



## Kinerja mesin *air water harvester* dengan evaporator koil pada berbagai kecepatan udara masuk

*The performance of air water harvester machines with coil evaporators at several air intake velocities*

**M. Mirmanto\*, I.B. Alit, A. Maulana**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Manasaja, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 082111738971.

\*E-mail: mmirmanto@gmail.com

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article History:

Received 08 December 2023

Accepted 15 March 2024

Available online 01 April 2024

#### Keywords:

Air-water harvester

Water mass

Total heat transfer rate

EUR

An experimental study regarding the performance of an air-water harvester was conducted under natural ambient conditions. The air-water harvester consisted of 3 coil evaporators and used R134a as the working fluid. The coil evaporators were constructed from copper tubes with a diameter of 6.35 mm, coil number of 26, and coil diameter of 8 cm. The air intake velocities were 4 m/s, 5 m/s and 6 m/s. The results show that the highest water mass is 1.72 kg for 7 hours at the air velocity of 6 /s, and the total heat transfer rate is 582 J/s. Increasing the air intake velocity raises the freshwater mass and the total heat transfer rate. Based on EUR the machine is not effective yet but based on the price of the water the machine gives benefits.



*Dinamika Teknik Mesin*, Vol. 14, No. 1, April 2024, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

## 1. PENDAHULUAN

Dalam seluruh aktivitas manusia, air adalah kebutuhan pokok seperti keperluan rumah tangga, misalnya untuk minum, masak, mandi, mencuci, keperluan industri keperluan perdagangan, keperluan pertanian serta peternakan dan lain sebagainya. Jika musim kemarau tiba di sebagian wilayah yang ada di Indonesia mengalami krisis air bersih, seperti yang terjadi di wilayah Lombok barat di dusun Duduk Atas tepatnya, Nusa Tenggara Barat. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan krisis air bersih ini yaitu dengan membuat mesin pemanen air dari udara (*air-water harvester*).

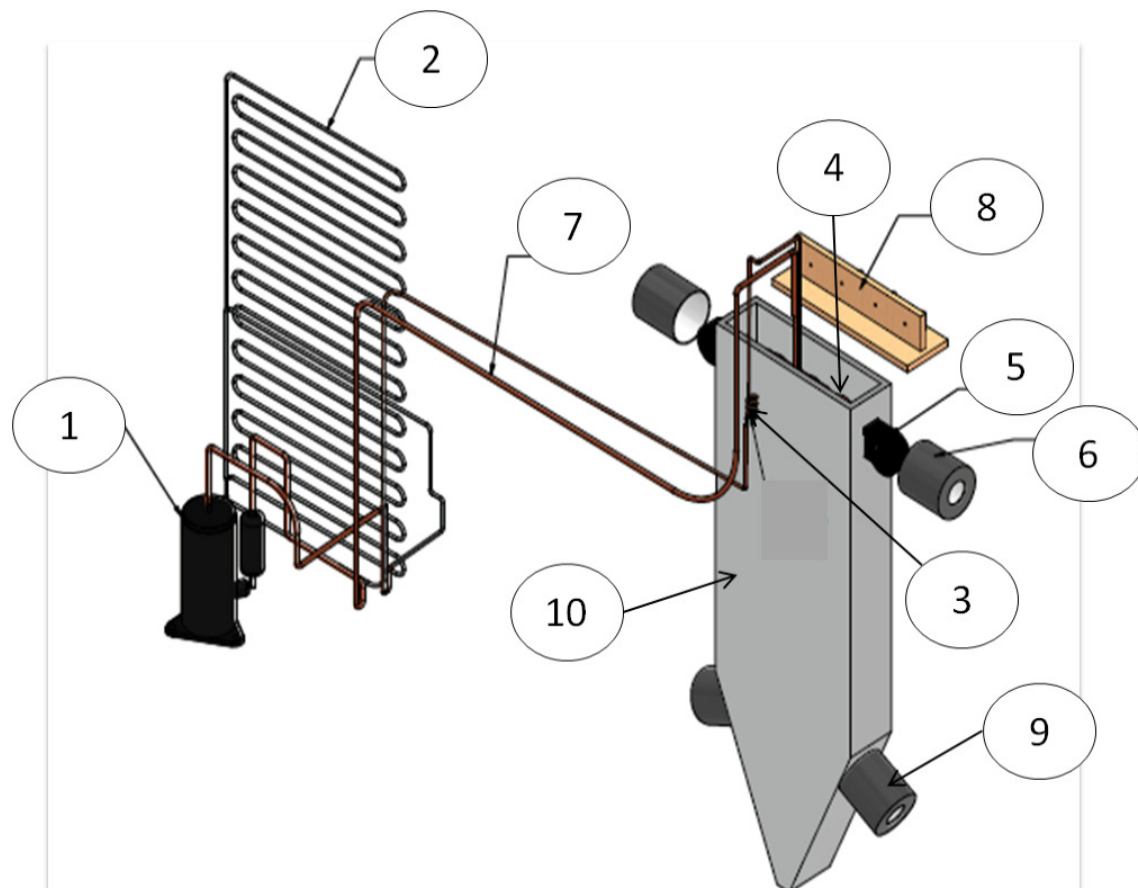
Menurut Mirmanto dkk. (2021) *air-water harvester* banyak modelnya seperti memanen air dari udara dengan menggunakan jaring, memanen air dari udara menggunakan kincir angin dan memanen air dari udara menggunakan mesin pendingin. Yang paling mudah dan sederhana serta dapat digunakan dimanapun adalah pemanen air dari udara menggunakan mesin pendingin atau refrigerasi selama di lokasi tersebut ada aliran listrik. Jika tidak ada aliran listrik, dapat disupli dengan menggunakan solar panel.

