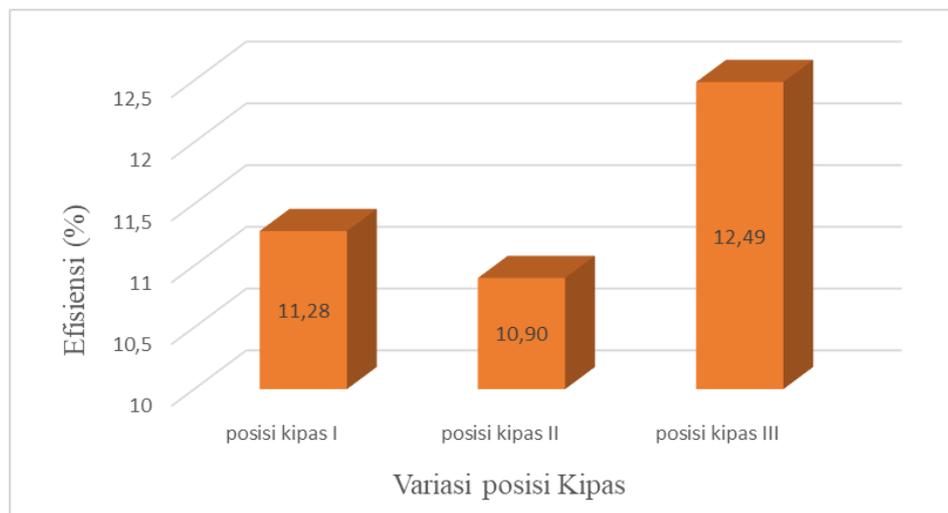
Pada gambar 4, COP_{aktual} tertinggi ditunjukkan oleh variasi posisi kipas yang mendorong udara dengan rata-rata COP sebesar 3,21, dan diikuti variasi posisi kipas mendorong dan menghisap udara dengan rata-rata COP sebesar 3,12. Sedangkan COP terkecil ditunjukkan oleh variasi posisi kipas yang menghisap udara memiliki rata-rata COP sebesar 2,79.

Dari gambar 4, COP_{rev} juga ditampilkan yang dimana COP_{rev} tertinggi ditunjukkan pada variasi posisi kipas yang mendorong udara yaitu sebesar 5,37, dan diikuti variasi posisi kipas yang mendorong dan menghisap udara dengan COP_{rev} sebesar 4,99. Sedangkan COP_{rev} terendah ditunjukkan oleh variasi posisi kipas yang menghisap udara yaitu sebesar 4,90.



Gambar 5. Laju panas total yang diserap unit pengembun dari ke-3 variasi

Gambar 5, menunjukkan bahwa $\dot{Q}_{\text{udara total}}$ tertinggi terjadi pada variasi posisi kipas yang mendorong dan menghisap udara yaitu sebesar 199,25 J/s, dan diikuti dengan variasi posisi kipas mendorong udara yaitu sebesar 195,43 J/s. Sedangkan untuk $\dot{Q}_{\text{udara total}}$ terendah terjadi pada variasi posisi kipas yang menghisap udara yaitu sebesar 157,56 J/s.



Gambar 6. Efisiensi unit pengembun dari ke-3 variasi

Efisiensi unit pengembun dapat dilihat pada gambar 6, efisiensi tertinggi terjadi pada variasi posisi kipas mendorong dan menghisap udara yaitu sebesar 12,49 %, kemudian nilai efisiensi untuk posisi kipas yang mendorong udara sebesar 11,28 %, dan nilai efisiensi variasi posisi kipas terendah terjadi pada variasi posisi kipas yang menghisap udara sebesar 10,90 %. Walaupun pada variasi posisi kipas mendorong dan menghisap udara memiliki efisiensi paling tinggi akan tetapi massa air yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan variasi posisi kipas lainnya. Efisiensi didasarkan pada laju aliran panas total ($\dot{Q}_{\text{udara total}}$) yang diserap oleh unit pengembun bukan berdasarkan massa air yang dihasilkan saja. Meskipun massa air yang dihasilkan besar, tetapi laju aliran panas total yang diserap oleh unit pengembun kecil, maka efisiensi tentu kecil

4. KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan diperoleh beberapa temuan. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa massa air tertinggi terjadi pada variasi posisi kipas yang mendorong udara dengan rata-rata massa air sebesar 0,977 kg/7 jam. COP_{aktual} tertinggi terjadi pada variasi posisi kipas yang mendorong udara dengan rata-rata COP

sebesar 3,21. Laju aliran panas total yang diserap unit pengembun ($\dot{Q}_{udara\ total}$) dengan nilai tertinggi terjadi pada variasi posisi kipas mendorong dan menghisap udara dengan rata-rata nilai $\dot{Q}_{udara\ total}$ sebanyak 199,25 J/s. Efisiensi unit pengembun tertinggi terjadi pada variasi posisi kipas mendorong dan menghisap udara dengan rata-rata nilai efisiensi 12,49 %.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada kedua orang tua dan seluruh keluarga yang telah mendoakan serta mendukung setiap langkah yang telah dilalui sehingga sampai pada titik ini. Yang ke tiga penulis mengucapkan terimakasih kepada bapak prof. Mirmanto, ST., MT., Ph.D. dan bapak Yesung Allo Padang, ST., M.Eng. Serta mengapresiasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR NOTASI

COP_{aktual}	: Koefisien prestasi hasil penelitian
COP_{rev}	: Koefisien prestasi ideal unit pengembun
$C_{udara\ kering}$: Panas jenis udara kering (J/kg K)
h_1	: Entalpi refrigerant saat masuk kompresor (J/kg)
h_2	: Entalpi refrigerant saat masuk kondensor (J/kg)
h_3	: Entalpi refrigerant saat masuk pipa kapiler (J/kg)
h_4	: Entalpi refrigerant saat masuk unit pengembun (J/kg)
Q_{in}	: Energi kalor yang diserap oleh unit pengembun (J/kg)
Q_{out}	: Energi kalor yang dilepas oleh kondensor (J/kg)
$\dot{Q}_{udara\ kering}$: Laju aliran panas udara kering yang diserap oleh unit pengembun (J/s)
T_{in}	: Temperatur udara masuk unit pengembun ($^{\circ}C$)
T_{out}	: Temperatur udara keluar unit pengembun ($^{\circ}C$)
W_{in}	: Kerja kompresor (J/kg)
η	: Efisiensi unit pengembun (%)

DAFTAR PUSTAKA

- Azari, A. (2022). Pengaruh diameter pipa evaporator terhadap massa air yang dihasilkan dengan sistem kompresi uap [Skripsi Universitas Mataram]. Repositori Universitas Mataram.
- Cengel, Y.A., & Boles, M.A. (1994). Thermodynamics an Engineering Approach, second ed. USA: McGraw Hill Inc.
- Dirgantara, R.P. (2021). Pengaruh posisi evaporator terhadap jumlah air yang dihasilkan dengan menggunakan sistem kompresi uap [Skripsi Universitas Mataram]. Repositori Universitas Mataram.
- Faroni, A. (2022). Pengaruh diameter pipa unit pengembun terhadap massa air yang dihasilkan dari air water harvester [Skripsi Universitas Mataram]. Repositori Universitas Mataram.
- Mirmanto, Syahrul, M., Wijayanta, A., Mulyanto, A., & Winata, L. (2021). Effect of evaporator numbers on water production of a free convection air water harvester. Case studies in thermal engineering, 72.
- Padang, Y.A. (2019). Refrigerator dan pompa kalor. Dalam Y.A. Padang, Termodinamika 1 (hal. 250-280). Mataram: Mataram University Press.
- Pangestu, A. (2022). Pengaruh diameter unit pengembun pada mesin air water harvester terhadap massa air yang dihasilkan [Skripsi Universitas Mataram]. Repositori Universitas Mataram.
- Prasetya, I. A. (2022). Pengaruh tekanan unit pengembun pada mesin air water harvester terhadap massa air yang dihasilkan [Skripsi Universitas Mataram]. Repositori Universitas Mataram.
- Winata, L. A. (2021). Pengaruh jumlah evaporator vertikan terhadap massa air yang diembunkan dari udara [Skripsi Universitas Mataram]. Repositori Universitas Mataram.