Penelitian tentang mesin penghasil air menggunakan mesin pendingin telah banyak dilakukan yaitu penelitian oleh Najib (2021), Dirgantara (2021), Faroni, (2022), dan Mirmanto dkk (2021, 2022, 2023, 2023a). Tetapi hasil airnya yang paling banyak hanya 1 kg yang didapat selama 7 jam. Kebanyakan penelitian penelitian tersebut menggunakan konveksi alami, beberapa dari mereka menggunakan konveksi paksa seperti Najib (2021), Firdaus (2022). Bentuk evaporator yang mereka teliti juga berbeda-beda ada yang parallel ada yang koil dan ada yang bersirip. Posisi evaporator juga berpengaruh, posisi vertikal, horizontal dan miring. Suhu udara masuk juga pernah divariasikan serta RH masuk juga pernah diteliti. Untuk yang model konveksi paksa, kecepatan udara yang digunakan juga berbeda-beda. Pada studi ini, variasi yang digunakan adalah kecepatan udara masuk dengan bentuk evaporator koil dan jumlah evaporator 3. Dengan jumlah yang banyak ini diharapkan menghasilkan massa air yang lebih banyak dari pada penelitian Firdaus (2022) yang sama sama menggunakan evaporator koil. Firdaus (2022) menguji evaporator koil satu buah saja dan menghasilkan massa air 0,622 kg selama 7 jam dengan kecepatan udara 5 m/s. Oleh sebab itu, studi ini melanjutkan penelitian Firdaus (2022) dengan jumlah evaporator 3 dan variasi kecepatan udara masuk 4 m/s, 5 m/s dan 6 m/s. Kemudian untuk mengecek apakah mesin efektif atau tidak akan digunakan parameter energy used ratio (EUR) yaitu kWh/kg . Jika EUR lebih kecil dari 1 maka mesin efektif namun jika sebaliknya maka mesin tidak efektif. Penggunaan variabel uji sudah diterapkan oleh Ahmad dkk. (2023) dan Mirmanto dkk. (2023a).

## 2. METODE PENELITIAN

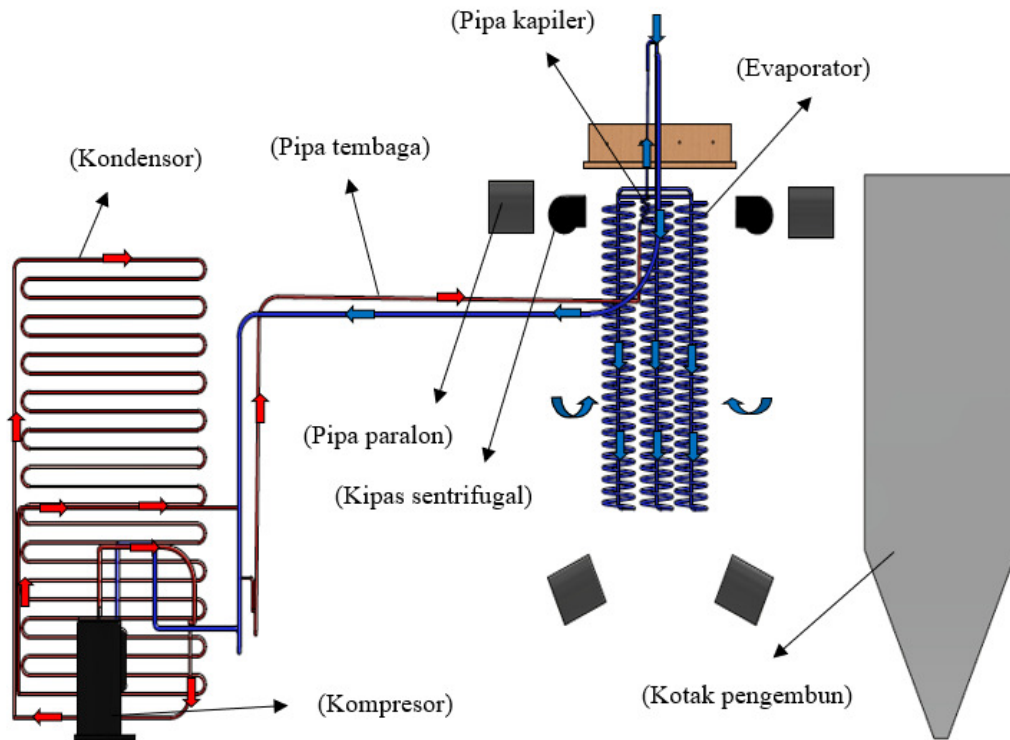
### 2.1 Fasilitas dan bahan penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan skema aparatus tiga dimensi seperti terlihat pada gambar 1 yang terdiri dari beberapa komponen mesin pendingin. Gambar 2 skema aliran refrigeran dari mesin percobaan tersebut.



Gambar 1. Skema aparatus alat eksperimen tiga dimensi: (1) kompresor, (2) kondensor, (3) pipa kapiler, (4) evaporator koil – di dalam kotak, (5) kipas masuk, (6) saluran masuk, (7) pipa refrigeran, (8) tutup kotak, (9) saluran udara keluar, (10) kotak pengembun.

Gambar 1 menunjukkan beberapa komponen dari mesin, namun aliran refrigerant tidak dianalisis. Fokus dari penelitian ini adalah analisis perpindahan panas dan massa air yang dihasilkan di dalam kotak penembunan (10). Kotak pengembun terbuat dari triplek yang diisolasi bagian luarnya dan keluaran air nya pada ujung bawah kotak dan aliran udaranya dari atas (5) ke bawah menuju saluran (9). Udara masuk melalui saluran masuk (6) dihembuskan menggunakan kipas sebrtifugal (5) kemudian di dalam kotak pengembun sebgiaan uap air yang terbawa udara mengalami pengembunan sebab suhu dinding-dinding evaporator di bawah *dew point* uap air. Udara yang tidak terembunkan mengalir keluar melalui lubang keluaran (9).



Gambar 2. Skema apparatus sisi aliran refrigeran.

Seperti ditunjukkan pada gambar 2, skema aliran refrigerant sebagai berikut: dari kompresor refrigerant mengalir ke kondensor, di kondensor refrigerant membuang panas dan berubah wujud dari uap menjadi cairan. Dari kondensor refrigerant cair mengalir melalui pipa kapiler dan keluar dari pipa kapiler evaporator . Di evaporator refrigerant campuran menyerap panas dan mengubah refrigerant tersebut menjadi sepenuhnya uap atau bahkan bisa menjadi uap panas lanjut. Uap ini kemudian masuk ke akumulator dan kembali ke kompresor. Begitulah siklus refrigerant yang terjadi pada mesin peneitian ini. Adapun alat dan bahan serta spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Alat dan bahan serta spesifikasi alat

Nama	Spesifikasi
Kompresor	1 PK (735 W)
Evaporator	Koil, 3 buah dengan diameter koil 8 cm, jumlah koil masing masing 26.
Blower	Sentrifugal, 1500 liter/menit
Anemometer	Model Benetech GT-8907, 0-45 m/s
Temperatur monitor	Digital thermometer dan termokopel
Data logger	Applent AT45-24 channels
Kondensor	Kondensor tanpa kipas untuk kulkas U12 double.
Pipa kapiler	0,6 mm, 1,5 m
Udara	Kondisi ruangan tidak dipertahankan.

RH	Kondisi ruangan tidak dipertahankan.
Kecepatan udara masuk	4, 5 dan 6 m/s.
Suhu	Diukur dengan termokopel tipe K dengan error $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Refrigeran	R134a

## 2.2 Data reduksi

Sesuai dengan tujuan penelitian, maka beberapa variabel yang dicari dapat dihitung dengan beberapa persamaan sebagai berikut. Persamaan berikut ini diambil dari Inopera dkk. (2006) dan Mirmanto dkk. (2021, 2023a, 2023b, 2023c). Variabel pertama yang dihitung adalah laju aliran massa yaitu laju aliran massa embun, laju aliran massa udara kering dan laju aliran massa uap. Laju aliran massa embun dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$\dot{m}_w = \frac{m_w}{t} \quad (1)$$

$\dot{m}_w$  adalah laju aliran embun atau air hasil kondensasi (kg/s),  $m_w$  adalah massa embun atau air yang dihasilkan (kg), dan  $t$  adalah lama percobaan (s).  $m_w$  diukur langsung pada percobaan menggunakan timbangan digital yang dijelaskan pada bagian paragraf sebelumnya. Kemudian untuk mendapatkan laju aliran udara kering dan laju uap air dalam udara harus diketahui parameter suhu udara masuk dan keluar serta RH masuk dan keluar kemudian masukan ke *psychrometric chart online* di <http://www.hvac-calculator.net/index.php?v=2>. Untuk bisa menghitung parameter tersebut, maka dari *psychrometric chart online* diperoleh  $w_1$  dan  $w_2$ . Laju aliran uap air masuk dihitung dengan persamaan:

$$\dot{m}_v = w_1 \dot{m}_d \quad (2)$$

$\dot{m}_v$  adalah laju aliran uap air (kg/s),  $\dot{m}_d$  adalah laju aliran massa udara kering (kg/s) yang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\dot{m}_d = \frac{\dot{m}_t}{w_1 + 1} \quad (3)$$

$\dot{m}_t$  adalah laju aliran massa udara total (kg/s), dan laju aliran udara total dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\dot{m}_t = \rho AV \quad (4)$$

$\rho$  adalah massa jenis ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $A$  adalah luasan penampang saluran masuk ( $\text{m}^2$ ), dan  $V$  menyatakan kecepatan udara masuk (m/s). Setelah semua laju aliran massa didapatkan maka laju aliran kalor total dapat dihitung yaitu terdiri dari laju aliran kalor embun, laju aliran kalor udara kering dan laju aliran uap air yang mengalami pendinginan. Laju aliran kalor dari embun atau air yang dihasilkan dapat dihitung dengan formula:

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w h_{fg} \quad (5)$$

$\dot{Q}_w$  adalah laju kalor dari massa air yang dihasilkan (W) dan  $h_{fg}$  menyatakan entalpi penguapan atau pengembunan (J/kg). Perpindahan panas dari uap air yang didinginkan dinyatakan dengan persamaan:

$$\dot{Q}_v = \dot{m}_v c_{pv} (T_o - T_i) \quad (6)$$

$\dot{Q}_v$  adalah perpindahan kalor uap yang didinginkan (W),  $T_i$  dan  $T_o$  menyatakan suhu udara masuk dan keluar mesin ( $^{\circ}\text{C}$ ), dan  $c_{pv}$  adalah panas jenis uap ( $\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ ) yang didapatkan dari tabel air saturasi berdasarkan suhu udara rata-rata.

$$T_{ur} = (T_i + T_o) / 2 \quad (7)$$

Kemudian perpindahan panas dari udara kering dihitung menggunakan persamaan:

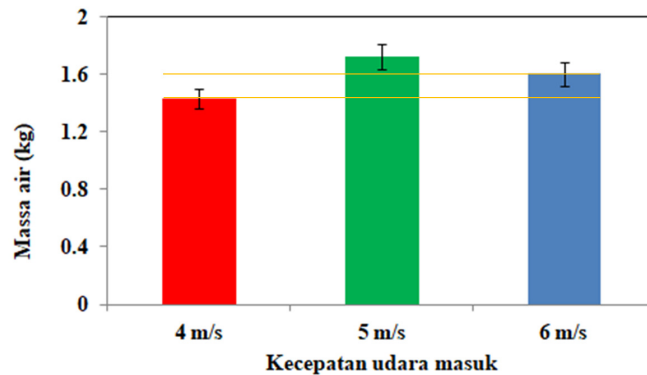
$$\dot{Q}_d = \dot{m}_d (h_i - h_o) \quad (8)$$

$\dot{Q}_d$  menyatakan laju perpindahan kalor udara kering (W).  $h_i$  dan  $h_o$  adalah entalpi udara masuk dan keluar mesin (J/kg). Selanjutnya untuk mencari perpindahan panas total persamaan berikut harus digunakan.

$$\dot{Q}_t = \dot{Q}_w + \dot{Q}_v + \dot{Q}_d \quad (9)$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

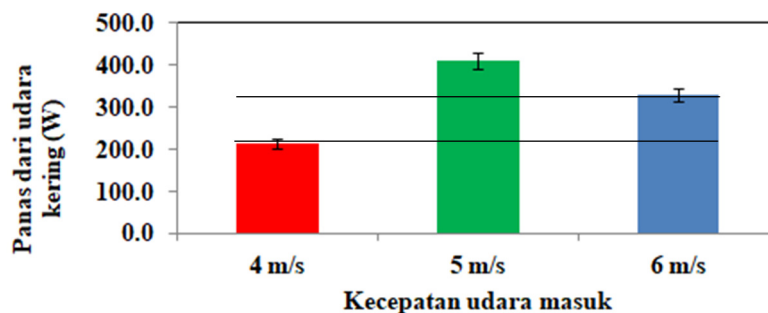
Hasil disajikan dalam bentuk grafik dengan analisis error bar agar memudahkan untuk menentukan apakah ada pengaruh dari variabel bebas atau tidak. Variabel bebas pada paper ini adalah kecepatan udara masuk yaitu 4 m/s, 5 m/s dan 6 m/s. Gambar 3 menyatakan hasil massa air yang didapat selama percobaan yang kurang lebihnya sekitar 7 jam.



Gambar 3. Massa air yang dihasilkan selama percobaan dari 3 variasi kecepatan

Gambar 3 mengindikasikan bahwa pengaruh kecepatan belum bisa disimpulkan karena kecepatan 4 m/s memperoleh massa air paling rendah tetapi seiring kenaikan kecepatan nyatanya tidak semakin tinggi massa air yang dihasilkan. Pada kecepatan 6 m/s massa air justru menurun. Salah satu penyebabnya kemungkinan adalah pada kecepatan 6 m/s udara mengalir terlalu cepat sehingga uap air yang terkandung dalam udara belum sempat mengembun. Seharusnya semakin tinggi kecepatan semakin banyak massa air yang dihasilkan sebab kecepatan semakin tinggi semakin banyak uap air yang masuk per satuan waktu. Oleh sebab itu, kecepatan optimalnya untuk mesin sesuai konstruksi pada penelitian ini adalah 5 m/s. Berbeda konstruksi berbeda hasil, sehingga massa air yang dihasilkan tidak dapat diharapkan lebih banyak pada kecepatan yang lebih tinggi. Namun berdasarkan error bar seperti pada gambar 3, perbedaan massa air yang dihasilkan dari ke tiga kecepatan adalah signifikan sebab kaki-kaki error bar tidak menyentuh garis horizontal kuning. Error bar dibuat 5% pada paper ini, jika error bar menyentuh garis horizontal dari dua atau tiga variasi tersebut maka perbedaan massa air yang dihasilkan tidak signifikan. Massa air yang dihasilkan terendah adalah 1,43 kg/ 7 jam dan yang tertinggi adalah 1,72 kg/ 7 jam. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya seperti Fauzan (2022), Mirmanto dkk. (2023), dan Firdaus (2022), massa air yang dihasilkan pada penelitian ini lebih tinggi. Fauzan (2022) melakukan penelitian dengan kecepatan udara masuk 4,5 m/s massa air yang dihasilkan sebanyak 0,764 kg/ 7 jam. Demikian juga penelitian yang dilakukan oleh Mirmanto dkk (2023) hanya mendapatkan 0,418 kg/ 7 jam, sedangkan Firdaus (2022) menghasilkan air sebanyak 0,622 kg/ 7 jam untuk kecepatan 5 m/s.

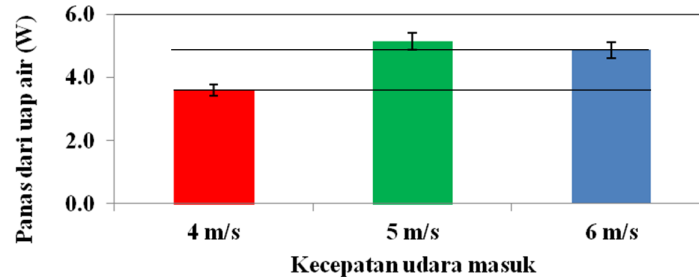
Tujuan ke dua dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh kecepatan terhadap laju aliran panas total. Panas total dihitung berdasarkan persamaan (9) yang terdiri dari panas dari embun, panas dari udara kering dan panas dari uap air yang didinginkan. Hasil hitungan panas udara kering disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Laju perpindahan panas dari udara kering pada tiga kecepatan berbeda

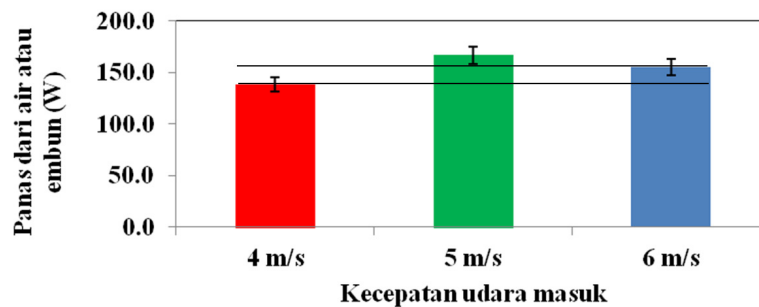
Gambar 4 tidak menunjukkan tren naik ataupun menurun dengan bertambahnya kecepatan. Dari kecepatan 4 m/s ke 5 m/s, laju aliran panas udara kering meningkat, namun dari kecepatan 5 m/s ke 6 m/s laju aliran panas kering menurun. Oleh sebab itu, mungkin dapat dikatakan bahwa untuk konstruksi mesin seperti ini kecepatan

udara optimal adalah 5 m/s. Salah satu kemungkinan mengapa di 6 m/s menghasilkan laju aliran panas kering lebih rendah dibandingkan dengan laju aliran kalor udara kering pada kecepatan 5 m/s adalah tidak seluruh udara sempat bersentuhan dengan evaporator akibat lebih cepat. Oleh sebab itu, udara belum sempat seluruhnya terdinginkan namun sudah harus meninggalkan evaporator. Secara teori, seperti dijelaskan pada Incropera dkk. (2006), seharusnya semakin cepat semakin besar laju aliran panasnya, namun suatu konstruksi evaporator tentu sudah memiliki kecepatan udara optimal yang mampu menghasilkan laju aliran kalor maksimalnya.

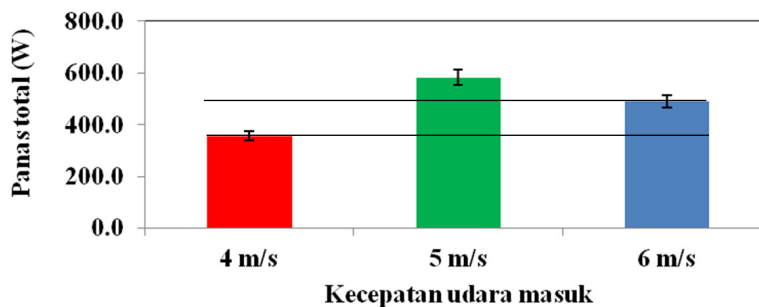


Gambar 5. Laju perpindahan panas dari uap air yang terbawa udara untuk tiga kecepatan berbeda

Pengaruh kecepatan terhadap perpindahan panas dari uap air nampak jelas seperti ditunjukkan pada gambar 5. Perpindahan panas dari uap air untuk masing-masing kecepatan Nampak berbeda dengan signifikan, di atas 5%. Namun, sama dengan perpindahan panas udara kering, perpindahan panas ini juga tidak memiliki tren naik atau turun dengan meningkatnya kecepatan. Nampaknya, kecepatan 5 m/s adalah kecepatan optimal. Berbeda dengan hasil yang didapatkan Mirmanto dkk. (2023), tren massa air dan perpindahan panasnya jelas yaitu dengan meningkatnya kecepatan maka meningkat pula massa air dan perpindahan panas yang didapatkannya. Namun demikian, bentuk evaporatornya berbeda dan kecepatan yang digunakan juga berbeda. Bentuk evaporatornya parallel dengan pipa-pipa kecil dan kecepatan dari 0 sampai dengan 3 m/s. Massa air yang didapatkan maksimal hanya 0,516 kg selama 7 jam. Jadi penelitian yang dilakukan ini lebih besar hasilnya dari pada penelitian Mirmanto dkk. (2023).



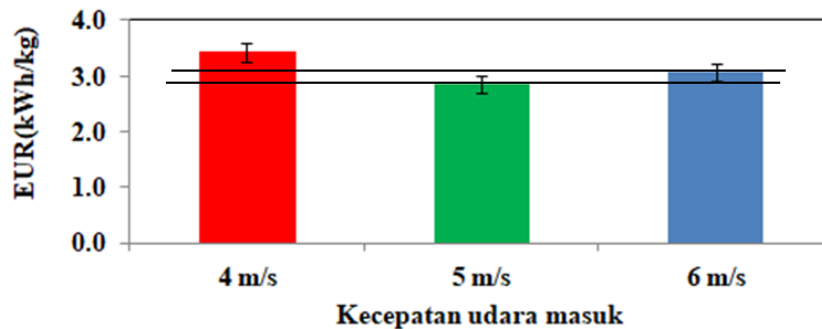
Gambar 6. Laju perpindahan panas dari proses pengembunan untuk tiga kecepatan berbeda



Gambar 7. Laju perpindahan panas total untuk tiga kecepatan berbeda

Perpindahan panas pada gambar 6 merupakan perpindahan panas laten yaitu perpindahan panas yang disertai dengan perubahan wujud fluida, dari uap air menjadi embun atau air. Perpindahan panas ini juga mengikuti tren gambar 4 dan 5 yaitu tidak punya tren terhadap kenaikan kecepatan udara masuk. Jadi sudah sangat jelas bahwa konstruksi evaporator dan mesin yang demikian memiliki kinerja yang optimal untuk kecepatan 5 m/s. Gambar 7 merupakan jumlah perpindahan panas dari ketiga macam perpindahan panas oleh sebab itu menunjukkan kecenderungan grafik yang sama.

Untuk mengetahui apakah mesin efektif atau tidak, maka hasil airnya perlu dicek dengan menggunakan parameter energy used ratio (EUR) seperti pada Ahmad dkk. (2023) dan Mirmanto dkk. (2023a). Gambar 8 menyajikan EUR hasil dari percobaan. Gambar 7 menunjukkan bahwa EUR untuk masing-masing kecepatan berbeda-beda dan perbedaannya signifikan sebab kaki-kaki error bar tidak bersentuhan garis horizontal yang sama. Error bar tersebut dibuat untuk error  $\pm 5\%$  atau level kepercayaan dari data yang dihasilkan adalah 95%. Namun berdasarkan EUR mesin masih belum efektif sebab nilai EUR nya lebih dari 1. Menurut Ahmad dkk. (2023) dan Mirmanto dkk. (2023a), mesin akan efektif jika EUR nya kurang dari 1. Sekarang, bagaimana jika hasil airnya dibandingkan dengan air kemasan yang dijual di mini market seperti Alfamart atau Indomart. Harga 1 botol air minum 600 ml adalah Rp. 3.750,-. Air yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 1,72 kg selama 7 jam dengan emakan energy listrik sebesar  $7 \times 0,701 = 4,91$  kWh. Harga 1 kWh sama dengan Rp. 1.444,-. Oleh sebab itu biaya pembuatan air pada penelitian adalah  $4,91 \times \text{Rp. } 1.444 = \text{Rp. } 7.088,-$ . Dengan demikian, maka hasil 600 ml harganya  $600/1720 \times \text{Rp. } 7.088 = \text{Rp. } 2.473,-$ . Dilihat dari harga air penelitian, mesin sudah menguntungkan sebab harga 600 ml air hasil penelitian Rp. 2.473,- lebih rendah dari harga air 600 ml di mini market.



Gambar 7. EUR versus kecepatan udara masuk

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan diperoleh beberapa temuan. Untuk penelitian ini, pengaruh kecepatan terhadap kinerja mesin tidak jelas. Kecepatan optimal adalah 5 m/s berdasar kondisi percobaan dan konstruksi mesin ini. Kinerja pada kecepatan 6 m/s justru rendah sebab sudah melewati kecepatan optimalnya dan tidak perlu dilanjutkan dengan kecepatan yang lebih tinggi. Massa air yang dihasilkan maksimum 1,72 kg selama 7 jam dan panas total maksimal sebesar 582 W. Berdasarkan EUR mesin pada penelitian ini belum efektif sedangkan berdasarkan harga air yang dihasilkan mesin ini sudah menguntungkan.

#### 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 Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram atas fasilitas untuk melakukan penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F.F., Ghenai, C., Al Bardan, M., Bourgon, M., Shanableh, A., Performance analysis of atmospheric water generator under hot and humid climate conditions: drinkable water production and system energy consumption. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100270, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2022.100270>.
- Dirgantara, R.P. Pengaruh posisi evaporator terhadap jumlah air yang dihasilkan dengan menggunakan sistem kompresi uap, Skripsi, Universitas Mataram, 2021.

- Faroni, A., Pengaruh diameter pipa unit pengembun terhadap massa air yang pengaruhi diameter pipa unit pengembun terhadap massa air yang dihasilkan dari air-water harvester, Skripsi Universitas Mataram, 2022.
- Fauzan, M., kinerja mesin *air water harvester* dengan unit pengembun paralel pada berbagai kecepatan udara masuk, Skripsi, Universitas Mataram, Mataram, 2022.
- Free online psychometric chart calculator. <http://www.hvac-calculator.net/index.php?v=2>,
- Firdaus, L., Unjuk kerja mesin air-water harvester dengan unit pengembun shell-spiral pada berbagai kecepatan udara masuk, Skripsi, Universitas Mataram, 2022.
- Incropera, F.P., Dewitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S., Fundamental of heat and mass transfer, Sixth Edition, John Wiley and Sons, USA, 2006.
- Mirmanto, M., Pangestu, A.D., Experimental heat transfer rate on vertical pipes of a simple water harvester. *Journal of Heat and Mass Transfer*, 33, 41–50, 2023.
- Mirmanto, M., Syahrul, S., Wijayanta, A.T., Effect of Evaporator Diameters on Performances of a Custom Air Water Generator. *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, 20, 6–10, 2023a. <https://doi.org/10.5098/hmt.20.9>
- Mirmanto, M., Syahrul, S., Wijayanta, A.T., Mulyanto, A., Winata, L.A., Effect of evaporator numbers on water production of a free convection air-water harvester, *Case Studies in Thermal Engineering*, 72, 101253, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101253>
- Mirmanto, M., Wirawan, M., Najib, A., Effect of capillary tube length on mass of water production. *International Journal of Advances in Engineering and Management*, 4(2), 210–216, 2022. <https://doi.org/10.35629/5252-0402210216>
- Najib, A.A., Pengaruh variasi panjang pipa kapiler terhadap air yang dihasilkan dari udara menggunakan sistem kompresi uap, Skripsi Universitas Mataram, 2021.